



IC2A

Master Ingénierie de la Cognition, de
la Création et des Apprentissages

Master Recherche Sciences Cognitives

**Travaux d'études et de recherche
2014-2015**

pour le cours

Cognition, Affects et Interaction

Gérard Bailly & Sylvie Pesty

Grenoble, France

Avant-propos

Cet ouvrage rassemble les travaux d'études et de recherche effectués dans le cadre du cours "Cognition, Affects et Interaction" que nous avons animé au 1er semestre 2014-2015. Pour cette création de cours, nous avons voulu coupler une introduction à la robotique sociale à un apprentissage actif par travail de recherche en binômes. Le principe de ces travaux d'études et de recherche est d'effectuer une recherche bibliographique et de rédiger un article de synthèse sur un aspect de l'interaction homme-robot. Si plusieurs sujets ont été proposés aux étudiants en début d'année, certains binômes ont choisi d'aborder l'interaction avec un angle original qui reflète souvent les trajectoires de formation variées des étudiants en sciences cognitives. Le résultat dépasse nos espérances: le lecteur trouvera une compilation d'articles argumentés de manière solide, rédigés de manière claire et présentés avec soin. Ces premières publications laissent augurer des capacités singulières de réflexion de cette promotion.

Gérard Bailly¹ & Sylvie Pesty²

- ¹ Directeur de Recherches CNRS - GIPSA-Lab, Université Grenoble-Alpes/CNRS
email: gerard.bailly@gipsa-lab.fr
- ² Professeur des Universités UPMF - LIG, Université Grenoble-Alpes/CNRS
email: sylvie.pesty@imag.fr

Contents

La Singularité Technologique par Romain Astouric & Henri Aribert-Desjardins	1
Ethique, responsabilité et statut juridique du robot compagnon: revue et perspectives par Anne Boulangé & Carole Jaggie	13
Robot compagnon et fiction par Yannick Bourrier & Ladislav Nalborczyk	18
Contribution des robots sociaux aux thérapies des troubles du spectre autistique: une revue critique. Etat de l'art: avantages et challenges en robotique sociale par Tiphaine Caudrelier & François Foerster	25
Les Robots Compagnons pourront-ils se substituer aux Animaux de Compagnie? par Esther Frey & Florent Bouchard	33
Incarnations des agents intelligents: un état des lieux par Alexandre Hennequin & Florent Mercier	39
Téléprésence télé-opérée: le cas du robot lycéen par Eléna Hoyau & Laure Dechambenoy	44
Les robots sociaux doivent-ils être humanodes? par Pierre Scheffler, Maxime Dickerson & Mathieu Charre	52
Une Relation Homme-Robot à Long Terme est-elle possible? par Laurie Valdez & Pierre Girardeau	58

Rapport IAVAC : La Singularité Technologique

Romain Astouric & Henri Aribert-Desjardins
Master AST
année universitaire 2014 / 2015
eM : hadhenri@gmail.com / rom.ast@gmail.com

Introduction

Singularité, définition

La singularité technologique ou singularité, décrit un instant inscrivant une rupture d'échelle dans l'évolution de notre progrès technologique, c'est à dire qu'à partir d'un point hypothétique de son évolution technologique, la civilisation humaine connaîtra une croissance technologique d'un ordre supérieur.

Faisant référence à la singularité gravitationnelle engendrée par un trou noir et à l'existence de discontinuités de l'espace-temps aux abords immédiats de celui-ci, la singularité repose pour beaucoup sur des questions d'intelligence artificielle.



MODÉLISATION D'UN TROU NOIR EXTRAIT DU FILM INTERSTELLAR

Cette notion de singularité a été introduite au début des années 1950 par le mathématicien John Von Neumann puis développée durant les années 1960 par

Alan Turing et Irving John Good. Elle a inspiré de nombreux scientifiques et surtout de nombreux auteurs de science-fiction durant ces trente dernières années.

Restriction du cadre d'étude

Thème de science fiction particulièrement utilisé, la singularité est une hypothèse qui manque de solidité scientifique : c'est pourquoi nous allons essayer dans cet exposé d'extraire les bases scientifiques rigoureuse qui nous permettront de dresser le portrait de cette théorie. Comme nous allons le voir en étudiant la naissance du concept, nous nous concentrerons sur les hypothèses faisant de l'intelligence artificielle le cœur même du phénomène.

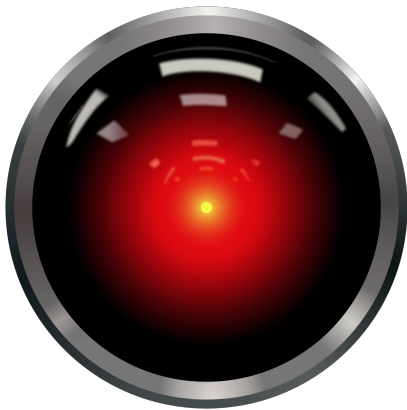
C'est ici la principale difficulté de ce sujet : même si un certains nombre de scientifiques et industriels reconnus défendent voire même craignent cette hypothèse, celle-ci n'est pas à l'heure actuelle rigoureusement démontrée et reste soumise à de nombreuses approximations. Ainsi, il n'y a pas « une » mais « des » singularités, et autant d'hypothèses que de personnalités qui se sont penchées sur le sujet.

Notre première partie, tout en faisant le bilan des technologies nécessaires et des scénarios possibles démontrera la place essentielle de l'intelligence artificielle et la vraisemblance du choix de celle-ci comme scénario étudié. Cela nous permettra de faire un rapide tour d'horizon des deux tendances majeures de l'IA et de leurs importances à l'heure de la singularité. En deuxième partie, nous développerons le concept de la singularité, sa naissance et les éléments qui permettent de l'envisager ou non comme un événement à venir, à travers notamment la modélisation du système cognitif.

Enfin, nous déterminerons dans notre troisième partie la vraisemblance de ce concept au jour d'aujourd'hui, au regard de notre avancée technologique et des développements actuels tout en étudiant le développement de ce concept au sein d'œuvres romancées et filmographiques. Nous pourrions notamment mettre en exergue les œuvres faisant de cet événement une fracture technologique révolutionnaire et bénéfique face aux portraits plus pessimistes et non moins nombreux.

I. L'IA, cœur de la singularité

I.1. Pourquoi l'IA



HAL 9000, L'IA EXTRAITE DU FILM 2001, L'ODYSSÉE DE L'ESPACE

N'importe quel progrès scientifique, même le plus spectaculaire (développement des nanotechnologies, abolition du vieillissement ou de la famine par la biotechnologie, colonisation de l'espace, etc.) ne suffit pas pour produire une singularité. Dans la Singularité, c'est bel et bien la variable "intelligence" qui devient infinie.

Pour l'écrivain et professeur d'informatique V.Vinge, la Singularité ne se définit donc pas seulement comme une accélération du progrès scientifique et technique, mais comme l'accélération du facteur même qui permet cette accélération. En effet, si nous (ou nos créations) arrivons à augmenter nos facultés cognitives, l'une des premières tâches auxquelles nous nous attèlerons sera de les améliorer encore plus, et ainsi de suite.

Ainsi, même si différentes technologies seront indirectement nécessaires à une hypothétique singularité, qu'il s'agisse de la nanotechnologie, qui permettrait par

exemple de construire des ordinateurs atome par atome et de recâbler le cerveau neurone par neurone, l'apparition de calculateurs quantiques ou même d'une percée totalement inattendue, l'intelligence artificielle est bel et bien l'élément fondamental au concept de singularité.

Il existe ainsi différents scénarios possibles quant à l'apparition de la singularité, ceux-ci étant donc tous basés sur la notion d'intelligence, qu'elle soit humaine mais artificiellement augmentée, artificielle, ou bien virtuelle et basée sur la mise en relation de la totalité de la puissance informatique à travers le monde, à l'image des projets de calcul réparti comme SETI@home qui utilisent les processeurs de milliers d'ordinateurs connectés à Internet afin d'analyser des données.

À l'heure actuelle, voici ces scénarios :

Le scénario de l'Intelligence Artificielle :

Il s'agit du scénario dans lequel l'humanité parvient à créer une intelligence artificielle supérieure à l'intelligence humaine.

Le scénario de l'Intelligence Artificiellement Augmenté :

Dans ce scénario, l'intelligence humaine et les capacités cognitives sont artificiellement amplifiées à travers des interfaces neuronales hommes-machines.

Le scénario Biomédical :

Ce scénario imagine que l'intelligence humaine pourrait être directement augmentée par une amélioration technologique de notre système neuronale.

Le scénario de la Transcendance :

Les progrès de l'informatique rendent possible la duplication puis l'émulation numérique partielle ou totale d'un système cognitif humain. Cette intelligence numérisée s'améliore elle-même et provoque la singularité.

Le scénario Internet :

L'humanité, ses réseaux, ordinateurs et bases de données deviennent suffisamment puissant pour être considérés comme étant une « intelligence supérieur ».

Le scénario de la « Gaïa Numérique » :

La mise en réseaux d'une grande partie de la puissance informatique mondiale devient suffisamment effective pour être considérée comme une « intelligence supérieur ».

Notre étude, se limite ici au scénario de l'intelligence artificielle pour plusieurs raisons. Que la singularité soit vérifiée ou pas, c'est actuellement le scénario le plus vraisemblable, et le plus documenté, tout en ayant inspiré le plus grand nombre d'œuvres. C'est pourquoi nous nous restreindrons à l'étude de l'hypothèse dans laquelle la singularité se vérifie à travers l'apparition d'une intelligence artificielle supérieure.

I.2. Les deux tendances de l'IA

L'intelligence artificielle a été dès sa création confrontée à deux types d'approches fondamentalement opposées :

D'un côté, l'approche symbolique : les modèles cherchent à simuler le comportement d'un système. Sous sa forme la plus caricaturale, c'est la problématique dite "de la boîte noire" : un système est caractérisé par des entrées et des sorties, et sans se préoccuper de ce qui se passe réellement à l'intérieur du système, on cherche à construire un modèle qui se comporte de la même manière, c'est-à-dire qui fasse correspondre les mêmes sorties aux mêmes entrées. On parle aussi d'intelligence artificielle dite « faible », et de processus descendant (top-down) dans lequel on émule des comportements intelligents avec une implémentation de haut niveau.

De l'autre côté, l'approche connexionniste : les modèles cherchent à simuler les mécanismes du système à étudier. Le but est alors de reproduire le plus fidèlement possible les processus qui se produisent effectivement dans le système et de vérifier si l'on peut ainsi en retrouver les fonctionnalités. On parle aussi d'intelligence artificielle « forte » et de processus ascendant « bottom-up » dans lequel on fait émerger l'IA à partir d'un substrat bas niveau. [1]

I.2.1. La tendance Symbolique

Dès sa naissance dans les années 50, la pression devint suffisante pour que l'IA, née comme une tentative de réponse positive à la fameuse question d'Alan Turing «*Les machines peuvent-elles penser ?*», amorce sa transformation en une sous-discipline de l'ingénierie logicielle, mue par une logique de recherche appliquée. Les financements destinés à la recherche fondamentale à long terme, comprenant l'approche connexionniste, étaient en train de fondre, tandis que l'attention se portait vers la conception de systèmes pratiques, dérivés de l'approche symbolique. «*La quête du "vol artificiel" a été couronnée de succès quand les frères Wright et les autres cessèrent d'imiter les oiseaux et commencèrent...*

à comprendre l'aérodynamique », écrivent Stuart Russell et Peter Norvig dans leur manuel de référence, *Intelligence artificielle*. Les recherches en IA ont commencé à décoller à partir du moment où le modèle humain a été abandonné. C'est la force de l'analogie : si les avions ne battent pas des ailes, pourquoi les ordinateurs devraient-ils penser ? [2]

Même si dans les années 80, les réseaux de neurones et les systèmes connexionnistes reviennent à la mode en passant du perceptron classique à deux couches, à des systèmes bien plus complexes, les leaders du domaine se concentrent alors sur la force brute et sur l'analyse de fonctions d'évaluations capables de piocher dans de vastes bases de données composées de milliards de cas, à l'instar du système Watson développé par IBM pour Jeopardy.

En effet, cette approche fondée sur l'ingénierie de masse simulant des comportements "intelligents" sans chercher a priori une quelconque ressemblance entre les techniques qu'elle utilise et les mécanismes à l'œuvre dans le cerveau a été pendant longtemps la seule à produire des résultats concrets, et reste prépondérante aujourd'hui.

L'IA contemporaine est ainsi soumise à l'impératif de fabriquer des machines performantes, sans trop d'égards pour les questions de vraisemblance cognitive et se destine donc moins à comprendre l'intelligence humaine, qu'à résoudre intelligemment les problèmes humains. Elle a pourtant envahi l'industrie lourde, les transports et la finance, grâce à ses capacités d'apprentissage reposant sur une base de logique arithmétique, et on la retrouve derrière beaucoup des fonctions clefs de Google, les recommandations de films de Netflix, Siri, les drones autonomes, ou encore la voiture autopilotée. [2]



LA GOOGLE CAR, PREMIER VÉHICULE AUTOPILOTÉE DU GÉANT GOOGLE

I.2.2. La tendance Connexionniste

L'approche connexionniste que l'on appelle aussi à juste titre neuro-mimétique, a ainsi connu une longue période de désintérêt malgré un démarrage prometteur, et ne réapparaît qu'à la fin des années 80, sous l'impulsion de chercheurs en quête d'une alternative à l'approche symbolique.

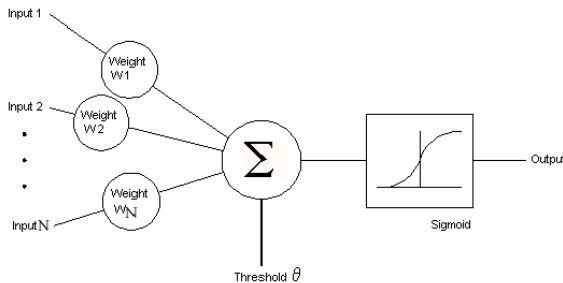


SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DU PERCEPTRON MONO-COUCHE

Inspiré de la façon dont fonctionne le système nerveux à travers la simulation de réseaux neuronaux, les méthodes connexionnistes s'avèrent efficaces dans les domaines où les décisions que doit prendre le système dépendent d'un ensemble de facteurs. C'est le cas bien entendu en reconnaissance de formes, mais aussi dans bien d'autres types de "raisonnement naturel" comme la linguistique, dans laquelle de tels réseaux peuvent être utilisés pour traiter le problème des expressions polysémiques, dont le sens exact dépend de la valeur d'un grand nombre d'indices présents dans le contexte.

Les progrès actuels ne sont pas dus à une meilleure simulation du fonctionnement neuronal mais au contraire au choix de certains algorithmes, de manière à faciliter la manipulation des "connaissances" que l'on fournit au système. Ainsi, même si le connexionnisme tend à s'éloigner du niveau neuronal dont il était parti, les réseaux de neurones, mettent en œuvre des principes de reconnaissance, de mémorisation et d'apprentissage directement inspirés par le fonctionnement cognitif.

Finalement, l'approche symbolique étant amenée pour des raisons d'efficacité à se pencher de plus en plus sur la manière dont fonctionne le système qu'elle veut modéliser, et l'approche connexionniste ayant tendance à s'éloigner du modèle cognitif pour éprouver son efficacité à travers des algorithmes plus performants, les frontières entre ces deux tendances deviennent de plus en plus floues. Ainsi, bien que l'approche connexionniste

soit à première vue la plus proche des notions de singularités, de part notre tendance anthropocentrique à imaginer plus facilement une intelligence « humaine » proche du fonctionnement cérébral, on peut désormais imaginer une forme d'intelligence tirant partie de l'ingénierie de masse de l'approche symbolique à travers un traitement connexionniste des données. [1]

II. L'apparition et le développement du concept de singularité

II.1 Les origines du concept

En 1965, Irving John Good décrit un concept de singularité incluant l'arrivée d'intelligences artificielles qui prennent le relais:

« Mettons qu'une machine supra-intelligente soit une machine capable dans tous les domaines d'activités intellectuelles de grandement surpasser un humain, aussi brillant soit-il. Comme la conception de telles machines est l'une de ces activités intellectuelles, une machine supra-intelligente pourrait concevoir des machines encore meilleures ; il y aurait alors sans conteste une « explosion d'intelligence », et l'intelligence humaine serait très vite dépassée. Ainsi, l'invention de la première machine supra-intelligente est la dernière invention que l'Homme ait besoin de réaliser à condition que ladite machine soit assez docile pour constamment lui obéir »

Il est important de comprendre la notion de fracture technologique développée à travers cette hypothèse. L'écrivain E.Yudkowsky définit ce paradigme dans son essai *Scruter la Singularité* de la manière suivante :

*« Si les vitesses de calcul doublent tous les deux ans, Qu'arrive-t-il quand des IA informatisées font la recherche ?
La vitesse de calcul double tous les deux ans.
La vitesse de calcul double tous les deux ans de travail.
La vitesse de calcul double tous les deux ans subjectifs de travail.
Deux ans après que les Intelligences artificielles ont atteint l'équivalence humaine, leur vitesse double. Un an après, leur vitesse double de nouveau.
Six mois; trois mois; 1,5 mois... Singularité. » [3]*

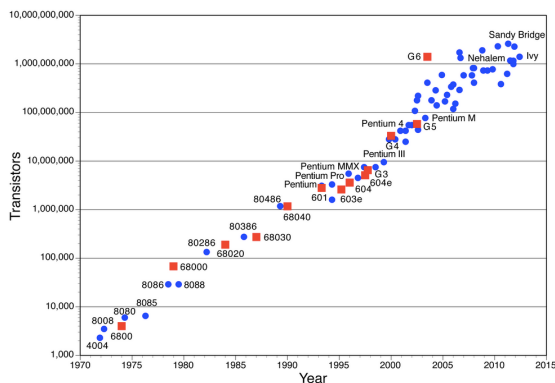
Cette estimation se base essentiellement sur la loi de Moore, qui voudrait qu'une quantité de puissance informatique soit doublée tous les deux ans. Qu'en est-il exactement ?

II.2. La Loi de Moore

II.2.1 La Loi et ses caractéristiques

En 1965 Gordon Moore, co-fondateur d'Intel affirme qu'il y a chaque année un doublement de densité des transistors sur les puces et qu'il se prolongera au moins dix ans, puis ajuste en 1975 ses affirmations et prévoit alors un doublement de densité tous les deux ans à nouveau pour la prochaine décennie.

Connue sous le nom de Loi de Moore, cette loi exponentielle qui n'est en fait qu'une conjecture empirique a depuis été reprise et voudrait dans sa version la plus connue que la performance informatique double tous les dix-huit mois pour un coût donné et s'appliquerait non seulement à la puissance de calcul, mais aussi à la capacité de stockage, la vitesse de transmission de l'information numérique et à un grand nombre de caractéristiques de performance informatique.

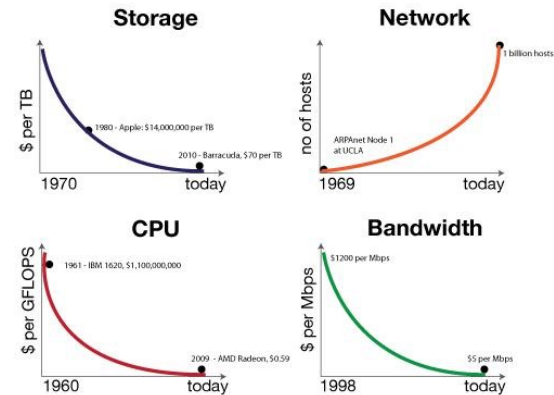


LOI DE MOORE RELATIVE À LA DENSITÉ DE TRANSISTOR PAR PUCE EN FONCTION DE L'ANNÉE

Considérons d'abord le nombre de transistors présents dans un microprocesseur. Nous sommes passés de 2 300 transistors en 1971 pour la puce Intel-4004 à 2 600 000 000 transistors pour le 10 core Intel Xeon Processor E7 en 2013. Durant cette période de 42 ans, la miniaturisation électronique a donc progressé d'un facteur 1 130 000. Cela correspond à une multiplication par 2 tous les 25 mois environ, conforme, à 4% près, à la prévision de Moore de 1975 qui est donc vraie non pas sur 10 ans, mais sur 40. Notons que cette augmentation du nombre de transistors entraîne un progrès supérieur

pour la puissance de calcul, car la vitesse d'horloge des microprocesseurs a elle aussi été augmentée, d'où l'affirmation d'un doublement de puissance tous les 18 mois.

La particularité de cette loi réside non pas dans l'aspect exponentiel mais à travers son temps de doublement, particulièrement court (on peut trouver en effet de nombreuses lois de développements exponentielles dans tout domaine technologique, avec cependant des croissances plus faibles) et à son aspect général (elle s'applique à un grand nombre de caractéristiques des performances informatiques).



LOI DE MOORE APPLIQUÉE À DIFFÉRENTS CARACTÉRISTIQUES DE PERFORMANCES INFORMATIQUES

Pourtant, il va sans dire qu'au sein même du secteur informatique, les variations sont parfois importantes d'un secteur à l'autre, d'une période à l'autre, à l'instar des tailles d'écran (en nombres de pixels) qui illustrent l'irrégularité de la loi et son caractère empirique.

II.2.2 Les limites de la Loi de Moore

Malgré tout, G.Moore pronostiquait dès 2005 que la fin était en vue. « Cela ne peut durer indéfiniment. Le propre d'une exponentielle est de vous entraîner hors des limites raisonnables jusqu'à un éventuel désastre. La taille d'un transistor approche celle d'un atome, qui est une barrière fondamentale. Nous l'atteindrons d'ici deux ou trois générations [de microprocesseurs]. »

Nul ne conteste que la loi de Moore finira par se heurter à une barrière physique. Sans évoquer les limites extrêmes que les théoriciens de la mécanique quantique calculent, il est peu probable qu'on puisse stocker plus d'un bit d'information par atome de matière. Des limites

économiques et énergétiques sont aussi à craindre : le coût des investissements nécessaires pour maintenir le progrès augmente exponentiellement (loi de Rock) et nous conduira à un point impossible à dépasser puisque l'économie ne peut consacrer la totalité de ses investissements à la conception et à la production de la prochaine génération de puces électroniques. Enfin, la Loi de Koomey centrée sur l'énergie et l'échauffement produit par les calculs est une reformulation pertinente qui se réfère au nombre de calculs faits par unité d'énergie dissipée, puisqu'une part importante des problèmes de l'industrie des microprocesseurs est liée à des questions énergétiques. Bien que multipliée par deux tous les 1,57 ans environ depuis 1950, sa croissance a très largement diminuée depuis 2005, annonçant le ralentissement du nombre de calculs en fonction de l'énergie dépensée. [4]

Pour des raisons technologiques, mais aussi économiques et énergétiques, nous sommes peut-être en train de vivre les dernières heures de la Loi de Moore telle que nous la connaissons.

Ainsi, bien que vérifiée durant les quarante dernières années dans de nombreux cas, cette loi n'est qu'une observation qui ne se base sur aucun élément scientifique tangible et semble avoir atteint ses limites. Elle permet de donner un aperçu des progrès à venir, mais ne peut être rigoureusement utilisé comme élément scientifique.

II.2.3 L'avenir de la Loi de Moore

Tout le monde n'est pas d'accord avec le postulat d'une lente décroissance de la loi de Moore : si l'utilisation de transistors en trois dimensions (depuis peu proposés par *Intel*) et bientôt peut-être de puces elles-mêmes en trois dimensions permettra sans doute de maintenir un certain rythme de progrès pendant quelques années la véritable enjeu semble résider dans le développement d'ordinateurs moléculaires et, peut-être beaucoup plus loin dans le cours du XXI^e siècle, d'ordinateurs quantiques. Ainsi, Hans Moravec (roboticien, professeur à l'Université de Carnegie-Mellon), Raymond Kurzweil (inventeur et écrivain) ou John Smart (philosophe, futurologue et directeur de l'*Acceleration Study Foundation*) défendent qu'il y a toutes sortes de raisons de penser que la loi de Moore sous une forme généralisée restera vraie encore longtemps. Ils évoquent les nombreuses pistes technologiques permettant de contourner les obstacles, comme déjà tant d'autres ont été contournées. Même si

une transition technologique semble inévitable, ce qui semblait devoir ne durer que dix ans a duré plus de 40 ans et l'on peut envisager d'introduire des éléments moléculaires, optiques ou quantiques et les combiner et les intégrer aux éléments de silicium, maintenant le rythme pour plusieurs décennies encore. Les transitions technologiques passées, que ce soit le passage des calculateurs mécaniques aux calculateurs à relais, ou celui des calculateurs à relais aux calculateurs électroniques, ont à chaque fois accélérés le rythme des gains. Si nous tirons les leçons de l'histoire de l'informatique, nous devons donc non pas craindre la prochaine transition technologique, mais, au contraire, compter sur elle pour qu'elle maintienne, voire accélère, la dynamique du progrès.

L'idée que l'avenir nous réserve une accélération du progrès produisant des doubléments de plus en plus rapprochés des diverses mesures de performance de nos dispositifs numériques est ainsi la base même du concept de la singularité technologique imaginant la naissance de machines super-intelligentes contribuant elles-mêmes à la conception de nouvelles machines encore plus puissantes. [5]

II.3 Le cerveau humain : modèle à dépasser ?

II.3.1 Un modèle anthropocentrique pour l'IA ?

La plupart des défenseurs de la théorie de la singularité prônent le scénario d'une intelligence artificielle surpassant celle de l'homme. Encore une fois, de nombreux scénarios sont possibles et même si rien n'indique que cette intelligence soit en quelque point que ce soit comparable à celle de l'homme, imiter le système cognitif et son fonctionnement est en toute logique la manière la plus simple de parvenir à modéliser une intelligence artificielle au moins aussi puissante que ledit système. Ainsi, à l'heure du projet Blue Brain qui cherche en effet à modéliser numériquement le fonctionnement cognitif, cette vision anthropocentrique et quelque peu réductrice reste pour beaucoup l'approche la plus tangible ?



LE PROJET BLUE BRAIN

On peut être tenté de comparer la capacité de traitement de l'information d'un cerveau humain à celle d'un ordinateur pour estimer la faisabilité d'une IA. Il s'agit cependant d'un exercice purement spéculatif, et la pertinence de cette comparaison n'est pas établie. Cette estimation très grossière est surtout destinée à préciser les ordres de grandeur en présence.

Un ordinateur typique de 1970 effectuait 107 opérations logiques par seconde, et occupait donc – géométriquement – une sorte de milieu entre une balance de Roberval (1 opération logique par seconde) et le cerveau humain (grossièrement 2×10^{14} opérations logiques par seconde, car formé de 2×10^{12} neurones ne pouvant chacun commuter plus de 100 fois par seconde). En 2005, un microprocesseur typique traite 64 bits en parallèle (128 dans le cas de machines à double cœur) à une vitesse typique de 2 GHz, ce qui place en *puissance brute* dans les 1011 opérations logiques par seconde. En ce qui concerne ces machines *destinées au particulier*, l'écart s'est donc nettement réduit. En ce qui concerne les machines comme Blue Gene, il a même changé de sens.

Le matériel serait donc maintenant présent. Du logiciel à la mesure de ce matériel resterait à développer. En effet, l'important n'est pas de raisonner plus vite, en traitant plus de données, ou en mémorisant plus de choses que le cerveau humain, l'important est de traiter les informations de manière appropriée.

L'IA souligne la difficulté à expliciter toutes les connaissances utiles à la résolution d'un problème complexe. Certaines connaissances dites implicites sont acquises par l'expérience et mal formalisables. Par exemple, qu'est-ce qui distingue un visage familier de deux cents autres ? Nous ne savons clairement l'exprimer.

L'apprentissage de ces connaissances implicites par l'expérience semble une voie prometteuse grâce encore une fois aux réseaux de neurones. Néanmoins, un autre type de complexité apparaît, la complexité structurelle. Comment mettre en relation des modules spécialisés pour traiter un certain type d'informations, par exemple un système de reconnaissance des formes visuelles, un système de reconnaissance de la parole, un système lié à la motivation, à la coordination motrice, au langage, etc. En revanche, une fois un tel système conçu et un apprentissage par l'expérience réalisé, l'intelligence de l'IA pourrait probablement être dupliquée en un grand nombre d'exemplaires.

II.3.2 Les limites du modèle anthropocentrique

Bien qu'attrayante, la modélisation du système cognitif reste soumise à de nombreux paramètres et on ne peut pas prédire à l'heure actuelle qu'elle sera un jour parfaitement viable.

Premièrement, la modélisation du système cognitif pourrait être impossible avec des machines manipulant des symboles comme les ordinateurs actuels. Différentes approches s'offrent alors à cette problématique.

Des algorithmes quantiques sont théoriquement capables de mener à bien des calculs hors de l'atteinte pratique des calculateurs conventionnels même si nous ne disposons pas encore de ceux-ci pour le vérifier. Cette position est défendue notamment par Roger Penrose pour qui des systèmes dont l'organisation matérielle serait fondée sur des processus quantiques pourrait résoudre la problématique.

Des systèmes dont l'organisation matérielle mimerait le fonctionnement du cerveau humain, par exemple avec des circuits électroniques spécialisés reproduisant le fonctionnement des neurones, ou bien via les systèmes connexionnistes vus précédemment qui permettent l'apprentissage par l'expérience des connaissances difficiles à expliciter à l'aide d'outils tels que des réseaux de neurones formels, dont l'organisation logique et non matérielle s'inspire des neurones biologiques, avec du matériel informatique conventionnel.

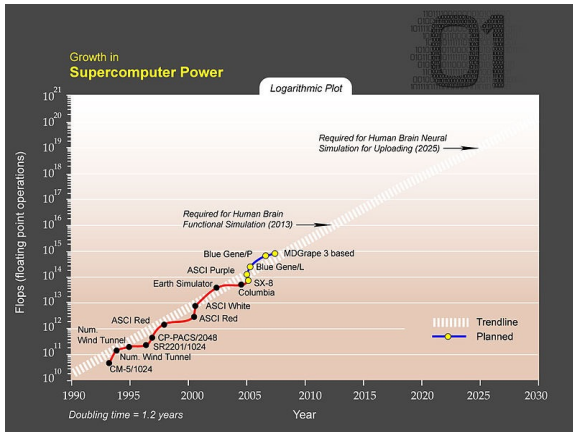
Pourtant, si du matériel informatique conventionnel est utilisé pour réaliser un réseau de neurones, alors il est possible de réaliser l'IA avec les ordinateurs classiques manipulant des symboles (puisque ce sont les mêmes machines. Cette position paraît donc incohérente. Toutefois, ses défenseurs arguent que l'impossibilité en question est liée à notre inaptitude à tout programmer de manière explicite, et n'aurait rien à voir avec une impossibilité théorique.

III. État des lieux, condition et anticipation de la singularité

I.3. Sur la ligne d'avancement de l'arrivée de la singularité.

Raymond C. Kurzweil, informaticien américain, a déjà imaginé la possibilité pour un superordinateur d'imiter le fonctionnement du cerveau humain. Selon la loi de Moore, R. Kurzweil date en 2025 le moment où

un superordinateur sera plus beaucoup plus puissant qu'un cerveau humain, et pourra alors le simuler (voir frise page suivante).



LA FRISE CHRONOLOGIQUE DE RAY KURZWEIL.

C'est notamment le but du projet Blue Brain, lancé par l'école polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse. Blue Brain est l'étude de l'architecture et des principes fonctionnels du cerveau, pour créer un cerveau synthétique par rétro-ingénierie. Le superordinateur utilisé pour le projet n'est autre que Blue-Gene, le superordinateur d'IBM, qui participe au projet en fournissant le matériel ainsi que certaines ressources matérielles et humaines.



BLUE GENE : LES SUPERORDINATEURS D'IBM

Après que l'ordinateur d'IBM Deep-Blue battait Garry Kasparov aux échecs en 1997, en 2005, un robot de Stanford a remporté le DARPA Grand Challenge en conduisant de manière autonome pendant 131 milles sur une piste de désert sans avoir fait de reconnaissance préalable. Aujourd'hui c'est Watson, la nouvelle intelligence artificielle d'IBM, qui, présentée lors d'un jeu télévisé, remporte celui-ci avec une large avance sur

la simple existence de sa base de données, sans accès à l'internet.

Watson se présente comme un système informatique cognitif, analysant et classant les données qu'il reçoit ou qu'il possède dans sa base de données et apprend au fur et à mesure. Watson peut de plus en plus faire ce que l'homme peut faire naturellement, mais à la vitesse d'un ordinateur et avec des ressources décuplées. Watson représente une première étape dans les systèmes cognitifs, une nouvelle ère de l'informatique. Il utilise l'informatique programmable ainsi que la combinaison de trois fonctionnalités supplémentaires : traitement du langage naturel, la production et l'évaluation hypothèse, et l'apprentissage dynamique. Il profite ainsi des dernières avancées en IA symbolique et connexionniste. Enfin, Watson est capable de comprendre le langage parlé et est donc également une interface entre l'homme et la machine. IBM proposera bientôt les services de Watson pour la création d'applications cognitives.



WATSON, LES SUPERORDINATEURS D'IBM

Watson n'est pas la seule intelligence artificielle qui pousse l'humanité à se regarder en face. En effet, en mai 2014, la société Deep Knowledge Ventures a nommé un ordinateur au conseil général de l'entreprise. Il s'agit d'un outil d'intelligence artificielle appelé VITAL (Validating Investment Tool for Advancing Life) qui aide à prévoir quelles sont les entreprises dans lesquelles investir. Le programme basé sur l'algorithme VITAL fait des recommandations sur les investissements en allant sur de grandes quantités de données et de règles de science des entreprises (analyse Big Data). En utilisant la logique floue pour identifier les succès probables et sur la base d'autres analyses, il est également en mesure de prendre des décisions en passant par les informations relatives au financement, les essais cliniques, la propriété intellectuelle et les cycles de financement précédents d'autres entreprises potentielles. À nouveau, les deux tendances symbolique et connexionniste se retrouvent

utilisées. Les décisions de Deep Knowledge Ventures sur les investissements sont maintenant faites strictement après que VITAL ai fourni ses données.

Les moteurs de recherche comme Google ont intégrés dans leurs tâches des techniques avancées de recherche d'information et d'intelligence artificielle. Par ailleurs, il existe de plus en plus de systèmes de recommandation de produits ou de services sur le Web : films, livres, cours, restaurants, voyages, trajets d'autobus ou de métro. Ils sont tous basés sur des techniques d'IA comme le raisonnement à base de cas, le filtrage de contenu ou le filtrage collaboratif. Certains d'entre eux prennent en compte les données démographiques, mais aussi les habitudes d'achat du client ainsi que le comportement de navigation sur le web. Le système Captcha, développé à Carnegie Mellon University, s'occupe de différencier les humains des machines. Captcha génère des tests que seuls les humains peuvent passer, afin de combattre les spams et les actions malicieuses de certaines machines.

Aujourd'hui, cette notion de singularité alimente débats, fantasmes sectaires et projets, des plus insensés aux plus sérieux. En 2008, une Université de la Singularité a été créée en Californie par Ray Kurzweil et Peter Diamantis avec le soutien massif de Google, Nokia, Cisco, Autodesk, de la NASA, et de l'administration américaine. L'esprit de cette université tient en un slogan :

« Be prepared to learn how the growth of exponential and disruptive technologies will impact your industry, your company, your career, and your life ».

III.1. Quelles ont été les anticipations : quelles sont (seront) les conditions du bond, les règles du bond ?

Un bond technologique comme celui attendu lors de la singularité n'est pas le premier de l'histoire. Certaines avancées scientifiques ont eu un tel impact sur le développement de l'homme et des sociétés que nous pouvons déjà parler de bond technologique. C'est par exemple, pour les moteurs automobiles, le passage du moteur à explosion au moteur hybride ou au moteur électrique. Pour les réacteurs nucléaires, le passage de la troisième génération (réacteurs de type EPR) à la quatrième génération (réacteurs de type RNR ou autres). Dans le domaine des réseaux informatiques, le passage des câbles en cuivre à la fibre optique.

Il y a plusieurs conditions qui sont nécessaires à cette augmentation de la vitesse de développement de la puissance de calcul des machines. Ces conditions sont pour beaucoup d'entre elles actuellement déjà remplies, ou en train d'être remplies. Il suffit par exemple de mesurer et comparer les acquis humains à l'échelle du millénaire, du siècle, puis sur dix ans et de constater le gradient.

Par ailleurs, le web en tant qu'émergence d'une structure globale issue d'une multitude d'interactions locales peut être vu comme un graphe dynamique dont les sommets sont les pages web et les arêtes, les liens HTML liant ces pages. Le transfert massif de l'information humaine vers internet, son stockage, son traitement, sa hiérarchisation via les moteurs de recherche constitue certainement les premiers pas vers notre singularité, si elle doit avoir lieu.

L'intelligence artificielle a longtemps été le seul souci des œuvres de science-fiction et d'anticipation, mais aujourd'hui, elle est une composante bien réelle des technologies actuelles.

L'acteur et auteur de science-fiction Isaac Asimov est le premier à s'intéresser aux conséquences d'une forme de vie artificielle. C'est d'ailleurs dans son cycle de roman « Les Robots » qu'il édite les trois la vision la plus connue d'une future IA dépassant l'homme.



ISAAC ASIMOV

Il renouvelle complètement ce thème en inventant des « robots positroniques » gouvernés par trois lois protégeant les êtres humains et, a priori, parfaites et inviolables. Le jeu d'Asimov consiste à imaginer des

situations révélant des failles de ces lois (exemple : un robot peut-il, restant passif, laisser un humain fumer une cigarette ?) et des bizarreries de comportement de robots qui semblent les enfreindre, puis à faire découvrir au lecteur comment cela est possible, à la manière d'une enquête policière.

Les trois lois sont :

Première Loi : « Un robot ne peut porter atteinte à un être humain ni, restant passif, laisser cet être humain exposé au danger. »

Deuxième Loi : « Un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres sont en contradiction avec la Première Loi. »

Troisième Loi : « Un robot doit protéger son existence dans la mesure où cette protection n'entre pas en contradiction avec la Première ou la Deuxième Loi. »

Deux robots exceptionnels, R. Daneel Olivaw et R. Giskard Reventlov, en viennent à ajouter une Loi Zéro, qui stipule qu'un robot ne peut porter atteinte à l'humanité dans son ensemble, même pour protéger un être humain : un robot ne peut ni nuire à l'humanité ni, restant passif, permettre que l'humanité souffre d'un mal. Cette loi est apparue dans *Les Robots et l'empire* (chapitre LXIII).

III.2. Les visions du futur scientifiques.

L'astrophysicien britannique Stephen Hawking a averti que le développement de l'intelligence artificielle pourrait signifier la fin de l'humanité. Dans un entretien avec la BBC [6], le scientifique a déclaré que ce type de technologie pouvait évoluer rapidement et dépasser l'humanité : *"Je pense que le développement d'une intelligence artificielle complète pourrait mettre fin à la race humaine"*. En mai dernier, le physicien publiait une tribune dans le journal *The Independent* [7], exactement sur le sujet. « *Développer avec succès l'intelligence artificielle pourrait être le plus grand événement dans l'histoire de l'humanité. Malheureusement, ce pourrait aussi être le dernier* » estimait-il alors. « *On peut imaginer que cette technologie soit capable de déjouer les marchés financiers, de dépasser les scientifiques humains, de manipuler les dirigeants et développer des armes qu'on ne puisse pas comprendre. L'incidence à court terme de l'intelligence artificielle dépend de celui qui la contrôle, mais, à long terme, cela dépend de la possibilité concrète de la contrôler.* »

Elon Musk, le patron de l'entreprise américaine Tesla, a donné son avis concernant le développement de l'intelligence artificielle dans le cadre d'une conférence qui s'est tenue au MIT [8]. Pour lui, il faut énormément se méfier de l'évolution de ce type de technologies.

Magnat des technologies réputé à travers le monde, et en particulier aux États-Unis, Elon Musk est non seulement le patron du constructeur automobile Tesla, mais également de SpaceX, qui produit notamment des lanceurs à destination des vaisseaux spatiaux de la NASA. « *Je pense que nous devrions être très prudents à propos de l'intelligence artificielle. Si je devais miser sur ce qui constitue notre plus grande menace existentielle, ce serait probablement ça* » a-t-il déclaré lors de l'AeroAstro Centennial Symposium du MIT. « *De plus en plus de scientifiques pensent qu'il devrait y avoir une surveillance réglementée, au niveau national et même international, juste pour s'assurer que nous ne faisons rien de stupide.* ».

Thomas John Watson Jr., fils de Thomas J. Watson et second président de la firme IBM déclare lui-même : « *Our machines should be nothing more than tools for extending the powers of the human beings who use them.* ».

III.3. La vision d'artistes.

Que ce soit I. Asimov dans la littérature, ou James Cameron dans le cinéma, de nombreux artistes ont proposé leur vision de ce future où une intelligence artificielle prend le pouvoir sur l'espèce humaine. Ce sujet a toutefois été exploité très tôt, comme dans le récit des aventures de Pinocchio, publié en 1881, où une marionnette capable d'éprouver de l'amour pour son créateur cherche à devenir un vrai petit garçon. Cette trame a fortement inspiré le film *A.I. Intelligence artificielle*, réalisé par Steven Spielberg, sur la base des idées de Stanley Kubrick, lui-même inspiré de Brian Aldiss. L'œuvre de Dan Simmons, notamment le cycle d'Hypérion, contient également des exposés et des développements sur le sujet. Autre œuvre majeure de la science-fiction sur ce thème, *Destination vide*, de Frank Herbert, met en scène de manière fascinante l'émergence d'une intelligence artificielle forte.

Dans les « *Robots* » d'Isaac Asimov, le monde est dirigé par un robot sans même le savoir. C'est donc l'hypothèse qu'un robot pourrait très bien gouverner les

hommes, comme dans la société Deep Venture Knowledge. Puisque les hommes sont dirigés par un robot sans même le savoir, ils l'acceptent d'une certaine manière.

Dans *2001 : l'odyssée de l'espace* de Stanley Kubrick, inspiré de la nouvelle *Sentinelle* d'Arthur C. Clarke, également auteur du scénario du film, avec la lutte entre HAL et Dave. Hal 9000 fait une erreur lors de la mission et lutte contre sa suppression. De la même manière dans le film *Blade Runner* de Ridley Scott (1981), inspiré du roman éponyme de Philip K. Dick, où des hommes artificiels reviennent sur terre après une mission spatiale, mais n'acceptent pas la mort programmée suite au succès de leur mission. Dans ce film la distinction entre homme et machine est encore plus floue, puisque le doute sur le personnage principal n'est pas levé.

Le film d'animation « *Ghost in the Shell* », du réalisateur japonais Mamoru Oshii sorti en 1995, fait également référence à la possibilité d'IA accédant à la conscience. Dans la société futuriste dépeinte par le film, les humains sont améliorés et devenus des transhumains. Le cerveau de l'homme a été remplacé chez certains par des cerveaux électroniques exploités par des programmes de consciences nommés Ghost. Le film raconte l'histoire d'un androïde complètement artificiel qui crée son propre Ghost et accède à la conscience, ainsi que la manière dont-il définit sa vie et son existence.

Dans la série de films *Terminator* de James Cameron, le futur est un monde désolé où les machines ont pris le pouvoir sur l'homme. La machine Skynet ayant accédé à la conscience, elle développera dans une société d'armement les robots dont elle aura le contrôle. Dans le deuxième volet de la trilogie, une chronologie est faite entre l'accès à la conscience de la machine et son avènement au pouvoir et sa domination sur les hommes, James Cameron développe qu'en seulement 5 ans Skynet aura créé des armes que les hommes ne sont pas capables de comprendre.

Matrix, film de Larry et Andy Wachowski met également en scène un monde où les humains sont exploités par la machine.

Plus récemment, le film de science-fiction *Transcendance* de Wally Pfister met en avant l'avance technologique considérable que permettrait la présence

d'une conscience artificielle, mais il décrit aussi les dangers d'un tel évènement.

Ces films dits de sciences-fictions ont aussi bien la fonction de divertissement, mais ils nous paraissent aujourd'hui de plus en plus réels et proches de l'accomplissement. Les technologies utilisées dans ces films nous semblent bien plus proches, voire déjà accessibles. Pour un adolescent moderne, la figure du robot tueur d'Hal 9000 ne lui paraît plus si futuriste, puisqu'il l'associe volontiers avec son propre ordinateur personnel, voir même son smartphone.

Conclusion

Nous avons pu voir que le terme *Singularité* appliqué à des machines intelligentes se réfère à l'idée que lorsque des machines intelligentes pourront concevoir des machines intelligentes, plus intelligentes qu'elles, cela provoquera une croissance exponentielle de l'intelligence des machines conduisant à une singularité de l'intelligence à l'infini (ou du moins immense). La croyance en cette idée se fonde sur une conception réductrice de l'intelligence et ne peut donc pas être à l'heure actuelle ni démontrée, ni pour autant réfutée. Il se pourrait que la singularité soit uniquement synonyme d'accélération du progrès à l'image du développement de l'informatique. Pourtant nombreux sont ceux qui sont persuadés que cette fracture technologique aussi dangereuse que prometteuse devienne une réalité d'ici la fin du siècle. Même si ce rapport offre un rapide tour d'horizon sur le sujet, il ne peut offrir une réponse claire à la question ultime de l'apparition ou non d'une telle fracture technologique, comme souvent, seul le temps nous permettra de le découvrir.

Références Bibliographiques :

- [1] B.Victorri, « Modélisation et Intelligence Artificielle » in La modélisation : aspects pratiques et méthodologie. [ORSTOM, 1989, Colloques et Séminaires]
- [2] J.Somers, « L'homme qui rêvait de machines qui pensent » : <http://www.ulyces.co/james-somers/homme-revait-machines-pensee-hofstadter-ia/>
- [3] E.Yudkowsky, « Scruter la singularité »
- [4] IEEE Annals of the History of Computing, vol. 33(3), pp. 46-54, 2011
- [5] J.P.Delahaye, « Au delà de la Loi de Moore » in Pour la Science - n° 431 - Septembre 2013
- [6] Interview by Rory Cellan-Jones : <http://www.bbc.com/news/technology-30290540>
- [7] Article available on the independant website : <http://www.independent.co.uk/news/science/stephen-hawking-transcendence-looks-at-the-implications-of-artificial-intelligence--but-are-we-taking-ai-seriously-enough-9313474.html>
- [8] Webcast available on the site of the MIT : <http://webcast.amps.ms.mit.edu/fall2014/AeroAstro/index-Fri-PM.html>

Ethique, responsabilité et statut juridique du robot compagnon : revue et perspectives

Anne Boulangé
 Master IC2A, Sciences Cognitives
 Grenoble INP
 France
 boulange.anne@gmail.com

Carole Jaggie
 Master IC2A, Sciences Cognitives
 Grenoble INP
 France
 carole.jaggie@gmail.com

Abstract — Les avancées de la recherche en robotique et en intelligence artificielle permettent l'introduction des robots compagnons dans notre quotidien. Dès le mois de février 2015, le robot Pepper sera accessible au grand public au Japon. Ces robots de service répondent à des enjeux sociétaux majeurs tels que l'aide aux devoirs, le maintien à domicile de la personne dépendante, etc. Toutefois, les questions relatives au cadre juridique et éthique ne trouvent pas encore de réponse. Ce papier fait le point sur les réflexions existantes pour le statut de ces robots à travers le monde, sur les règles déjà en vigueur en termes de responsabilité de fabrication et propose des pistes de réflexion concernant le cadre éthique et juridique à considérer lors de leur intégration dans notre quotidien.

Keywords — robot compagnon; éthique; responsabilité; statut juridique; droits et devoirs

I. INTRODUCTION

Les avancées de la recherche en robotique et en intelligence artificielle permettent à la fin du XXème siècle d'envisager l'introduction de robots compagnons dans notre quotidien. Il existe plusieurs sortes de robots: les robots militaires, les robots médicaux, les robots industriels, les robots ménagers et les robots compagnons. L'objectif de cet article est de faire un état des lieux et de proposer des pistes concernant l'éthique et la responsabilité juridique pour les robots compagnons, encore appelés robots de service. Ces robots correspondent aux catégories « friendly » et « strong » du tableau ci-dessous.

		Behavior of AI	
		Agressive	Friendly
Self-awareness of AI	Strong	War <i>A well-known story for human kind but who will win this time ?</i>	Coevolution <i>In a strong darwinian perspective we would see a coevolution between biological and artificial entities</i>
	Weak	Golem <i>A sort of Terminator for real</i>	Slaves <i>AI are the humans' servants respecting the «Three Laws of Robotics» (I. Asimov)</i>

Bisson, 2014

Le premier robot compagnon destiné à être commercialisé au grand public arrivera dès le mois de février 2015 au Japon. Il s'agit de Pepper, développé par la société française Aldebaran Robotics. D'autres sont également disponibles en open source comme le robot Poppy. Il existe aussi des robots à visée thérapeutique qui sont déjà utilisés comme le phoque Paro. Tous ces robots ont pour objectif de tenir compagnie, d'être une aide à domicile (aide aux devoirs, etc.) mais aussi de répondre à un enjeu sociétal majeur qu'est la dépendance de la personne âgée. Ces robots ont déjà été imaginés dans la fiction, dans le film "Robot and Franck" ou encore dans la série "Real humans". En effet, la population vieillissante nécessite le maintien à domicile le plus longtemps possible de la personne âgée (plus d'1 million de personnes dépendante en France). « Au 1er janvier 2012, en France métropolitaine, 1,17 million de personnes âgées sont dépendantes au sens de l'allocation personnalisée d'autonomie (APA), soit 7,8 % des 60 ans ou plus. À l'horizon 2060, selon le scénario intermédiaire des projections de dépendance, le nombre de personnes âgées dépendantes atteindrait 2,3 millions. » [7].

Ces robots compagnons existent donc déjà, mais pour qu'ils évoluent parmi nous, dans nos maisons, il est nécessaire de définir des règles éthiques et juridiques qui s'appliquent à la relation homme/robot. Un robot doit-il donner des ordres ? Qui est responsable en cas de problème ou de dysfonctionnement du robot ? Voici quelques questions parmi tant d'autres que pose l'introduction de robots compagnons dans nos vies.

Ces questions sont complexes, en effet on ne peut pas utiliser les lois appliquées dans le monde industriel aux robots compagnons car ils évolueront dans un environnement beaucoup moins contrôlé, en interaction directe avec l'humain et avec l'objectif d'être autonomes. Aujourd'hui, aucun système juridique du monde ne définit de règles, de droits et de devoirs pour les robots compagnons. Cependant, différents acteurs évoquent ces questions et affirment la nécessité de définir un statut juridique ainsi que des règles éthiques des robots compagnons [3,2].

Dans cet article, nous ferons d'abord un état de l'art des règles éthiques et juridiques à travers le monde pour les robots compagnons. Nous tenterons ensuite de proposer un cheminement pour répondre aux enjeux que ces questions posent.

II. ETAT DE L'ART

Le premier à avoir évoqué des règles éthiques à appliquer aux robots est Isaac Asimov, dès 1942. Cet écrivain de science fiction pose un principe majeur : le robot ne doit pas mettre en danger un être humain. Il en a tiré les 3 lois de la robotique [1]:

- « un robot ne peut porter atteinte à un être humain ni, restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger. »
- « Un robot doit obéir aux ordres que lui donne un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la première loi. »
- « Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la première ou la deuxième loi. »

Ces lois sont de grands principes mais ne permettent pas de déterminer de cadre réel en terme de responsabilité juridique. De plus, on note d'ores et déjà des difficultés d'application dans le cas où un être humain porte atteinte à un autre être humain en présence d'un robot. Quelle doit être la réaction du robot ?

C'est ensuite au Japon, en 1988, que des règles éthiques ont vu le jour. Elles reprennent les dix principes formulés par Osamu Tezuka dans ses mangas [17]. Elles reprennent les lois de la robotique énoncées ci-dessus et ajoutent certaines notions telles que la responsabilité du fabricant, le besoin de pouvoir identifier chaque robot et la non participation du robot à des activités criminelles. Ici encore, il est difficile d'envisager le respect absolu de toutes les règles et notamment la dernière alors même que les humains participent parfois à des activités criminelles sans en être tout à fait conscients, d'autant plus que les robots doivent obéir aux humains.

Parmi les pionniers dans ce domaine, la Corée du Sud a réalisé un projet de charte éthique des robots en 2007 [3]. Cependant, ce texte n'a pas donné de suite à ce jour. Il propose 3 parties : les normes de fabrication, les droits et devoirs des utilisateurs et propriétaires, et les droits et devoirs des robots.

Les normes de fabrication : les fabricants doivent

- Veiller à ce que l'autonomie des robots qu'ils conçoivent soit limitée, afin qu'il soit toujours possible pour un être humain de prendre le contrôle d'un robot dans le cas où cela deviendrait nécessaire.
- Respecter des normes strictes de contrôle de la qualité, en veillant à ce que toutes les mesures raisonnables soient prises afin de réduire les risques de décès ou de blessure pour l'utilisateur et garantir la sécurité de la population.
- Prendre des mesures pour réduire le risque de dommages psychologiques pouvant être causés aux utilisateurs par des comportements antisociaux ou sociopathes, de dépression ou d'anxiété, de stress, et en particulier d'addiction (telle que la dépendance au jeu).
- S'assurer que leur produit est clairement identifiable, et que cette identification est protégée contre toute altération.

- Concevoir les robots de manière à protéger les données à caractère personnel par des moyens de cryptage et de stockage sécurisé.
- Concevoir les robots de manière à permettre la traçabilité de leurs actions (aussi bien dans le monde virtuel que dans le monde réel) à tout moment.
- Concevoir les robots en s'inscrivant dans une démarche écologiquement responsable et pérenne.

Les droits et devoirs des utilisateurs et des propriétaires :

- Les propriétaires et les utilisateurs doivent pouvoir utiliser leur robot en toute sécurité et sont en droit d'attendre d'un robot qu'il effectue toutes les tâches pour lesquelles il a été expressément conçu.
- Les propriétaires et les utilisateurs ne peuvent se servir des robots pour commettre un acte illégal.
- Le propriétaire doit prendre des précautions raisonnables pour que son robot ne constitue pas une menace pour la sécurité et l'intégrité physique ou la propriété des personnes.
- Ils ne peuvent endommager ou détruire délibérément un robot.
- Ils ne peuvent permettre, par négligence grave, à un robot de subir un dommage.
- Ils ne peuvent traiter un robot d'une manière qui peut être interprétée comme délibérément et excessivement abusive.

Les droits et devoirs des robots : les robots jouissent des droits fondamentaux sud coréens suivants

- Le droit d'exister sans crainte d'être blessé ou tué.
- Le droit de vivre une existence exempte de violence systématique.

Mais aussi :

- Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni en restant passif, ni en permettant qu'il soit exposé au danger.
- Un robot doit obéir aux ordres que lui donne un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la règle ci-dessus.
- Un robot ne doit pas tromper un être humain.

Les pays d'Europe comme le Danemark, la Grande-Bretagne et la France travaillent également sur ces questions. Cependant, il s'agit de textes d'orientation à ce jour, plutôt que de règles juridiques et éthiques. On peut notamment citer les recommandations concernant les robots sociaux du conseil d'éthique danois [18] ainsi que les réflexions du conseil de la recherche en ingénierie et sciences physiques et du conseil de la recherche des arts et sciences humaines de Grande Bretagne.

En France, la CERNA (Commission de réflexion sur l'éthique de la Recherche en sciences et technologies du Numérique d'Allistene : ALLiance des Sciences et

Technologies du Numérique) a publié en novembre 2014 un premier rapport sur l'éthique de la recherche en robotique [4]. Même si ce sujet ne concerne pas directement le robot compagnon dans le quotidien de l'humain, il fait état des questions que l'on peut et doit se poser en amont, en recherche et lors de leur conception. Le gouvernement français participe aussi à ces réflexions, Arnaud Montebourg (Ministre du Redressement Productif de 2012 à 2014) a d'ailleurs dit que « la France doit devenir le leader mondial de la robotique ».

C'est en ce sens que le plan France Robots Initiatives a été publié en mars 2013. Il propose notamment que « la France se dote d'un organisme compétent dans le domaine de l'évaluation et de la certification des produits de la robotique non industrielle » [10]. Encore une fois, il s'agit d'un texte d'orientation constitué d'un ensemble de recommandations mais sans règles concrètes.

Le PIPAME (Pôle Interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations Economiques) et la DGCIS (Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services, aujourd'hui devenue la Direction Générale des Entreprises), ont également publié « Le développement industriel futur de la robotique personnelle et de service en France » en avril 2012 [14]. Il est évoqué que « les questions de responsabilité, en droit, seront traitées en grande partie par la jurisprudence ». De plus, ce rapport rappelle que « les robots sont soumis aux mêmes obligations que tous les produits manufacturés, dont :

- L'obligation de garantie imposée par l'article 1603 du Code civil.
- La responsabilité du fait du produit défectueux (loi 98-389 du 19 mai 1998).
- La responsabilité élargie du producteur et notamment l'article 5 du décret 2005-829 du 20 juillet 2005 qui stipule que les équipements électriques doivent être conçus et fabriqués de façon à faciliter leur démantèlement et leur valorisation.
- La protection des données personnelles »

La responsabilité du fait du produit défectueux s'applique au fabricant, cependant dans le cas de robots autonomes et capables d'apprentissage elle n'est pas applicable en l'état. Il semble donc indispensable de se munir d'un bagage juridique et éthique spécifique.

Du côté juridique, l'avocat Alain Bensoussan, spécialiste du droit des robots en France, souhaite proposer une charte à ce sujet. Il a créé l'association du droit des robots en 2014 pour « appeler à la création d'un cadre juridique propre à la robotique » [2]. Rien n'est paru à ce jour mais l'association prévoit des groupes de travail le 28 janvier 2015.

L'Union Européenne s'est elle aussi dotée d'un groupe de réflexion sur l'éthique concernant les robots compagnons. Le groupe EURON (European Robotics research Network) a été créé afin de rassembler les différents groupes européens de robotique. L'un de leurs objectifs, à l'issue de la convention sur la roboéthique de 2006 est de mettre en avant ce sujet en tant

que problématique de recherche en vue d'aboutir à une réglementation [6].

Aux Etats Unis, on retrouve également des codes d'éthique. Ceux-ci sont essentiellement destinés à la recherche et à la conception des robots comme le Code de déontologie des ingénieurs de la société nationale des ingénieurs en 2003 [11] et le Code de déontologie des ingénieurs en robotique de l'institut polytechnique de Worcester en 2010 [19]. On y trouve des règles d'impartialité, d'équité, de respect des êtres vivants que les ingénieurs construisant des robots doivent appliquer.

A travers le monde, on constate donc que les questions juridiques et éthiques concernant les robots compagnons font l'objet de beaucoup de réflexions sans pour autant avoir abouties à ce jour alors que les robots compagnons sont prêts et arrivent sur le marché du grand public.

Il est important de prendre en compte que suivant les différents contextes culturels, juridiques, de protection de l'Etat et les contextes politiques, les différents pays du monde n'ont pas la même réaction ni les mêmes besoins en terme de législation. Pour les pays anglo-saxons, l'expérimentation prime et le système juridique s'en adapte via les cas de jurisprudence. En Europe et en France particulièrement, l'Etat est responsable de la sécurité des citoyens, il définit donc des lois afin de pouvoir définir le cadre de ses fonctions. Enfin en Asie, la population, de par sa culture est plus encline à accepter l'introduction des robots dans son quotidien ce qui facilite le travail sur les questions d'éthique et de responsabilité juridique.

III. LE ROBOT COMPAGNON: DE LA CONCEPTION A L'INTEGRATION

Afin de définir plus clairement les responsabilités juridiques des robots, il convient dans un premier temps de bien cerner les tenants et les aboutissants du rôle du robot. La première étape est d'intégrer, tout au long de sa fabrication, les réponses à d'éventuels dysfonctionnements afin de définir très précisément les responsabilités en cas de dysfonctionnement.

Pour cela, il est possible de s'appuyer sur des directives déjà existantes à l'échelle européenne. En effet, il incombe aux pays membres de l'Union Européenne d'assurer sur leur territoire la santé et la sécurité des personnes et le cas échéant des animaux domestiques et des biens notamment vis-à-vis des risques découlant de l'utilisation de machines.

Les premières règles pouvant être appliquées aux robots compagnons sont celles concernant les "machines" au sens général. Celles-ci sont régies par la directive 2006/42/CE du 29 novembre 2009 [13] s'appuyant sur une version de 1989, 89/392/CEE. La définition au sens strict du terme machine y est ici définie comme ceci : « ensemble équipé ou destiné à être équipé d'un système d'entraînement autre que la force humaine ou animale appliqué directement, composé de pièces ou d'organes liés entre eux dont au moins un est mobile et qui sont réunis de façon solidaire en vue d'une application définie ». Cette directive définit à l'échelle des pays membres de l'Union Européenne les conditions de libre circulation des machines et la garantie du haut niveau de protection de la santé et de la sécurité.

De ce texte général ont émergés de nouvelles directives prenant en compte les différentes évolutions technologiques, scientifiques et sociétales. Parmi les plus connues nous pouvons citer celle concernant les dispositifs médicaux ayant vu le jour en 1998 et en cours de modifications suite aux scandales sanitaires ayant eu lieu récemment. L'idée principale de cette directive, en plus de donner un cadre au sein de l'Union Européenne, est de permettre la réduction du coût social engendré par des accidents provoqués par les machines et de ce fait d'intégrer la sécurité à la conception et à la construction puis à son intégration et à son entretien de la machine. Elle définit la marche à suivre concernant l'évaluation des risques notamment les risques d'ordre physique (électrique, thermique, mécanique...), d'ordre ergonomique et d'ordre environnemental et la conception du dossier technique de construction. Cette directive définit la responsabilité du fabricant (mandataire, distributeur) en ce qui concerne la conformité de son produit avant la mise sur le marché. La conformité d'un produit du point de vue du fabricant étant déterminée par l'évaluation des risques en amont de la fabrication, la mise à disposition des documentations techniques, la déclaration de conformité venant d'autorités compétentes telles que des organismes notifiés et le marquage CE.

Alors que très souvent les règles de normalisation suivent la fabrication et mise sur le marché, l'Organisation Internationale de la Standardisation (ISO) a rédigé en 2014 les spécifications concernant les robots compagnons [12] en s'inspirant des critères de sécurité existante au Japon. Cela a donné lieu à la norme 13482 qui donne le cadre concernant les exigences de sécurité liées à la fabrication des robots (non médicaux) assistants, d'aide à la personne et exosquelettes. Cette directive permet d'avoir à l'échelle des robots compagnons des critères de fabrications plus spécifiques que ceux définis par la directive "machines" ou encore des directives concernant les robots industriels (10218-1:2011 et 10218-2:2011) et elle décrit les phénomènes dangereux à prendre en compte associés à l'utilisation des robots d'assistance.

A l'échelle française, le rapport de la CERNA [4] fait également état des préconisations à intégrer pour la conception de robots afin de prémunir les effets indésirables, d'autant plus que ces robots sont dotés d'autonomie, de capacités décisionnelles, d'interaction avec les humains et d'évolution dans un environnement non définissable à l'avance et s'étendant jusque dans les aspects privés de la vie humaine. Ces préconisations concernent les questions de reprises en main que l'opérateur ou utilisateur doit pouvoir effectuer (au détriment du robot) ou que le robot peut effectuer (au détriment de l'humain), des décisions que peut prendre le robot sans être à l'insu de l'utilisateur, des notions de traçage, des notions de confidentialité, etc. Comme l'évolution des robots compagnons s'inscrit dans un domaine d'utilisation de plus en plus vaste et dans des environnements sociaux de plus en plus variés, il est nécessaire de ne pas considérer le robot uniquement en terme de "machine" au sens de la directive 2006/42/CE mais en terme de système sociotechnique.

Certes il est essentiel de se poser les questions préalables lors de la conception et de la fabrication mais viennent ensuite se poser toutes les questions éthiques et juridiques liées à son

intégration dans un environnement social prenant en compte le couplage homme-machine et l'organisation dans laquelle il s'inscrit. Cette question est soulevée dans le cadre de RoboLaw par R. Leenes et F. Lucivera [9]. Du fait que les humains et les robots vont être amenés à évoluer dans un même espace il est donc nécessaire de clairement définir ce que les robots peuvent faire et comment ils doivent le faire ainsi que ce que les humains peuvent faire. En effet, le robot, en plus d'être fonctionnel doit intégrer la complexité inhérente aux informations symboliques permettant un comportement social et légal conforme au regard de la moralité.

Les notions étendues des droits et devoirs découlent de notre tendance à l'anthropomorphisme social [5], ce qui a récemment permis de définir ceux relatifs aux animaux quelques soient leurs capacités. De la même manière, et compte tenu de l'attachement déjà existant aux robots sociaux (cas des personnes âgées avec le phoque Paro), il est légitime de se demander quels sont les droits des robots et les devoirs des humains envers eux. Par analogie aux droits des animaux, on pourrait se dire que les robots pourraient avoir les droits suivants:

- le droit de ne pas être atteints dans son intégrité physique par l'homme sans nécessité pour la vie, la santé des hommes ;
- le droit pour tous les robots tenus sous la dépendance de l'homme à un bien être conforme à leur impératifs techniques et comportementaux spécifiques, etc.

D'autres questions comme celles concernant la responsabilité en cas de dommage causé par un robot sont également à définir et permettent de s'interroger sur le statut juridique. Peut-on doter un robot d'une responsabilité juridique au même titre que les entités morales? Comment définir le rôle qu'a à remplir un robot? Peut-on considérer qu'il soit possible d'établir un contrat entre l'humain et le robot ? Le robot peut-il donc être considéré comme une personne légale ? L'histoire nous montre que ces notions de responsabilités ont évolués au fil des siècles et que dans un premier temps des lieux symboliques (comme les temples romains) étaient considérés comme des sujets avec des devoirs [15].

Emmanuel Kant posait déjà la question de la notion de personne concernant la moralité et définit la loi morale comme incombant aux "êtres raisonnables" dont l'humain fait parti. Les êtres raisonnables possèdent la faculté d'agir d'après des principes rationnels objectifs qu'ils soient techniques, pragmatiques ou catégoriques. Ce faisant, le robot compagnon entre bien dans la catégories des êtres raisonnables et pourrait donc être soumis à des lois morales. [8]

Dans son article Strafella et al. (2012) tente de définir les questions à se poser afin de définir au mieux le statut du robot ainsi que son intégration dans un environnement social. Le fait que les robots compagnons entrent en relation avec les humains de manière autonome et sous certaines conditions, peut amener l'idée de faire un contrat d'utilisation dans lequel les marges de manœuvre du robot s'inscrivent. Dans ce cadre, il est nécessaire d'établir qui sont les personnes responsables lors d'une rupture de contrat (de part et d'autre de la relation utilisateur/robot) et plus spécifiquement la responsabilité des dommages pouvant

être dus aux robots. Une autre hypothèse avancée est liée à l'idée que pouvant être considérés comme des "êtres raisonnables" (au sens kantien), les robots pourraient bénéficier de statut de responsabilités comme le sont les mineurs et les personnes dépendantes. Dans ce cadre, les responsabilités juridiques (en dehors des considérations de conception et de fabrication) seraient les propriétaires des robots.

Toutes ces questions restent encore en suspens sans que pour autant aucun pays membre de l'Union Européenne n'ait pour l'instant apporté de réponse.

IV. CONCLUSION

Nous avons pu voir qu'aujourd'hui aucune réelle réglementation concernant les robots compagnons n'existe dans le monde. Pourtant, ces robots sont à nos portes. Malgré les avancées technologiques, si nous ne savons comment considérer les robots, quelle doit être leur place et à qui incombe la responsabilité de leurs actions, les chercheurs et constructeurs n'ont pas toutes les clefs en main. C'est alors une spirale infernale. Ainsi, à notre sens, il est nécessaire que les différentes démarches sur les questions éthiques et juridiques entreprises à travers le monde se concrétisent.

Après avoir tenté de poser toutes les questions que soulève l'intégration des robots compagnons dans nos vies, voilà, à notre sens, les étapes qui découlent les unes des autres et qui nous semblent nécessaires à l'élaboration d'une réglementation:

- Déterminer le statut du robot : objet, personne autre, personne au même titre que l'être humain, animal, nouveau statut. Ce statut pouvant s'adapter en fonction des capacités que l'on souhaite donner à chaque « type » de robot ».
- Déterminer les droits et devoirs du robot.
- Déterminer les droits et devoirs des chercheurs.
- Déterminer les droits et devoirs des constructeurs.

Chercheurs et constructeurs n'interviennent pas aux mêmes étapes de la conception d'un robot, cependant leurs droits et devoirs se rejoignent.

- Déterminer les droits et devoirs des propriétaires.

- Déterminer les droits et devoirs des utilisateurs et personnes en contact avec le robot dans le cas où ils ne sont pas propriétaires.

Aujourd'hui, les deux derniers points ne sont pas renseignés, ce sont les cas de jurisprudence qui font office de réglementation. Est-ce suffisant ?

REFERENCES

- [1] Asimov, I. (1942). Runaround.
- [2] Association du droit des robots, <http://www.alain-bensoussan.com/association-du-droit-des-robots/>
- [3] Bensoussan, A. (2014). Le Droit des Robots, la Charte Coréenne, *Planète Robot*, 25, 14-15.
- [4] CERNA. (2014). Ethique de la Recherche en Robotique, Rapport n°1 de la CERNA, ALLISTENE.
- [5] Darling, K. (2012). Extending Legal Rights to Social Robots. We Robot Conference, University of Miami.
- [6] EURON, <http://www.euron.org/intro/index>
- [7] INSEE, http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=T14F096
- [8] Kant, E. (1785). Fondements de la métaphysique des mœurs, section II.
- [9] Leenes, R., Lucivera, F. (2014). Laws on Robots, Laws by Robots, Laws in Robots, Regulating Robot Behaviour by Design. *Law, Innovation and Technology*, 6(2) LIT 194–222.
- [10] Ministère du Redressement Productif et Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. (2013) Plan France Robot Initiative.
- [11] National Society of Professional Engineers. (2003). Code of ethics for engineers.
- [12] Organisation Nationale de Normalisation. (2014). ISO 13482:2014, Robots et Composantes Robotiques – Exigences de Sécurité pour les Robots Personnels.
- [13] Parlement Européen, Conseil Européen. (2006) Directive 2006/42/CE relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE.
- [14] PIPAME & DGCIS. (2012). Le Développement Industriel futur de la Robotique Personnelle et de Service en France.
- [15] Solum, L.B. (1992). Legal Personhood for Artificial Intelligences. *North Carolina Law Review*, 70, 1231.
- [16] Strafella, E., Salvini, P., Pirmi, A., Di Carlo, A., Oddo, C.M., Dario, P., Palmerini, E. (2012). Robot Companions as Case-Scenario for Assessing the "Subjectivity" of Autonomous Agents, Some Philosophical and legal Remarks.
- [17] Tezuka, O. (1968). Mighty Atom.
- [18] The Danish Council of Ethics. (2010). Recommendations concerning Social Robots.
- [19] Worcester Polytechnic Institute. (2010). A code of ethics for roboticengineers.

Robot compagnon et fiction

Yannick Bourrier

Etudiant M2 Sciences Cognitives
Grenoble INP
France

Yannick.Bourrier@phelma.grenoble-inp.fr

Ladislav Nalborczyk

Etudiant M2 Sciences Cognitives
Grenoble INP
France

Ladislav.Nalborczyk@phelma.grenoble-inp.fr

Résumé—*Le robot dans l'œuvre fictionnelle revêt une multitude de formes et répond tantôt à des besoins, tantôt à des aspirations ou des craintes humaines. Son rôle dans la relation qui s'esquisse alors entre lui et son créateur peut prendre diverses formes, de l'état de serviteur soumis à celui de tyran destructeur. En dressant un aperçu de ce panel coloré et historique, on navigue de crainte en espoir et on devine les raisons qui sous-tendent les désirs suscités par la création artificielle.*

Mots-Clés—*fiction ; robot ; compagnon ; relation*

I. INTRODUCTION

Depuis toujours, l'homme a été fasciné par l'idée de donner vie à un compagnon artificiel. Dès l'antiquité, Pygmalion sculptait Galatée et Aphrodite lui donnait vie. Au moyen âge, les alchimistes parlaient de l'homoncule, un homme minuscule créé artificiellement. Avec le développement exponentiel du progrès scientifique, l'être artificiel devint une source de préoccupation majeure pour de nombreux créateurs, mais parfois également d'espoir.

C'est en 1920 qu'apparaît pour la première fois le mot «Robot». Etymologiquement, ce mot est tiré du tchèque *robotá* signifiant « corvée ». Ainsi, si les robots ont en grande partie vocation à servir l'homme, cette servitude évolue de différentes manières en fonction des auteurs. Dans la première partie du vingtième siècle, l'évolution de cette relation entre machine et créateur était le plus souvent décrite sous un jour funeste pour l'homme. Mais à mesure que l'avènement de l'intelligence artificielle contribua à donner une réalité au mythe originel, l'éventail de visions changea radicalement. On commença à s'intéresser à d'autres problématiques : si le robot est effectivement voué à devenir réalité, quelle pourrait être notre relation avec lui ? Devrait-il effectivement n'être qu'un serviteur dévoué ? Se pourrait-il qu'une création de l'homme soit dotée d'une âme ? Et si oui, devrions nous la craindre ou la traiter comme un égal ?

Autant de questions qui ont passionné les écrivains, les cinéastes et bien d'autres artistes ces dernières années, l'éventail de points de vues croissant grâce à une émulation similaire à celle que connaissait parallèlement l'informatique.

Dans cet article, nous nous intéresserons à des œuvres variées représentatives, pour nous, de visions différentes, mais

toutes régulièrement abordés par les artistes au cours de ce siècle et du dernier.

II. PREMIERE PARTIE : LE MAITRE ET L'ESCLAVE

1. Un libre arbitre inexistant : le serviteur inconscient et son maître absolu

On traitera ici de rapports de soumission de la machine à l'homme dans un contexte littéraire où cette dernière, bien qu'anthropomorphe, est décrite par l'auteur comme une machine. Nous avons choisi deux exemples illustrant deux points de vue assez représentatifs de la question. Le premier, tiré d'une nouvelle d'Isaac Asimov, décrit une des conséquences possibles d'une telle interaction humain robot dans le cas où ces derniers sont par nature incapables de violence. Le second exemple s'intéresse en particulier au film *Alien, le huitième passager* dans lequel l'absence de libre arbitre chez un robot entraîne des conséquences désastreuses pour l'humain.

A. Satisfaction Garantie, Isaac Asimov

« - Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, en restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger.

- Un robot doit obéir aux ordres que lui donne un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la Première loi

- Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la Première ou la Deuxième loi) »

Les trois lois de la robotique, Isaac Asimov

Dans ses premiers travaux, Isaac Asimov traite des premières tentatives d'une compagnie fictive appelée l'US Robots d'introduire un robot soumis aux trois lois de la robotique dans un foyer...

Ces règles, directement codées chez le robot, les forcent à l'obéissance absolue aux humains, illustrant bien cette relation

maître/esclave. Asimov va explorer les conséquences de cette relation de servitude tout au long de ses ouvrages.

Dans « Satisfaction garantie » [1], on assiste à la relation entre une ménagère et « Tony », un androïde d'une grande beauté. Très vite, la forme humaine du robot va induire un malaise chez Claire Belmont, à l'origine terrifiée par la créature. Mais l'androïde étant programmé pour plaire, il va rapidement mettre à l'aise sa maîtresse en nettoyant de fond en comble son domicile et en louant son intellect. Claire, en confiance et rassurée par l'aspect humain et soumis de la machine, livrera ses doutes et ses problèmes d'estime personnelle à Tony.

Suite à ces révélations, le robot va ensuite entreprendre une vaste tâche de *relooking* afin de redonner confiance à Claire, qui se confiera toujours d'avantage au robot dont elle avait auparavant si peur. Peu à peu, elle tombera amoureuse de Tony, et ce dernier, disposé à plaire, continuera à « jouer le jeu », allant jusqu'à volontairement laisser les rideaux ouverts lors de l'inévitable baiser, pour susciter la jalousie chez les amies de Claire. Après deux mois, Tony est récupéré par la compagnie qui décide d'effectuer plusieurs modifications à sa création, afin de la rendre moins humaine, arguant que si un robot est incapable d'amour, un être humain, lui, peut tout à fait tomber amoureux d'une machine trop proche de l'homme.

Ici, la relation maître/esclave est mise au prisme d'une apparence complètement humaine de la machine. Il est intéressant de noter que la conclusion de cette nouvelle traite du devoir des roboticiens de modifier leur création afin d'empêcher une concurrence involontaire face à l'être humain. Ici, une humanisation trop poussée du robot n'implique pas la crainte chez l'humain mais plutôt le risque d'une perte de repères entre l'homme biologique et la machine.

L'œuvre *Les robots* d'Isaac Asimov [2] décrit une vaste période temporelle, allant d'un futur immédiat (les années 2000) où les premiers robots font leur apparition, jusqu'à plusieurs millénaires dans le futur. Il est de même intéressant de noter que la nouvelle décrite plus haut marque la disparition des androïdes pour plusieurs siècles dans la chronologie des *Robots*, témoignant de la nécessité, pour l'auteur, d'une absence d'anthropomorphisme entre créateur et création si ces derniers doivent être cantonnés à un rôle d'esclave. L'anthropomorphisme revient plus tard chez Asimov lors de l'apparition de robots plus indépendants et d'une transformation de la relation vers plus d'égalité entre humain et robot. Notons également l'emploi du mot *Boy* chez les personnages humains d'Asimov lorsqu'ils s'adressent à des robots esclaves, un terme directement issu de l'exploitation des noirs américains avant la guerre de sécession.

B. *Alien, le Huitième passager, Ridley Scott*

Dans le film *Alien, le Huitième passager* de Ridley Scott sorti en 1979 [3], le robot prénommé Ash incarnant l'officier scientifique du *Nostramo* est le second antagoniste du film. Ici, d'abord incognito et sous le couvert d'une curiosité scientifique trop poussée puis à travers la révélation même de sa nature synthétique, l'androïde est un personnage menaçant,

n'hésitant pas à s'en prendre directement ou non à la vie des membres de l'équipage.

L'intrigue du film commence lorsque durant l'exploration d'un astéroïde, l'un des officiers de bord est attaqué par une créature, la future larve de l'Alien qui lui saute dessus et se fixe sur son visage. Le protocole prévoit l'interdiction à tout humain contaminé par une présence extraterrestre de réintégrer un vaisseau. Pourtant Ash, dont la nature non-humaine est inconnue du reste de l'équipage à ce stade, contrevient aux ordres de ses supérieurs et laisse l'officier blessé entrer sous couvert de compassion. On apprend plus tard dans le film que le robot –dont l'action coûtera la vie à six des sept passagers du *Nostramo*–, agissait en fait conformément aux ordres qui lui avaient été donné par la société propriétaire du vaisseau.

La condition d'esclave du personnage Ash est donc ici d'avantage suggérée qu'elle n'est visible. Il incarne la présence à bord de la *Compagnie*, entreprise privée qui souhaite utiliser l'Alien à des fins militaires. Son absence de libre arbitre en fait le plus dangereux des outils, une machine ayant la capacité de simuler l'humanité, mais dont l'aspect purement rigide de sa programmation conduit à la mort la quasi totalité de l'équipage.

Les épisodes suivants de la franchise *Alien* continueront tous à intégrer un personnage artificiel, et ce parfois de manière particulièrement ambiguë. Dans *Aliens* de James Cameron [4], Bishop, un androïde, est originellement considéré par l'héroïne Helen Rippley comme un autre pion de la compagnie. Bishop s'efforce tout le long du film de lui donner tort et finit par gagner la confiance de Rippley, en aidant cette dernière à s'enfuir à bord d'un vaisseau spatial, contredisant donc la thèse de l'androïde dénué de sentiments du premier film. Pourtant, la suite *Alien 3* de David Fincher [5] va à nouveau jouer sur l'ambiguïté entre nature robotique et morale: ayant chronologiquement lieu immédiatement après l'intrigue de *Aliens*, on y apprendra qu'un des xénomorphes avait réussi à s'introduire dans le vaisseau à bord duquel Helen Rippley a fui. Est-ce un hasard ou l'androïde avait-il de nouveau agi sous les ordres de la compagnie en cachant la présence d'un extraterrestre à bord ? Cette question restera sans réponse dans la série...

Ainsi, on voit que l'absence de conscience chez un robot esclave peut être considérée de différentes manières en science fiction. D'un côté, l'être artificiel peut prendre la forme d'élément soumis d'aide à la vie humaine, mais si c'est le cas, il devra être suffisamment éloigné de l'humain sous peine de provoquer un attachement non réciproque et de créer une concurrence avec l'homme. D'un autre côté, sa servitude totale et son absence de libre arbitre peuvent faire de lui un tueur sans merci aux services des desseins les plus noirs de notre espèce.

2. Un serviteur conscient...et consentent ?

A. *Blade Runner*, Ridley Scott (basé sur le roman *Les androïdes rêvent-ils de moutons électriques ?* De Philip K. Dick)

On trouve un autre exemple de robots androïdes dans le film *Blade Runner* de Ridley Scott, paru en 1979 [6] et tiré du roman de P.K Dick *Les androïdes rêvent-ils de moutons électriques?* [7]. Deckard, un chasseur d'androïdes, est à la poursuite six robots Nexus-6 coupables de meurtre. Dans l'univers de *Blade Runner*, les « répliquants » sont utilisés comme esclaves pour établir des colonies humaines sur d'autres planètes. Du fait de leur apparence humaine et de leur programmation avancée (on va parfois jusqu'à leur implanter de faux souvenirs), les robots de *Blade Runner* sont indiscernables des humains, sauf à l'aide d'un test de reconnaissance très complexe.

Parallèlement à la traque, Deckard entretient une relation complexe avec Rachel, une autre Nexus-6 à l'origine persuadée d'être humaine, et dont le caractère synthétique est découvert par le protagoniste au début du film. Si Deckard se comporte d'abord avec froideur et dédain envers Rachel, la relation évolue ensuite vers l'amour. Il y a donc, d'un côté une exploitation des robots passant par un abattage systématique de tout élément insoumis, et de l'autre une grande confusion entre ce qui différencie un robot et un humain.

Tout au long du film, les nexus-6 pourchassés se comportent, en effet, de façon très humaine. Roy Batty par exemple, le chef des androïdes rebelles, témoigne tour à tour de la joie, du sadisme, de l'amitié, de la tristesse, de la colère et finalement de la pitié. La similarité est à tel point poussée ici que le film se termine sur une note ambiguë, laissant entendre que Deckard, le blade runner au centre du film, pourrait lui même être un nexus-6. On retrouve ici un thème fréquent en matière de littérature robotique : si l'homme sait qu'il est conscient, il est incapable d'expliquer ce qui le rend conscient. De fait, un androïde suffisamment perfectionné deviendrait aussi vivant qu'un humain.

Dans *Blade Runner*, dès l'instant où le robot accède effectivement à la conscience, il n'est plus acceptable de le considérer comme un esclave, au risque de le pousser à la rébellion et au meurtre de ses créateurs.

B. *Le robot Marvin dans Le Guide du Voyageur Galactique* de Douglas Adams

A contre courant de ce que nous avons vu jusqu'à présent et avec un peu plus de légèreté, le personnage de Marvin illustre bien le fait que l'apparition de la conscience chez une entité robotique, n'amène pas nécessairement cette dernière à vouloir se révolter contre ses créateurs. On observe toutefois l'apparition d'une forme de révolte, un peu différente de la révolte guerrière, sur laquelle nous allons revenir.

Marvin est un personnage issu de la série de livres *Le guide du voyageur galactique* écrits par Douglas Adams à partir de 1978 [8]. C'est un robot androïde au processeur surpuissant qui occupe un rôle de laquais dans le vaisseau spatial «Cœur en or », au service du président galactique. Son rôle et son intérêt se seraient limités à cela s'il n'avait pas été doté d'un Profil de Personnalité Authentique (PPA) qui lui permet de ressentir des émotions à la manière d'un être humain...C'est cette caractéristique particulière, associée à son intelligence largement supérieure à l'intelligence humaine moyenne, qui fonde la richesse du personnage. En effet, ce dernier développe une pathologie (humaine) et se retrouve dépressif et paranoïaque, devenant donc dur à supporter pour son entourage.

Pour lui-même et pour l'auteur, la cause de ce désordre thymique trouve son origine dans la conscience aigüe qu'il a de lui-même et de ce(eux) qui l'entourent. Plus particulièrement, l'horreur de son existence provient du fait qu'il ne puisse trouver de tâche assez compliquée pour être digne de son intelligence hautement fonctionnelle. Il est intéressant de noter que ce robot androïde est représenté dans les films et séries qui ont suivi de telle manière que son visage exprime la tristesse en permanence.

Ainsi on peut concevoir la détresse de ce petit robot comme une révolte, non guerrière et passant par un désir de renversement de pouvoir entre lui et son créateur, mais comme une révolte passive contre sa condition, qui aurait échoué et dont il aurait accepté l'échec avec impuissance.

La variété des exemples que l'on peut trouver dans l'œuvre fictionnelle autour du thème de la robotique nous montre que les rapports pouvant s'installer entre l'homme et sa création, ne dépendent pas systématiquement de l'apparition ou non d'une conscience, et surtout que cette dernière ne conditionne pas la position dominée ou dominante du robot. L'univers de la fiction nous permet de concevoir des relations d'un autre type et qui seront l'objet de la partie suivante, des relations où l'homme et le robot coexistent pour le meilleur et pour le pire, sans hiérarchie.

III. DEUXIEME PARTIE : SUR UN PIED D'EGALITE

1. *Amitié, Coopération*

Dans les années 1940-1960, la science-fiction est envahie par les « histoires de robots ». La mode est dorénavant à humaniser l'apparence du robot. Les androïdes sont faits de tissus organiques, leur apparence est plus chaleureuse et ils semblent a priori moins menaçants. Cela dit, les scénarios catastrophes persistent mais maintenant, ils ne sont plus dus à la nature diabolique de la créature artificielle, mais à leur excès de zèle.

Ce qu'on retient de cette nouvelle forme dans les récits de l'époque, c'est la question des rapports que l'homme peut établir avec sa créature artificielle. A ce propos et par rapport aux créations mécaniques, les androïdes permettent de

s'interroger avec plus de précision sur les limites qui séparent l'homme de sa création.

Bien des histoires tendent donc à montrer comment les machines s'humanisent progressivement. A travers l'énumération des qualités acquises, on vise une définition implicite de ce qu'est l'homme. Des qualités humaines comme l'émotivité, la créativité, le libre arbitre ou encore l'acceptation de la mort sont pensées comme étant essentielles pour considérer le robot comme semblable à l'humain et voire parfois, humain. La question se pose de savoir où est-ce que l'on place la frontière entre les robots et les hommes.

Dans *Helen O'Loy*, paru en 1938 [9] Lester del Rey présente l'histoire de l'humanisation complète d'une androïde, dotée de glandes endocrines. Dans cette nouvelle, la différence entre la créature artificielle et son créateur s'estompe de plus en plus et le personnage androïde finit par être reconnue comme un être humain par d'autres hommes. Il peut être intéressant de relever les attributs qu'Helen O'Loy s'est appropriés pour être perçue comme humaine. Ce qui fait d'elle une femme ordinaire, ce sont ses émotions, le fait de pouvoir aimer un autre être humain et de pouvoir être aimée par d'autres êtres humains.

Le développement du sentiment d'identité entre l'homme et sa créature envahit peu à peu les récits. Dans son roman de 1938 *Les cavernes d'acier* [10], Isaac Asimov présente un de ses personnages récurrents : R. Daneel Olivaw, un androïde qui seconde l'inspecteur de police Elijah Baley sur le terrain. Il se crée entre les personnages une sorte de fraternité, et ce malgré les réticences initiales de l'inspecteur. Physiquement, il est quasiment impossible de différencier R. Daneel Olivaw d'un être humain. La différence entre les deux protagonistes apparaît lorsqu'ils se trouvent en désaccord au sujet d'une question morale à laquelle l'inspecteur humain répond avec ses émotions (et toutes les irrégularités de jugement que cela peut entraîner) tandis que l'androïde analyse la situation de manière rationnelle et donne une réponse contraire à celle d'Elijah. Ainsi on peut distinguer l'homme de l'androïde par le seul truchement de ses imperfections, par ses aspects irrationnels et sentimentaux. On retrouve donc à travers ces deux exemples l'idée que le processus d'humanisation passe par l'acceptation de quelques imperfections spécifiquement humaines.

Si la ressemblance entre l'homme et sa création semble être un facteur primordial conditionnant le bon fonctionnement de leur relation, amicale, ou coopérative, mettre l'homme et le robot sur un même pied d'égalité suggère qu'il est possible d'imaginer que ces deux formes de vie puissent rentrer en concurrence, pour les ressources disponibles ou bien pour l'autorité. Cette concurrence étant, selon les intentions des deux parties, à l'origine d'une relation évoluant soit pour favoriser les échanges amicaux, soit vers des conflits.

2. Concurrence

A. *Battlestar Galactica* ou la nécessité de choisir son camp

La série télévisée *Battlestar Galactica* [11] met en scène un conflit entre les humains et leurs anciennes créations, des robots humanoïdes nommés cylons. Ces derniers, des robots intelligents et doués de conscience, se sont déjà soulevés contre leurs créateurs par le passé. Leur révolte a donné lieu à un conflit particulièrement mortel, résultant finalement en une trêve d'une quarantaine d'années, durant laquelle les cylons semblaient s'être exilés au delà des douze colonies spatiales humaines.

Le prologue de la série marque leur retour avec l'intention claire d'exterminer l'humanité lors de ce nouveau conflit. Ici donc, la concurrence entraîne directement une guerre entre deux espèces, dont la résultante semble être la destruction de l'un ou l'autre des antagonistes. Rapidement, on comprend que les cylons sont les plus forts, mais la série va prendre soin d'aborder cette concurrence entre l'homme et le robot de nombreuses manières intéressantes.

L'un des aspects fondamentaux présent ici est l'existence de robots inconscients de leur nature, et intégrés parmi la flotte de rescapés humains. Ces derniers se comportent exactement comme des humains et sont confrontés à d'importants dilemmes moraux dès l'instant où ils prennent conscience de leur nature. Doivent-ils aussitôt décider de tenir un rôle d'agent infiltré, ou réfuter l'importance de leur nature synthétique et considérer comme plus importants les liens affectifs qui les unissent avec le reste de l'équipage ? Sont-ils seulement en mesure de faire ce choix, ou menacent-ils leurs amis de par leur simple nature de robots et leur ignorance quant aux moyens de contrôle dont disposent sur eux les dirigeants cylons ?

Ces dilemmes moraux seront mis en avant tout au long de la série, dont le cœur restera pourtant la concurrence hostile entre les deux espèces, d'où naîtra un déchirement devenu fratricide entre les individualités.

Plus généralement, si l'humanité se retrouve cantonnée dans une lutte perpétuelle pour la survie, les robots, eux, sont confrontés à toujours plus de dilemmes moraux à mesure que la guerre se produit. Se faire la guerre, c'est connaître et d'une certaine manière devenir son ennemi. A mesure que la concurrence perdure, les frontières entre les espèces se réduisent, et de la simple dichotomie « méchants robots et gentils humains », il ne reste plus grand chose. Plus le conflit avance, plus le tout semble se profiler vers une victoire à la Pyrrhus pour l'une ou l'autre des parties, témoignant du désir des auteurs d'insister tant sur la stupidité de la guerre, que sur celle d'une concurrence entre deux formes de vies qui finissent par se confondre.

B. *Mass Effect* : de la concurrence à l'amour

Le jeu vidéo *Mass effect* [12], développé par le studio *Bioware*, est une trilogie de science fiction mettant en scène un combat entre des races organiques – dont l'humanité – aux commandes de la galaxie, face à de gigantesques créatures synthétiques nommés Moissonneurs, qui aspirent à les détruire. Le scénario relate les aventures du commandant Shepard, personnage incarné par le joueur, alors qu'il tente de rassembler les différentes espèces extra terrestres dans une lutte commune contre l'envahisseur robotique.

A mesure que le scénario avance, le joueur en apprend davantage sur les motivations des Moissonneurs. Ces derniers reproduisent depuis la nuit des temps un cycle d'extermination de toute civilisation ayant atteint un degré de technologie suffisant pour donner vie à des robots capables d'une véritable intelligence. Leur postulat est qu'une fois cette singularité atteinte, l'être synthétique finit inévitablement par dépasser l'être biologique. De leur point de vue de machines intelligentes, ils agissent donc en réponse à cette inégalité et permettent à la vie organique de subsister en effectuant une « remise à zéro » technologique, consistant en un génocide global des populations « trop » avancées.

Si l'intrigue soulève de nombreuses questions intéressantes quant à la nature d'une relation à long terme entre les êtres vivants et les robots, nous nous intéresserons ici d'avantage à l'interaction entre deux des personnages clef du jeu, tous deux membres de l'entourage immédiat du commandant Shepard. Jeff est atteint de la maladie des os de verre, il se blesse au moindre choc. En contrepartie, c'est un pilote exceptionnel et l'un des rares personnages à accompagner le héros durant les trois épisodes de la série. Au cours du deuxième épisode de la série, le vaisseau du commandant est agrémenté d'une intelligence artificielle surnommée EDI, qui va aider le joueur de nombreuses manières différentes. Très rapidement, une concurrence se crée entre Jeff et EDI ; il estime que cette dernière empiète sur ses responsabilités et son ego est directement touché par ce qu'il considère comme une remise en question de ses capacités de pilote. Il y a donc ici une concurrence directe entre l'humain et l'intelligence artificielle.

Cette concurrence, présentée au premier abord de manière plutôt légère dans le jeu, donne lieu à une véritable compétition. Ici pourtant et contrairement à de nombreuses œuvres traitant d'une rivalité entre humain et robot, cette compétition va d'abord créer une émulation réciproque et finalement, une véritable coopération entre les deux parties ; les deux personnages, sous l'orbite de l'imposant commandant Shepard, vont travailler de concert et de cette association naîtra une entente et un respect mutuel.

Dans le troisième épisode de la saga, l'intelligence artificielle du vaisseau réussit à s'incarner dans un corps synthétique. Les rapports entre Jeff et l'IA changent alors à nouveau, et d'entente professionnelle naît -si le joueur encourage les deux personnages en ce sens- une histoire d'amour.

L'interaction entre ces deux personnages permet à *Mass Effect* d'effectuer un parallèle tout au long du scénario entre l'intelligence froide et calculatrice des Moissonneurs, dont la logique amène à régulièrement détruire toute civilisation suffisamment évoluée, et la conscience qui émane de robots compagnons dépeints comme disposant d'un sens moral et capables d'amour, sentiment généralement décrit comme humain par excellence.

Si c'est finalement au joueur de décider vers quoi va basculer cette dichotomie, on perçoit un certain favoritisme des développeurs vers la thèse trans-humaniste d'un monde où robotique et biologie ne font finalement plus qu'un et vivent en bonne intelligence. Ici, de la compétition émane finalement la symbiose et robots et êtres vivants finiront mutuellement transformés par leur choix de non plus se voir en rivaux, mais de vivre ensemble.

On voit donc certains auteurs décrire le robot égal de l'homme comme un camarade bienveillant, un être qui nous est complémentaire et dont l'apparition entraînera une émulation positive des deux espèces.

D'autres, cependant, voient cette concurrence comme une étape amorçant un conflit entre deux mondes. Parfois, ce conflit n'a guère de vainqueur et engendre une terrible régression pour les deux espèces. Dans d'autres cas, il est l'indice d'une victoire de la machine sur l'homme, le prologue d'une inévitable domination du minéral sur l'organique.

IV. TROISIEME PARTIE : LA DOMINATION DU ROBOT

1. *Le grand remplacement*

Au travers des exemples ayant servi d'illustration jusqu'à présent, nous avons pu voir se profiler deux forces et fantasmes contradictoires, une optimiste annonçant la fin de l'aliénation de l'homme au travail grâce à sa création et l'autre, plus pessimiste, qui voit dans la mécanisation l'avènement d'une ère funèbre pour l'homme, engendré par le désir de rébellion de sa création. Certains critiques voient dans cette peur répandue la conscience d'une transgression divine, transgression vis à vis de la création, où l'homme s'octroie la capacité de créer, soit quelque chose à son image, soit quelque chose de meilleur et de moins imparfait.

La révolte des créatures et automates, née du croisement de la fantaisie et de l'extrapolation scientifique, sont toutes des variations autour d'un même motif qu'Isaac Asimov baptise « le complexe de Frankenstein », voyant dans l'œuvre de Mary Shelley un texte fondateur. On peut lire dans le roman de Mary Shelley l'existence d'un conflit faustien entre les aspirations humaines et l'interdiction divine, nous reviendrons sur ce conflit qui est légèrement différent et évolue dans l'histoire de la littérature fictionnelle.

Pour illustrer ce propos, nous avons choisi ici de commenter la trilogie cinématographique *Matrix*, réalisée entre 1999 et 2003 par les frères Wachowski [13]. Le contexte de la narration se situe en 2199, dans un monde où les machines règnent en maîtres sur l'espèce humaine, dont la civilisation est anéantie. Les hommes sont réduits à une vie végétative dont le seul but est d'alimenter en énergie les machines ayant pris le pouvoir. Les humains sont plongés dans un monde fictif : la Matrice, n'ayant pas conscience de la réalité chaotique. Un groupe d'individus trouve cependant le moyen d'échapper à l'emprise de la Matrice et de réveiller Néo, qui pourrait être la clé pour délivrer l'humanité du joug robotique.

Il est important de noter qu'au commencement de l'histoire de *Matrix*, même si ce n'est explicitement que dans les courts-métrages annexes *Animatrix* [14], les robots sont des créations humanoïdes ayant pris le pouvoir, profitant de la fainéantise grandissante des hommes. On observe donc ici un renversement de la situation initiale, et la crainte de la révolte des machines devenue réelle se transforme en lutte pour reprendre le contrôle sur sa création.

Matrix illustre parfaitement la peur exacerbée de perte de contrôle sur notre création ainsi qu'une interprétation formulée par Annie Amartin-Serin [15] sur cette peur particulière dans l'œuvre fictionnelle : "Elle reflète notre rapport à la technologie, elle est faite de dépendance et de culpabilité".

Revenons quelques instants sur la comédie à l'origine du mot « robot ». L'écrivain Tchèque Karel Čapek la présente pour la première fois à Prague en 1921 [16]. Un savant fait un jour la découverte d'une substance organique permettant de créer artificiellement des êtres vivants. Il essaye dès lors de produire une copie conforme de l'homme, ayant pour objectif un but fondamental, dans l'idée de faire avancer la connaissance. Cependant, son neveu ingénieur reprend la découverte à son compte dans une visée plus pratique et commerciale, il cherche à augmenter le travail industriel, au meilleur coût. Au bout de 10 ans, ils finissent par se révolter et anéantir l'humanité.

Pour Čapek, la crainte est un peu différente que pour Shelley. Le robot est « comme » l'humain, c'est précisément le danger pour lui, si le robot est comme l'homme, il peut très bien le remplacer. On peut relier cette crainte à une question que Klass (1982) [17] qualifie en comparaison de néo-faustienne: est-ce que la société peut s'engager dans quelque chose qui peut lui nuire, qui peut nuire à son intégrité collective ?

Il est intéressant de commenter brièvement la coévolution de la fiction et de la science. Les créations imaginaires évoluent parallèlement aux recherches scientifiques et aux découvertes techniques. La fiction est parfois en retard sur la réalité, comme dans le cas de récits mettant en scène des automates. Parfois au contraire, elle devance la réalité, les robots ont été inventés par l'auteur tchèque Karel Čapek, les procédés de clonage imaginés par Aldous Huxley.

Les auteurs ont parfois tendance à faire référence à des productions antérieures dans leur domaine, cette tendance amène parfois à une surenchère de l'imagination, on veut dépasser en audace les constructions précédentes. Cette tendance peut parfois amener des scénarios loufoques, mais qui sont toujours le reflet de fantasmes, de peur qui sont ancrées dans la réalité scientifique de l'époque. Les écrivains sont en prise directe sur leur temps, et chaque époque apporte une variante moderne à un thème éternel.

2. *La fusion de l'humain et du robot – L'exemple du manga Ghost in the shell, de Motoko Kusanagi*

Si, comme on l'a vu, la machine peut prendre le dessus sur l'homme dans le but de l'asservir ou de l'exterminer, la dépendance croissante de l'être humain à la technologie telle qu'elle est souvent dépeinte dans la science-fiction peut amener une autre forme de domination synthétique : celle où l'homme, incapable de suivre le développement exponentiel de l'intelligence artificielle, choisit lui-même de devenir machine à des degrés plus ou moins importants. La fusion entre l'homme et la machine est un thème abondamment dépeint dans la littérature d'anticipation via le concept du cyborg.

Le manga japonais *Ghost in the Shell* [18] a pour personnage principal une cyborg du nom de Motoko Kusanagi. Cette dernière, grièvement blessée lors d'un accident d'avion, possède un corps entièrement synthétique à l'exception de son cerveau, lui-même enchâssé dans une interface électronique augmentant ses capacités intellectuelles (ce qui permet notamment à l'héroïne de réaliser de grandes prouesses de *hacking*). Tel que décrit dans l'œuvre de Masamune Shirow, un humain ainsi amélioré conserve son âme, nommée *ghost* (fantôme) et localisée dans la partie du cerveau encore organique mais s'avère plus fort, intelligent et rapide qu'une personne non améliorée.

La partie artificielle du cerveau, appelée *shell* (coquille), donne notamment aux hommes et femmes un accès neural à l'équivalent d'Internet dans le manga. Cet abandon d'une partie de notre humanité physique n'est cependant pas sans conséquences : l'un des principaux antagonistes de la série, le marionnettiste -qui s'avère de plus être une IA dotée d'une conscience- possède en effet la capacité de pirater les cerveaux des humains ainsi augmentés. La transformation induit donc une potentielle perte de son *ghost* originel, transformant l'homme cybernétique en poupée au service d'une conscience supérieure.

Cette notion de perte de l'humanité à mesure qu'un être se synthétise est un thème majeur de la réflexion post-humaniste. Quelles seront les conséquences d'une telle modification sur notre conscience ? Plus généralement, qu'est-ce qui fait de nous des humains ? Dans *Ghost In the Shell*, l'intégration de l'intelligence artificielle en l'homme est une étape de l'évolution comme une autre; plus loin dans la série, lorsque Motoko découvre la véritable nature du marionnettiste, le lecteur découvre que celui-ci souhaite se reproduire. L'étape ultime de l'évolution post-humaniste telle qu'elle est décrite

dans l'œuvre de Shirow devient finalement la séparation de la conscience et du corps, laissant la conscience de l'héroïne libre de se propager à l'infini sur la toile.

Il apparaît donc que la domination du robot sur l'homme peut être soit imposée par la révolte d'une création ayant dépassé son créateur, soit d'une soumission de l'homme biologique, résultante de son acceptation des imperfections de sa condition. Ici à nouveau, les points de vue varient: pour certains auteurs, cette transformation marquera la fin de l'humanité. Pour d'autres, elle sera bénéfique, la transcendence comme une nouvelle étape de l'évolution de la vie.

V. CONCLUSION

Au terme de ce texte, il apparaît clairement que le thème de la création artificielle pose une réflexion sur l'homme, sa nature et ses problèmes. La création artificielle est à l'image de l'homme, de ses qualités et de ses défauts. Les aspirations de révolte ou la recherche de reconnaissance de la créature traduisent les aspirations mêmes de l'être humain.

Notre intérêt dans les œuvres citées a particulièrement porté sur les rapports qui sont instaurés entre l'homme et le robot. Partagés entre crainte et désir, ces récits traitant de l'homme fabriqué semblent privilégier le versant pessimiste du thème. L'imperfection de la créature artificielle, sa révolte, la nécessité où est l'homme de la détruire s'il veut survivre, la peur enfin qu'elle inspire paraissent souvent prédominer et dresser un bilan négatif de cette ambition prométhéenne. Pourtant la permanence du thème de la création montre à quel point le désir l'emporte sur la crainte.

L'identité et les caractéristiques des créateurs méritent elles aussi de l'attention. Ces caractéristiques varient en suivant l'évolution des sciences et des techniques, et l'image du créateur scientifique est diversement connotée. L'homme de science est parfois présenté comme un personnage positif, porteur de tous les espoirs. Plus souvent, il revêt les caractéristiques du « savant fou » ou de l'apprenti-sorcier diabolique dont Frankenstein est l'incarnation.

Ainsi, de la même manière qu'on peut lire dans les œuvres de fiction autour de la robotique la transcription d'une certaine vision répandue dans l'imaginaire des auteurs du thème, l'étude de la place et de la représentation du créateur, du scientifique dans ces œuvres pourrait-elle nous donner des indices sur l'image populaire et actuelle du scientifique ?

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout particulièrement Gérard Bailly et Sylvie Pesty de nous avoir donné l'opportunité d'étendre le travail d'investigation entamé en cours à un sujet que nous affectionnons et qui, nous le croyons, est porteur et particulièrement pertinent dans le cadre de notre formation.

REFERENCES

- [1] I. Asimov, Satisfaction garantie (Satisfaction guaranteed, 1953), Un défilé de robots. OPTA, 1967.
- [2] I. Asimov, Les robots (I, Robot, 1951). OPTA, 1967.
- [3] R. Scott, Alien, le huitième passager (Alien, 1979).
- [4] J. Cameron, Aliens, le retour (Aliens, 1986).
- [5] D. Fincher, Alien³, 1992.
- [6] R. Scott, Blade Runner, 1982.
- [7] P. K. Dick, Les androïdes rêvent-ils de moutons électriques ? (Do Androids Dream of Electric Sheep ? 1968), Champ Libre, 1976.
- [8] D. Adams, Le guide du voyageur galactique, 1978.
- [9] L. del Rey, Helen O'Loy, 1938. Trad. In Histoire de robots (La grande anthologie de la science-fiction), Paris, Ed. Le livre de Poche, 1974.
- [10] I. Asimov, Les cavernes d'acier (The caves of steel, 1953). Paris, éd. J'ai lu, 1971.
- [11] R. D. Moore, Battlestar Galatica, 2004.
- [12] Trilogie Mass Effect. Bioware, 2007, 2008, 2012.
- [13] L. & A. Wachowski, Matrix (1999). Matrix Reloaded (2003). Matrix Revolutions (2003). Warner Bros.
- [14] Wachowski, Lana & Andy. Animatrix, Warner Bros, 2003.
- [15] Annie Amartin-Serin, La création défiée. L'homme fabriqué dans la littérature, Littératures européennes. PUF, 1996.
- [16] K. Čapek, R.U.R, Rossum Universal Robots, 1920.
- [17] Morton Klas, The artificial Alien, transformations of the robot in Science Fiction. Cultural Futures Research, 7, 1982.
- [18] Masamune Shirow, Ghost in the Shell (攻殻機動隊 1989-1996).

Contribution des robots sociaux aux thérapies des troubles du spectre autistique: une revue critique

Etat de l'art : avantages et challenges en robotique sociale

Tiphaine Caudrelier
Département Parole & Cognition
GIPSA-Lab
Grenoble, France
Tiphaine.caudrelier@gmail.com

François Foerster
Département Parole & Cognition
GIPSA-Lab
Grenoble, France
Francois.foerster@gmail.com

Abstract— Les Troubles du Spectre Autistique (TSA) se manifestent par des difficultés dans les domaines des interactions sociales, de la communication et du langage, et par des comportements répétitifs et stéréotypés. Les robots sociaux, capables d'interagir avec les humains, et même d'exprimer des émotions à travers leurs expressions faciales, représentent un intérêt considérable pour les thérapies associées à ces troubles. Les robots peuvent jouer un rôle de modèle vis-à-vis des enfants ayant un TSA, mais également un rôle de médiateur. Ils permettent ainsi à l'enfant de développer des compétences, comme la conscience corporelle, les capacités d'imitation et de lecture des expressions du visage, ou encore facilitent les interactions sociales avec l'éducateur et entre les enfants ayant un TSA. Les études réalisées avancent des résultats prometteurs dans ces domaines, et un enjeu majeur réside dans la capacité de l'enfant à généraliser ces comportements hors du cadre thérapeutique. Néanmoins, il reste à relever certains challenges d'ordre méthodologiques, cliniques et technologiques.

Keywords— *Autisme, Robotique Sociale, Thérapie, Expressions Faciales, Imitation*

I. INTRODUCTION

La robotique sociale connaît actuellement un essor important et se décline dans de multiples contextes : assistance aux personnes âgées, robot-animal de compagnie... Elle peut également être un outil thérapeutique très innovant. En effet, dans le cadre d'un diagnostic ou d'une thérapie, le patient peut éprouver de la gêne, suscitée par cette situation de « faiblesse » face à un autre individu, illustrant ainsi la théorie de la comparaison sociale. Le robot pourrait par exemple se substituer au thérapeute pour réaliser un diagnostic non biaisé et moins inconfortable pour le patient.

L'autisme constitue un champ d'application tout particulièrement intéressant pour la robotique sociale. En effet, ce trouble du développement affecte principalement la communication et les interactions sociales des individus. Les personnes ayant un trouble autistique fuient généralement le contact avec Autrui. Un des intérêts de l'utilisation du robot social est donc de ne pas susciter les mêmes comportements d'évitement, et de constituer ainsi une sorte de passerelle entre

l'enfant autiste et son environnement social. On verra par la suite qu'il existe d'autres intérêts.

Après une description de l'autisme et un bref état de l'art de la robotique sociale, nous tenterons de comprendre quel peut être l'apport du robot social pour les thérapies des troubles du spectre autistique. Pour cela, nous nous appuyerons notamment sur les travaux de l'équipe de K. Dautenhahn, de l'University of Hertfordshire, et sur ceux de B. Scassellati, de l'Université de Yale. Nous explorerons les différents rôles que peut tenir un robot dans le contexte thérapeutique, du modèle au médiateur. Nous examinerons l'apport particulier du robot pour le développement de la Théorie de l'esprit chez les autistes, et les contraintes existantes pour une bonne généralisation des apprentissages.

Nous apporterons pour terminer un regard critique sur ce champ de recherche que constitue la robotique sociale pour la thérapie des troubles du spectre autistique.

II. L'AUTISME

A. Description générale

L'autisme est un trouble neurodéveloppemental qui affecte environ 1% de la population. Il se manifeste de manière très hétérogène chez les individus, d'où l'utilisation de l'expression « Troubles du Spectre Autistique » (TSA). On distingue ainsi plusieurs catégories d'autismes, allant de trouble autistique léger (ou autisme de haut-niveau) à trouble autistique sévère.

Le trouble autistique se manifeste dès la petite enfance par des différences ou des difficultés plus ou moins prononcées selon les individus, dans trois domaines majeurs: l'imagination et le jeu, la communication, et les interactions sociales.

Tout d'abord, l'enfant autiste préfère les jeux répétitifs et stéréotypés, au détriment du jeu libre, ou du jeu symbolique, qui fait intervenir l'imagination et les représentations abstraites. L'enfant présente en effet une grande difficulté à prétendre qu'un objet est un autre objet (e.g. prétendre qu'un cube est une voiture, et la faire rouler). Il s'intéresse d'avantage aux détails des objets. Il aime les rituels, et les activités très structurées.

Les troubles de la communication se manifestent par un retard dans l'acquisition du langage parlé, ou une absence totale de celui-ci. Ceux qui accèdent au langage parlé interprètent le langage de manière très littérale, sans forcément comprendre l'ironie par exemple. Ils ont également des difficultés à interpréter les messages véhiculés par les gestes corporels communicatifs et le ton de la voix notamment.

Enfin, les individus autistes semblent majoritairement peu intéressés par les autres individus. Ils focalisent davantage leur attention sur des objets que sur des personnes. S'ils regardent un autre individu, ils évitent généralement la zone des yeux. Ils ont des réactions souvent inappropriées, ne tiennent pas compte des règles sociales, et ont des difficultés d'adaptation au contexte. Il est également commun de retrouver chez la personne autiste un déficit de la théorie de l'esprit : capacité d'un individu à attribuer des états mentaux à ses congénères (e.g. "je pense que Sally croit que Ann sait que...").

L'autisme s'accompagne parfois de compétences accrues dans certains domaines : une perception exacerbée et très précise, des aptitudes inhabituelles et spécifiques telles qu'un calcul mental. Ces capacités particulières sont en général associées au syndrome d'Asperger (autisme de haut-niveau).

B. Diagnostic

Il existe plusieurs tests permettant un diagnostic des troubles du spectre autistique. Ces tests visent à la fois à mesurer le "degré" d'autisme de l'individu, ainsi qu'à explorer ses points forts et ses difficultés majeures. Les plus couramment utilisés sont les suivants :

- L'ADI (Autism Diagnostic Interview) se base sur un entretien semi-structuré auprès d'un parent de l'enfant. Elle prend en compte l'évolution du trouble au cours des étapes du développement de l'enfant. Elle porte sur le langage et la communication, le développement social et les comportements associés au jeu.
- La CARS (Childhood Autism Rating Scale) et l'ADOS (Autism Diagnostic Observation Schedule) sont d'autres échelles couramment utilisées. Elles évaluent aussi d'autres facettes des TSA comme l'hypermotilité et l'anxiété.
- L'ADI-R (Autism Diagnostic Interview - Revised) est une version révisée de l'ADI qui tient compte de recherches plus récentes sur l'autisme.

C. Les théories cognitives et neuronales

Plusieurs théories tentent d'expliquer l'autisme. Les théories cognitives tentent de mettre en évidence différentes dimensions cognitives des individus, et de replacer les personnes atteintes de troubles autistiques dans ce contexte plus général. Par exemple, si on oppose empathie et systématisation, les personnes atteintes de trouble autistique se placent en général à l'extrémité du spectre, présentant une forte tendance à la systématisation et un très faible enclin à l'empathie. De même, ils se concentrent sur l'analyse des détails plutôt que la généralisation des phénomènes.

Les théories neurophysiologiques s'attachent à expliquer les mécanismes neuronaux sous-jacents.

La Mirror Neuron System Theory (MNST) s'appuie sur la mise en évidence d'un dysfonctionnement des neurones miroirs chez les personnes atteintes de TSA. Cette déficience serait à l'origine du déficit de capacités d'imitation et d'empathie, et plus largement des difficultés sociales et de communications qui affectent les autistes.

Par ailleurs, la Théorie de la sous-connectivité, se base sur des études d'imageries fonctionnelles qui mettent en évidence une plus faible connectivité entre les aires éloignées du cerveau chez les autistes. En particulier, on observe une faible connectivité entre les aires frontales, responsables du contrôle, de la prise de décision et de l'attention, et les aires pariétales, qui sont chargées de l'intégration des signaux sensoriels.

Cette faible interconnectivité globale du cerveau est associée à une surconnectivité locale, au sein de certaines aires cérébrales, sur laquelle insiste la théorie unificatrice nommée Intense World Theory [8]. Cette théorie rendrait compte de l'ensemble des manifestations des troubles autistiques, notamment l'hypermotilité sensorielle que certains présentent. Elle expliquerait aussi les difficultés en termes d'interactions sociales des individus atteints de TSA par une hyper-émotivité. Cette dernière les pousserait en effet à fuir les interactions sociales puisque celles-ci déclenchent chez eux une réponse émotionnelle trop forte qu'ils sont dans l'incapacité de réguler.

D. Les thérapies

Il n'existe pas de médicament soignant l'autisme. En revanche, il existe de nombreuses formes de thérapies ayant pour but de favoriser l'autonomie de l'individu atteint de troubles du spectre autistique, et d'améliorer sa qualité de vie ainsi que celle de sa famille. Elles s'adressent aux enfants, et constituent une éducation personnalisée, puisqu'elles cherchent principalement à favoriser le développement de l'enfant malgré ses difficultés.

L'autonomie et la réussite de l'individu avec TSA sont reliées à l'accès au langage parlé. L'acquisition du langage est elle-même corrélée à plusieurs aptitudes: l'imitation, l'attention conjointe et le jeu social [18]. Elles occupent une place importante dans les thérapies.

Dans le modèle thérapeutique ABA, on apprend à l'enfant à structurer ses actions en décomposant chaque acte en plusieurs étapes. On l'aide aussi à analyser ses comportements. Le programme TEACCH se focalise davantage sur la communication entre l'enfant et son entourage. Dans tous les cas, l'enfant est fortement encouragé et félicité lorsqu'il réalise des progrès.

III. LES ROBOTS SOCIAUX

A. Définitions

La robotique sociale peut se définir comme la robotique qui implique des interactions sociales avec son environnement, notamment son utilisateur. Cet aspect social est apparu comme nécessaire et fonction de la tâche à accomplir par le robot. Son but est d'améliorer la qualité de vie de populations clés, telles que les personnes âgées, pour lesquelles le robot représente une opportunité pour faire face aux besoins d'assistance physique et prolonger ainsi leur indépendance aussi longtemps que possible [17]. Cet argument est d'autant plus important sachant la prévision d'une augmentation du nombre de personnes âgées de 10 à 20 % à travers le monde d'ici 2050 (Institut national de recherche sur la population et la sécurité sociale, janvier 2002). La robotique sociale pourrait aussi servir la personne handicapée, à travers la pratique de la réhabilitation motrice (e.g. exercices moteurs) ou cognitive (e.g. exercices attentionnels).

Le développement d'un robot social se fait en trois phases : 1) Design physique, où l'on questionne notamment la mobilité du robot, son anthropomorphisme et les degrés de liberté de ses membres, 2) Interaction Humain-Robot (HRI), déterminer s'il doit être autonome ou non, le rôle qu'il doit avoir et les comportements qu'il doit établir ou engendrer chez l'utilisateur, et 3) Evaluation du robot, son efficacité selon la situation et sa tâche [13].

B. Quelques exemples

On peut distinguer différents designs de robots sociaux, selon s'ils sont non-humanoïdes ou humanoïdes. Déjà présents, les robots-animaux domestiques ont fait leur preuve en maison de retraite et à l'hôpital: les études rapportent un meilleur bien-être et ils auraient un impact positif sur la santé des personnes. L'un des plus connus d'entre eux est le robot Paro (Fig. 1) [14] qui peut apparaître comme un médiateur social : il utilise les informations audio-visuelles et tactiles pour répondre à l'utilisateur de manière émotionnelle à travers ses actions. Il existe également Roboto, un robot avec un visage où se mêlent traits humains et non humains (i.e. armature métallique avec des yeux et paupières inférieures fixes, paupières supérieures, sourcils et bouche dynamiques). Il a été le support de recherches portant sur l'interprétation des expressions faciales émotionnelles et de la réponse émotionnelle de l'observateur [16]. KASPAR (Kinesics and Synchronisation in Personal Assistant Robotics), développé par le Groupe de Recherche des Systèmes Adaptatifs à l'Université de Hertfordshire, est un robot de la taille d'un jeune enfant qui interagit avec son environnement par la voix, les gestes et les expressions faciales. Ce même laboratoire a également conçu Labo-1, un robot non-humanoïde prenant l'aspect d'un véhicule avec lequel l'enfant peut jouer et interagir verbalement. Ces deux robots ont permis de nombreux travaux sur la thérapie pour enfants ayant des TSA et s'inscrivent dans le projet AURORA (AUtonomous RObotic platform as a Remedial tool for children with Autism) [3], [4], [21].

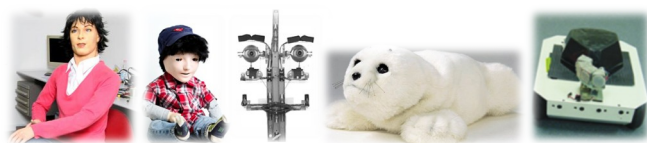


Fig. 1. De gauche à droite: FACE, KASPAR, ROBOTO, PARO et Labo-1

IV. QUEL RÔLE POUR LE ROBOT-SOCIAL DANS LA THÉRAPIE POUR L'AUTISME ?

A. Le robot comme modèle, pour enseigner ou pratiquer des compétences

Le robot peut être utilisé comme modèle, et en quelque sorte se substituer à l'éducateur pour enseigner des compétences à l'enfant atteint de troubles du spectre autistique. Une étude s'est par exemple focalisée sur l'apprentissage des couleurs et des nombres [16].

Nous détaillerons ici une étude [20] qui illustre ce rôle possible du robot, appliquée au développement de la conscience du corps chez l'enfant avec TSA.

La conscience du corps est intimement liée à la conscience de soi de plus haut niveau, comme la conscience de ses émotions notamment, mais également à la capacité d'empathie, c'est-à-dire la capacité à ressentir ce que autrui ressent. Les enfants avec TSA éprouvent des difficultés à identifier les parties de leur corps. Par ailleurs, certains enfants souffrent d'une hyper-sensibilité tactile pouvant occasionner une gêne. Un robot social muni de récepteurs sensoriels a été développé dans le but de mener des expériences avec les enfants atteints de troubles du spectre autistique [12]. Ce robot permet notamment de mesurer la pression exercée par un contact tactile. Cela pourrait permettre de contribuer à des sessions thérapeutiques axées sur la conscience du corps, le développement du toucher, en particulier dans un contexte d'interaction sociale. C'est ce robot, KASPAR, auquel on a ajouté des capteurs sensoriels, qui est utilisé dans l'étude décrite ci-dessous.

La méthode employée est la suivante. Huit enfants entre 6 et 10 ans participent à sept sessions chacun. Parmi eux il y a 4 enfants souffrant de troubles sévères du spectre autistique, et 4 atteints de trouble léger. Après une phase de familiarisation et de pré-test, le protocole expérimental est le suivant. Pendant la durée de l'expérience, l'enfant est placé en face du robot et à côté de l'expérimentateur (Fig 2). Le robot touche une partie de son corps et la nomme en même temps, puis invite l'enfant à en faire autant. Si l'enfant réussit, il passe à une deuxième phase. La tâche est identique mais implique séquentiellement plusieurs parties du corps au lieu d'une seule. Enfin, une troisième phase consiste à chanter avec le robot une chanson apprise au préalable (si l'enfant a accès au langage parlé) et à montrer les parties du corps mentionnées simultanément avec l'expérimentateur. Si l'enfant touche le robot pendant l'expérience, le robot réagit en fonction de la pression exercée.

Un questionnaire adressé aux éducateurs vise à estimer les interactions tactiles de l'enfant et sa connaissance des parties de son corps. Une interview structurée permet une analyse plus détaillée du comportement de l'enfant envers le robot. Grâce à l'enregistrement vidéo, une analyse comportementale quantitative est aussi menée. Elle se concentre sur les comportements de l'enfant suivants : regard, geste de toucher, suivi et pointage, imitation, et identification des parties du corps.



Fig. 2. Disposition de la pièce et des participants [20]

Les résultats obtenus sont les suivants. Les questionnaires et l'interview insistent sur les progrès faits par certains enfants en matière d'interactions (avec les autres enfants, le robot, et l'expérimentateur) et concernant la connaissance des parties du corps. La personne interviewée souligne le comportement d'intégration du robot. Celui-ci, quand l'enfant s'intéresse à lui, tente d'impliquer aussi l'expérimentateur de manière à favoriser un transfert des comportements sociaux vers l'expérimentateur et vers les autres individus.

L'analyse de l'enregistrement vidéo met en évidence une augmentation du temps de regard en direction de l'expérimentateur entre la première et la dernière session, accompagnée d'une diminution du temps de regard vers le robot. On observe une augmentation légère de bonnes réponses à la première phase de l'activité concernant les parties du corps.

Par ailleurs, pour toutes les sessions, l'enfant initie principalement une interaction tactile douce avec le robot, ce qui a surpris les expérimentateurs. Ces observations suggèrent une bonne acceptation du robot par l'enfant, une influence positive du robot sur le comportement social de l'enfant envers le robot lui-même et les humains, et une facilitation de l'apprentissage.

B. Le robot comme médiateur social dans un contexte de jeu

Le jeu est un élément essentiel du développement de l'enfant. Il permet l'acquisition de capacités cognitives. Il peut également être un moyen de développer les interactions et la coopération entre les enfants, constituant ainsi un apprentissage social. Les enfants avec TSA présentent en général une manière très spécifique de jouer. Ils ne s'adonnent pas au jeu symbolique ou d'imagination, qui constitue une étape de développement typique chez l'enfant entre 2 et 6 ans (cf. travaux de J. Piaget). Ils se consacrent plutôt à des jeux répétitifs et très structurés.

De nombreuses études sont consacrées à l'utilisation d'un robot pour faciliter le déroulement d'un jeu et surtout pour favoriser les comportements sociaux des enfants dans ce contexte. L'analyse des résultats se fait en général à l'aide d'un questionnaire accompagné d'une analyse vidéo. On étudie le plus souvent la fréquence de comportements sociaux comme l'attention partagée et les contacts visuels.

Le robot peut intervenir dans une situation dyadique [3], [7], [21] ou bien en tant que médiateur dans une situation triadique en présence de l'enfant et d'un éducateur, ou même avec deux enfants avec TSA.

C'est cette dernière configuration qui a été choisie pour l'étude que nous allons détailler maintenant.

Dans cette étude, l'objectif est d'étudier l'influence de la présence du robot social KASPAR sur l'attitude de deux enfants l'un envers l'autre, dans le contexte d'un jeu d'imitation coopératif.

La méthode s'appuie sur un jeu vidéo coopératif nommé Copycat. Lors du jeu, un enfant doit décider d'une forme affichée à l'écran. Cette forme est associée à une couleur ainsi qu'une posture. L'enfant doit prendre la posture associée à la forme qu'il a choisie. L'autre enfant doit l'imiter. Une manette de jeu, en guise de capteur, est attachée à leur bras, de manière à capturer leurs mouvements. S'ils tiennent tous deux la posture suffisamment longtemps, une petite animation les félicite. A chaque posture, ils changent de rôle, et celui qui décide devient celui qui copie la posture. Ce jeu fait intervenir plusieurs difficultés pour l'enfant avec TSA. Il requiert de porter attention à ce que l'autre enfant fait, de communiquer ensemble, d'imiter. Les enfants doivent jouer à tour de rôle, ce qui constitue aussi un apprentissage pour eux.

Six enfants ont été impliqués dans cette étude. Les sessions alternent entre des phases de jeu où le robot KASPAR est absent avec des phases où le robot intervient comme troisième joueur.

Pour chaque session, on mesure les comportements suivants: le nombre de fois que les enfants se sont coordonnés pour sélectionner la même forme (en gardant la même posture), la direction du regard des enfants (principalement l'écran, l'autre enfant ou le robot KASPAR) et le temps de regard associé, les changements de direction du regard, l'expression d'une émotion positive (rire ou sourire) par un des enfants

Les résultats de l'étude montrent que, après avoir interagi avec le robot KASPAR, les enfants sont plus enclins à interagir entre eux, que lors de la première phase (avant l'interaction avec le robot). Ils expriment également plus d'émotions positives. D'après les auteurs, ces résultats ne sont pas imputables à une familiarisation avec le jeu puisque les variables indiquées n'augmentent pas de manière linéaire avec le temps.

Ici le robot joue un rôle de médiateur, et favorise des comportements sociaux entre enfants, même en son absence. Il y a un transfert, ce qui est l'effet recherché dans les thérapies, puisqu'on souhaite pérenniser les comportements appris dans la vie quotidienne de l'enfant avec TSA.

C. Un rôle aux multiples facettes

Il existe en réalité de multiples manières d'intégrer le robot à un programme thérapeutique pour les enfants ayant un TSA. Outre le rôle de modèle ou de médiateur, comme on l'a vu dans les études détaillées précédemment, le robot peut être présent uniquement pour encourager et donner un retour à l'enfant sur son comportement [7]. Il peut aussi être une combinaison de ces différents rôles.

V. EXPRESSION FACIALE ET COMPORTEMENT D'IMITATION

A. Contexte et buts

La psychologie et les neurosciences cognitives mettent l'accent sur le rôle du traitement des visages pour l'interprétation des émotions d'autrui [15], [1]. Dans le cas des TSA, il a été démontré que les personnes ne focalisent pas leur attention sur le visage des individus en situation d'interaction. De plus, les difficultés d'imitation des comportements sont centrales dans cette pathologie, tout comme le déficit de théorie de l'esprit. Par ailleurs, les recherches montrent que le développement de la théorie de l'esprit serait basé sur les capacités d'imitation des comportements d'autrui. Prises ensemble, ces données soulignent l'intérêt de développer les capacités d'attention et d'imitation de la personne autiste. Dans ce contexte théorique apparaît alors l'apport possible de la robotique sociale pour les thérapies : un robot avec lequel la personne ayant des TSA peut interagir, apprendre de cette interaction, sans avoir les troubles comportementaux associés aux interactions avec l'humain. C'est la perspective de recherche qu'emploie l'étude de [11] par exemple, avec le robot FACE (Facial Automaton for Conveying Emotions). L'objectif de cette étude est de développer les capacités d'imitations de l'enfant autiste à travers l'apprentissage des expressions émotionnelles via le robot. La comparaison de la thérapie avec et sans robot permettra de donner des informations sur l'efficacité du robot FACE.

B. Méthode

FACE est un robot constitué d'une tête capable d'exprimer les six émotions de base (tristesse, joie, colère, peur, dégoût et surprise). Il possède une peau synthétique recouverte de capteurs afin de simuler la proprioception du visage (i.e. calcul des déformations lors des expressions). Il réalise également du suivi oculaire, apprend et anticipe les expressions corporelles et faciales de l'utilisateur afin de les reproduire lors du jeu d'imitation. Il peut être utilisé en autonomie ou à travers le contrôle du thérapeute pour décider des expressions émotionnelles à produire en temps réel. Le paradigme expérimental nommé FACE-T implique le robot FACE, des observateurs extérieurs à la scène (évaluation des comportements par caméra-vidéo) et un t-shirt intelligent porté par l'enfant. Ce t-shirt mesure la fréquence cardiaque et identifie et classe les postures du porteur. Les observateurs relèvent qualitativement et quantitativement les comportements de l'enfant regroupés dans huit items de l'échelle d'évaluation de l'autisme infantile CARS. Les sujets sont quatre enfants avec TSA légers, diagnostiqués par les échelles ADI-R et ADOS-G. Chaque session de 20 minutes se déroule en cinq phases de mesures comportementales : 1) Comportements

spontanés de l'enfant envers le robot et le thérapeute, 2) Capacité de l'enfant à attirer l'attention du thérapeute sur le robot (i.e. attention partagée), 3) Capacité de l'enfant à imiter les expressions faciales du robot sous demande du thérapeute, 4) Capacité de l'enfant à imiter spontanément les expressions faciales du robot, 5) Demande de l'enfant au thérapeute sur l'interprétation des expressions faciales du robot.

C. Résultats et Discussion

De manière générale, l'enfant n'est pas gêné par les interactions avec le robot. Comme dans la majorité des études en robotique sociale pour les thérapies des TSA, on relève une forte attraction pour le robot de la part de l'enfant. Les mesures comportementales faites par les observateurs valident cette attractivité : elles montrent une baisse globale des scores aux items de la CARS lors des interactions avec le robot par rapport aux interactions avec le thérapeute, c'est-à-dire une augmentation des interactions socio-émotives. Les mesures cardiaques montrent une augmentation du rythme lorsque l'attention de l'enfant est focalisée sur le robot. Globalement, les résultats montrent que les interactions avec le robot peuvent permettre un meilleur développement des capacités d'imitation de l'enfant et éventuellement celui de la Théorie de l'esprit de l'enfant. La focalisation attentionnelle de l'enfant sur le robot pourrait aussi lui permettre une meilleure compréhension de ses états émotionnels et de ceux d'autrui. Cependant, plusieurs aspects de l'étude sont critiquables et doivent être pris en considération. Les TSA étant très hétérogènes, il est important d'avoir un échantillon de sujets le plus cohérent possible. Ici, l'âge des sujets varie entre 8 ans et 20 ans et leurs QI verbal se situe entre 52 et 105 (percentile 50 pour un QI de 100). Par conséquent, l'interprétation globale de l'efficacité du robot est difficile et nécessite d'être faite au cas par cas. La généralisation de l'utilisation de la robotique sociale en thérapie pour enfant ayant des TSA apparaît alors discutable. Cependant, il est à noter que les auteurs ont sélectionné les sujets en fonction du score obtenu à un outil de diagnostic et de mesure du degré d'autisme. Le contrôle de cette variable, trop peu relevée dans la littérature portant sur la robotique sociale, est également important pour la généralisation des résultats et mérite d'être souligné. Par ailleurs, les mesures cardiaques ne sont pas comparées à des mesures contrôles effectuées en condition d'interaction avec le thérapeute. De ce fait, l'interprétation des données est discutable. Pour conclure, on peut se demander si le paradigme FACE-T, bien qu'il montre une augmentation des comportements pro-sociaux, engendre un réel apprentissage de ces derniers. Comme le remarquent les auteurs, les études longitudinales des thérapies assistées par la robotique sociale doivent davantage émerger pour prouver leurs effets bénéfiques possibles sur le long-terme. Un autre point crucial est la capacité de ces thérapies à transférer les apprentissages humain-robot vers les interactions humain-humain.

VI. TRANSFERT DES COMPÉTENCES ET ANTHROPOMORPHISME

A. Impact des caractéristiques du robot

Le transfert des compétences apprises par l'enfant en situation d'interaction avec le robot vers des interactions

interhumaines est primordiale pour justifier l'apport de la robotique sociale dans la sphère de la santé. Cette question est d'autant plus importante qu'il est commun de retrouver des troubles de généralisation des compétences sociales à différents contextes chez les enfants ayant des TSA. Pour certains auteurs, la degré d'anthropomorphisme du robot serait prédictif des capacités de transfert des apprentissages réalisés [13]. Cependant, les apprentissages en seraient également dépendants. Il apparaîtrait alors la nécessité de trouver un équilibre entre amplitude des apprentissages effectifs et amplitude du transfert de ces apprentissages aux interactions interhumaines. L'anthropomorphisme du robot serait central dans cet équilibre recherché. A ce jour, la question reste ouverte dans la littérature. Lors des interactions sociales humain-robot et humain-humain avec des enfants ne présentant pas de TSA, on observe de meilleures détections d'émotions faciales chez l'humain que chez le robot [17]. En revanche, même chez ces enfants, il est observé un certain malaise lors de face à face avec l'expérimentateur : les conditions non-écologiques des expériences en laboratoire peuvent engendrer des difficultés de mesure. En ce qui concernent les enfants ayant des TSA, l'intérêt de ne pas avoir un robot anthropomorphe est que cela permet d'augmenter la saillance de stimuli clés perçus, tels que les yeux ou la bouche. De plus, il est commun de retrouver des incapacités de traitement lorsque les situations sont sur-stimulantes, ces dernières pouvant engendrer des crises. Pour ces thérapies, les recherches utilisent principalement des robots à visage très articulés (e.g. FACE). La plupart des robots utilisés ne se déplacent pas et ne bougent pas leurs membres : cela permet de limiter cette sur-stimulation et de focaliser l'attention de l'enfant sur ce qui bouge, c'est-à-dire les éléments du visage. La robotique sociale pour les TSA doit alors se baser sur les caractéristiques de la pathologie, tels que la fuite du regard dans les yeux et le déficit du traitement des expressions faciales. D'autre part, dans le débat scientifique entre défenseurs et opposants de l'anthropomorphisme des robots pour les thérapies de l'autisme, il est remarquable d'observer que ce jugement d'anthropomorphisme reste subjectif. Il paraît alors nécessaire d'aborder scientifiquement cette question : peut-on mesurer la ressemblance du robot à l'Homme ? A ce jour, les neurosciences nous ont permis de voir la robotique humanoïde sous un nouvel angle.

B. Anthropomorphisme des robots pour les thérapies : comment le mesurer ?

Les théories neuronales de l'autisme suggèrent un déficit des réseaux de neurones miroirs dans la pathologie. Ces neurones, situés notamment dans le cortex sensorimoteur et prémoteur, seraient responsable de l'exécution et de la compréhension des mouvements de l'individu, dont les mouvements faciaux, ainsi que celle des mouvements d'autrui. Un déficit de ces neurones serait alors en lien avec les déficits de comportement d'imitation permettant les apprentissages sociocognitifs et les déficits de compréhension des intentions d'autrui (i.e. Théorie de l'esprit). Une étude utilisant l'électroencéphalographie (EEG) sur le sujet sain montre que les neurones miroirs s'activeraient lorsque l'on perçoit le mouvement d'un bras robotique [10]. Par conséquent, notre système cognitif catégoriserait le bras d'un robot comme celui

d'un humain, même lorsque ce dernier est rudimentaire : barre métallique avec cinq doigts dont un pouce opposable accolés à une paume. L'hypothèse suggérée par les auteurs est que l'anthropomorphisme du bras dépendrait du respect ou non des degrés de liberté du bras et de la main (i.e. mouvement biologique ou non). Ainsi, leur méthode, pouvant être récapitulée par la mesure EEG du rythme μ de décharges neurales dans le cortex somatosensoriel, permettrait d'attribuer une valeur objective à l'anthropomorphisme du robot. Les auteurs ont qualifié cette méthode de « test de Turing neural ». Une autre étude EEG par mesure de potentiels évoqués a exploré le rôle des traits faciaux du robot Roboto dans la reconnaissance des émotions par l'être humain [6]. Est-ce qu'une machine avec des traits humains primaires, mais peut-être suffisants, peut induire un traitement émotionnel ? Le robot utilisé se composait de traits humains (yeux, sourcils et bouche) et de traits non-humains (e.g. pièces métalliques, câbles, clou, visserie). Alors que la tâche du sujet était de catégoriser les expressions faciales du robot ou d'un humain comme expression de joie ou expression neutre, les résultats comportementaux n'ont pas permis de faire la distinction entre les deux supports émotionnels. Les données neurophysiologiques vont dans le même sens interprétatif : c'est-à-dire que les visages du robot et de l'humain sont traités de manière similaire. Ces résultats suggèrent que les éléments du visage du robot sont catégorisés comme éléments de visage humain. De plus, les éléments présents sont suffisants à la bonne reconnaissance des émotions. Au total, ces études montrent que l'anthropomorphisme ne peut être évalué subjectivement. Nous avons vu que des designs de bras et de visage dissemblable à l'être humain peuvent être traités comme appartenant à l'Homme. Ces traitements semblent être régis par des contraintes spécifiques, telles que les degrés de libertés des mouvements pour le bras et la présence d'éléments invariants et hautement informatifs pour le visage. La question du degré de ressemblance du robot à l'Homme est importante pour l'avenir de l'industrie de la robotique sociale : plus la plastique du robot est développée, plus son coût de production et de vente le sera. Il est alors nécessaire de savoir de quels éléments pertinents doivent être constitués ces robots, en fonction de leurs tâches, pour optimiser le rapport coût-bénéfice [13]. Concernant la robotique thérapeutique pour enfant ayant des TSA, les études présentées évoquent la bouche, les yeux et les sourcils comme potentiellement suffisants pour le développement des compétences sociales [6], [10].

VII. LES AVANTAGES DE LA ROBOTIQUE SOCIALE DANS LA THÉRAPIE DES TROUBLES DU SPECTRE AUTISTIQUE

Nous avons vu que les troubles du spectre autistique sont très larges et hétérogènes. Les explications quant à ses causes restent incertaines et les diagnostics ne sont pas toujours évidents. Cependant, les communautés scientifique et clinique s'accordent pour souligner l'importance du diagnostic et de la prise en charge précoce. Le rôle du robot serait alors d'assister cette prise en charge et de développer les apprentissages de l'enfant, ainsi que de lui permettre de généraliser ces apprentissages lors d'interactions interhumaines. Le jeu étant essentiel pour le développement de l'enfant, le robot pourra alors encourager l'enfant à jouer lors d'interaction dyadique ou

triadique, comme nous l'avons vu avec KASPAR. Les jeux pourront être en lien avec les déficits liés aux TSA afin de développer les compétences à acquérir en vue de l'autonomisation des enfants et de leur intégration dans la société (e.g. jeu d'imitation pour la théorie de l'esprit ou jeu symbolique pour l'attention conjointe).

De nombreux avantages des robots pour les thérapies de l'autisme sont à mettre en avant. Dans notre cas, la robotique sociale apparaît dans un contexte où elle doit servir une population d'utilisateurs qui interagit différemment avec le robot et l'être humain. Ainsi, les déficits observés lors des interactions enfant-thérapeute ne sont pas présents lors des interactions enfant-robot. En ce sens, le robot pourrait être crucial pour la prise en charge de la pathologie et le développement cognitif de l'individu. De plus, l'avenir de la robotique sociale et son utilisation domestique pourra permettre une prise en charge totale de l'enfant autiste, ce qui est actuellement compliqué étant donné le coût des prises en charge des TSA. De plus, le robot pourra être utilisé comme outil diagnostique de l'autisme. Parce que le robot permet de réaliser des mesures comportementales objectives et répétables et de catégoriser automatiquement les comportements des enfants, il se montre comme un outil supplémentaire d'envergure, permettant d'appuyer les observations des cliniciens. Des modèles computationnels de la cognition peuvent alors être intégrés au robot afin d'analyser les déficits de l'enfant, et de renseigner sur le profil autistique de l'individu. Une étude [15] sur l'exploration visuelle des visages en est un exemple concret. Concernant les thérapies, le robot social permet également une meilleure standardisation des activités, et par conséquent une mesure plus fiable de leur efficacité.

VIII. CHALLENGES

Nous observons trois types de challenges dans le champ de recherche que nous venons de décrire. Le premier type de challenges est d'ordre méthodologique, le second est lié à la compréhension des troubles du spectre autistique, et le troisième est un challenge technologique.

Concernant les challenges méthodologiques, nous avons noté, à la lecture des travaux cités en référence, les points suivants :

- Les études se basent sur un petit nombre d'enfants (entre quatre et dix enfants), ce qui rend la puissance statistique de l'expérience faible voir insuffisante
- La population étudiée est le plus souvent hétérogène en termes d'âge et de degré du trouble autistique, quand ces éléments sont mentionnés dans l'article, ce qui n'est pas toujours le cas
- Il n'y a pas de groupe contrôle, par exemple un autre groupe d'enfant qui aurait fait la même activité en l'absence du robot, ou avec un autre robot
- Les résultats sont souvent basés sur des analyses subjectives, ou sur des mesures non standardisées

Ces limites méthodologiques sont probablement inhérentes au trouble étudié, mais elles empêchent souvent de conclure sur l'apport de l'utilisation du robot [5]. Nous suggérons, quand cela est possible, d'inclure dans l'article tous les éléments liés aux participants, voir de différencier les résultats si cela est nécessaire, comme cela a été fait dans l'une des études analysées [7]. En effet, tout comme pour les thérapies classiques, il faut savoir quel paradigme thérapeutique peut être appliqué pour quel profil autistique (i.e. fonction des déficits, de l'âge du sujet, etc.) Cela permettrait de mieux pouvoir cibler les thérapies. Concernant les mesures, il est nécessaire d'établir une métrique d'évaluation des interactions humain-robot. Une proposition serait de la baser sur des facteurs clés tels que le contexte social d'utilisation, la capacité de persuasion du robot, la confiance et l'engagement accordée par l'utilisateur, ainsi que la complaisance [18]. Cela permettrait de mesurer qualitativement et quantitativement les effets de l'HRI, tel que l'apprentissage de compétences sociales pour les enfants avec TSA, et de faire des comparaisons en fonction du jeu ou du robot par exemple. Tous ces éléments de méthodologie permettraient également de favoriser l'élaboration de méta-analyses, qui profiteraient certainement au domaine, en agrandissant le nombre de cas étudiés, et en rendant ainsi les résultats plus significatifs.

D'autres challenges résident dans la compréhension des troubles du spectre autistique, et de la relation établie avec le robot. De manière générale, il faut que le robot soit attractif, accepté et motivant pour son utilisateur. Les études l'utilisant pour les thérapies pour autistes paraissent largement respecter ces contraintes, mais ce n'est pas encore le cas pour les tâches de réhabilitation motrice et cognitive. Cependant, il reste à déterminer quels sont les aspects du robot qui permettent de produire les comportements sociocognitifs observés chez les enfants avec TSA. Bien que la littérature donne des informations concernant les traits faciaux pertinents pour l'interaction émotionnelle [6], les études sont peu nombreuses à ce jour. La question de la ressemblance du robot à l'être humain apparaît tout aussi importante, puisque qu'elle pourrait influencer le transfert des compétences apprises avec le robot vers les interactions interhumaines [13]. Le test de Turing neural proposé par [10] semble valable, mais reste peu ergonomique puisqu'il nécessite des mesures EEG pour chaque composant du robot. Il n'y a pas non plus de consensus clair pour expliquer pourquoi les robots maintiennent l'attention de ces enfants. Différentes propositions ont été émises [13]. Est-ce par la pauvreté des stimulations comparativement à l'être humain ? Parce qu'ils permettent d'éviter les sur-stimulations émotionnelles difficilement gérables par l'individu autiste ? Parce que les réponses des robots sont moins nuancées ou davantage prédictibles par l'enfant que celles des humains ? Parce que les interactions avec les robots n'évoquent pas les expériences négatives que l'enfant a vécues avec l'humain ? Il nous semble important de chercher à répondre à ces questions, à la lumière des différentes théories neurophysiologiques de l'autisme. Par exemple, la théorie du système des neurones miroirs (MNST) pousserait à utiliser des robots aux expressions faciales simples pour faciliter la lecture par l'enfant des émotions affichées par le robot. Dans tous les cas, des travaux expérimentaux doivent bien sûr avoir leur place pour valider ces hypothèses fondées sur les théories.

Nous terminerons cette section par les challenges technologiques à relever par la robotique sociale. Il reste à réaliser une architecture de contrôle autonome spécifique aux thérapies pour enfant ayant des TSA, ce qui permettraient au robot de s'adapter aux comportements de l'enfant lorsqu'il n'est pas supervisé. Dans le cas où le robot est contrôlé lors de thérapie triadique enfant-robot-thérapeute, il faut également développer des interfaces ergonomiques de contrôle pour le clinicien, afin qu'il puisse aisément orienter la thérapie en temps réel sans intervention de technicien [13]. Enfin, les robots sociaux destinés à la recherche en laboratoire sont à ce jour encore trop fragiles pour une utilisation domestique ou en milieu scolaire [13]. Cette robustesse sera un dernier point à développer avant de pouvoir faire émerger le robot social comme assistant thérapeutique pour le clinicien ou comme outil domestique de développement sociocognitif pour l'enfant.

REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient remercier leurs professeurs Sylvie Pesty et Gérard Bailly pour les avoir aiguillé dans leur travail de revue. Ils remercient également la classe de Master 2 Recherche IC²A Spécialité Sciences cognitives pour les discussions intéressantes passées et à venir au sujet des robots. Merci aussi au moteur de recherche Google Scholar pour mettre à notre disposition nombre de précieux articles.

RÉFÉRENCES

- [1] S. P. & D. A. R. Adolph, R., Gosselin, F., Buchanan, T. W., Tranel, D., "A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage," *Nature*, vol. 433, no. 7021, pp. 68–72, Jan. 2005.
- [2] S. Costa and H. Lehmann, "Where is Your Nose?"-Developing Body Awareness Skills Among Children With Autism Using a Humanoid Robot," *Adv. ...*, no. c, pp. 117–122, 2013.
- [3] K. Dautenhahn, "Robots as social actors : AURORA and the case of autism," *Proc. Third Cogn. Technol. Conf.*, 1999.
- [4] K. Dautenhahn, C. L. Nehaniv, M. L. Walters, B. Robins, H. Kose-Bagci, N. A. Mirza, and M. Blow, "KASPAR – a minimally expressive humanoid robot for human–robot interaction research," *Appl. Bionics Biomech.*, vol. 6, no. 3–4, pp. 369–397, Dec. 2009.
- [5] J. J. Diehl, L. M. Schmitt, M. Villano, and C. R. Crowell, "The clinical use of robots for individuals with Autism Spectrum Disorders: A critical review," *Res. Autism Spectr. Disord.*, vol. 6, no. 1, pp. 249–262, 2012.
- [6] S. Dubal, A. Foucher, R. Jouvent, and J. Nadel, "Human brain spots emotion in non humanoid robots," *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, vol. 6, no. 1, pp. 90–7, Jan. 2011.
- [7] A. Duquette, F. Michaud, and H. Mercier, "Exploring the Use of a Mobile Robot as an Imitation Agent with Children with Low functioning Autism," *Auton. Robot. – Spec. Issue Soc. Assist. Robot.*, vol. 24, pp. 147–157, 2008.
- [8] K. Markram and H. Markram, "The intense world theory - a unifying theory of the neurobiology of autism," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 4, no. December, p. 224, 2010.
- [9] L. M. Oberman, E. M. Hubbard, J. P. McCleery, E. L. Altschuler, V. S. Ramachandran, and J. a. Pineda, "EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders," *Cogn. Brain Res.*, vol. 24, pp. 190–198, 2005.
- [10] L. M. Oberman, J. P. McCleery, V. S. Ramachandran, and J. a. Pineda, "EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots," *Neurocomputing*, vol. 70, no. 3–15, pp. 2194–2203, Aug. 2007.
- [11] G. Pioggia, R. Igliazzi, M. L. Sica, M. Ferro, F. Muratori, A. Ahluwalia, and D. De Rossi, "Android-based interactions in autistic spectrum disorders" *J. CyberTherapy Rehabil.*, vol. 1, no. 1, pp. 49–61, 2008.
- [12] B. Robins, F. Amirabdollahian, Z. Ji, and K. Dautenhahn, "Tactile interaction with a humanoid robot for children with autism: A case study analysis involving user requirements and results of an initial implementation," *Proc. - IEEE Int. Work. Robot Hum. Interact. Commun.*, pp. 704–711, 2010.
- [13] B. Scassellati, H. Admoni, and M. Mataric, "Robots for use in autism research," *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, vol. 14, pp. 275–294, Jan. 2012.
- [14] T. Shibata, K. Inoue, and R. Irie, "Emotional robot for intelligent system - artificial emotional creature project" *IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, 1996.
- [15] F. Shic, W. Jones, and B. Scassellati, "Swimming in the Underlying Stream : Computational Models of Gaze in a Comparative Behavioral Analysis of Autism," 28th Annu. Conf. Cogn. Sci. Soc. Present. 28th Annu. Conf. Cogn. Sci. Soc., 2006.
- [16] S. Silva, F. Soares, A. P. Pereira, and S. Costa, "Robotic Tool to Improve Skills in Children with ASD : A Preliminary Study," vol. 3, pp. 162–172, 2013.
- [17] M. Simon, E. T. Al, P. Canet, and R. Soussignan, "L'enfant face à des expressions robotiques et humaines," *Press. Univ. Fr. | Enfance*, vol. 59, pp. 59 – 70, 2007.
- [18] A. Tapus, S. Member, and B. Scassellati, "The Grand Challenges in Socially Assistive Robotics," *IEEE Robot. Autom. Mag. Spec. Issue Gd. Challenges Robot.*, pp. 1–7, 2007.
- [19] MK. Toth, J. Munson, A. N. Meltzoff, and G. Dawson, "NIH Public Access," vol. 36, no. 8, pp. 993–1005, 2013.
- [20] J. Wainer, "Facilitating collaboration among children with autism through robot-assisted play," Ph.D. dissertation, Adaptive Systems Research Group Department, University of Hertfordshire, Hertfordshire, State, United Kingdom, 2012.
- [21] J. Wainer, K. Dautenhahn, B. Robins, and F. Amirabdollahian, "Collaborating with Kaspar: Using an autonomous humanoid robot to foster cooperative dyadic play among children with autism," *2010 10th IEEE-RAS Int. Conf. Humanoid Robot. Humanoids 2010*, pp. 631–638, 2010.

Les Robots Compagnons pourront-ils se substituer aux Animaux de Compagnie ?

Esther Frey, *Étudiante, Phelma*, Florent Bouchard, *Étudiant, Phelma*

Résumé—Dans ce document, nous nous intéressons à l'utilisation des robots compagnons Paro et AIBO dans des situations où ils remplacent des animaux de compagnie. Nous avons comparé les effets qui sont obtenus avec des animaux et des robots lorsqu'ils interviennent au cours du développement de l'enfant ou dans des thérapies. Il semble que les robots compagnons ne peuvent pas se substituer aux animaux pour le développement de l'enfant. Mais de bons résultats sont obtenus au cours des thérapies où les robots présentent même des avantages. Nous nous intéressons enfin aux questions éthiques et aux perspectives de l'utilisation des robots compagnons.

Keywords—*Robots Compagnons, Animaux de Compagnie, Développement de l'Enfant, Thérapies*

I. INTRODUCTION

L'Homme et les animaux ont toujours eu des liens particuliers. Il existe une légende dans certaines cultures qui disent que lorsque les hommes se sont séparés des animaux, certains animaux comme les chiens et les chats, ont préférés suivre l'homme afin de rester à ses côtés. On trouve encore aujourd'hui des restes d'animaux dans des monuments aux morts à travers le monde, ce qui prouve l'importance des animaux de compagnie toute culture confondue. En 2007 63% de la population américaine possède au moins un animal de compagnie, 95% le considère alors comme un ami et 85% comme un membre de la famille [1]. Les animaux de compagnie ont toujours un intérêt certain dans notre monde où la technologie prend une part de plus en plus grande mais énormément de recherche ont été effectuée sur l'influence de la présence d'un animal de compagnie. Leurs effets positifs ont été avérés dans le cadre du développement de l'enfant mais aussi dans plusieurs thérapies avec des personnes malades psychologiquement, comme des enfants autistes. Ce sont ces effets là qui peuvent être intéressants à étudier. En effet il serait intéressant de réussir à construire des robots ayant les mêmes capacités que les animaux de compagnie, surtout pour les travaux de thérapies médicales. Aujourd'hui les robots utilisés dans ce domaine de recherche recherche beaucoup pour le moment à mettre en place des robots capables de se lier avec les patients afin de les aider à mieux vivre leur maladie ou leur traitement. Pour ce genre de travaux l'un des robots qui a fait le plus ses preuves est le robot Paro, en forme de petit phoque, il a l'aspect d'une peluche. Paro est capable d'agir sur la communication, les interactions sociales, sur les troubles du comportement et peut permettre une baisse de la médication dans certain cas. Il est utilisé dans plus de 30 pays, on en compte aujourd'hui plus de 3000 en circulation depuis sa commercialisé en 2005. Un des autres robots très utilisé en

recherche est le robot AIBO, c'est un robot à l'allure canine qui sait se déplacer, repérer une petite balle rose, la pousser avec le bout de son nez tout en émettant des bruits décrivant ses émotions. Il sait alors apprendre du comportement de son propriétaire pour pouvoir mettre à profit son enseignement afin de mieux simuler une éducation. Ces robots sont vue comme caractériels et n'obéissent pas systématiquement aux ordres de leur propriétaire au début. Grâce aux études faites sur ces deux petits robots nous allons tacher de faire un tour d'horizon de ce que l'on peut apprendre sur les robots aujourd'hui. Grâce à ces différents éléments nous allons chercher à comprendre dans une première partie quels sont les effets d'un animal de compagnie dans le développement d'un enfant et comment cela peut être reproduit ou non avec un robot de type AIBO. Puis nous nous concentrons sur le coté plus médicale de l'utilisation des animaux de compagnie en parlant des thérapies animales qui prouvent de plus en plus leur efficacité et nous demanderons si les animaux, peu acceptés dans les hôpitaux, ne pourraient pas être remplacé par des robots.

II. RÔLES DANS LE DÉVELOPPEMENT DE L'ENFANT

La première partie de ce rapport se concentrera sur les bienfaits que peuvent apporter la présence d'un animal de compagnie lors du développement d'un enfant et les possibles applications à un robot compagnon. Beaucoup s'accordent à dire qu'un animal de compagnie permet de faire comprendre beaucoup de notions importantes de la vie à un enfant comme le respect, les responsabilités, la mort... Mais pourquoi et comment un animal de compagnie peut il avoir une telle influence sur un enfant ? C'est le lien social qui se crée entre l'animal et l'enfant qui permet d'avoir de tels résultats, la question est donc la suivante, peut on créé un tel attachement entre un robot et un enfant ? Nous allons dans un premier temps plus précisément comment ce lien se crée et pourquoi les animaux peuvent être un bénéfice dans l'éducation d'un enfant pour continuer dans une deuxième partie en essayant d'appliquer les concepts déduits des relations enfants/animaux à des relations enfants/robots ce qui nous permettra également de faire un tour d'horizon des robots compagnon destinés aux enfants.

A. Relation Enfant/Animaux

La présence d'animal de compagnie dans les foyers à travers le monde est et a toujours été très commune. Aujourd'hui 63% de la population américaine possède a au moins un animal de compagnie et 75% de cette population ont des enfants [1] Les chiens sont les animaux les courants,

suivis de près par les chats, les chevaux et les oiseaux. Ces animaux de compagnie sont considérés comme des amis et souvent comme des membres de la famille à part entière. Un animal de compagnie peut être une première expérience pour un couple voulant plus tard des enfants, un compagnon de jeu pour un enfant sans frère et soeur, une responsabilité pour un adolescent en quête de maturité. Nous sommes donc en droit de nous poser la question suivante : pourquoi les animaux arrivent-ils à compléter et parfois remplacer le contact humain chez un enfant ? Aujourd'hui les animaux sont très présents dans la vie des enfants, que ce soit physiquement ou symboliquement dans les dessins animés ou les jeux vidéos par exemple [2]. Ils ont alors des formes diverses et variées et les enfants y sont habitués depuis le plus jeune âge. Beaucoup d'enfant ont à leur naissance une peluche en forme d'animal qu'ils câlineront, avec qui ils joueront, emporteront partout avec eux et à qui plus tard ils confieront tous leur secret. C'est un premier pas qui leur permet d'être ouvert au contact avec les animaux, à un âge où la découverte du monde est leur passe-temps favoris. Il est très facile d'enseigner à un enfant à être empathique avec un animal une fois qu'il n'a peur de lui, en effet les animaux sont des créatures très expressive. Les animaux de compagnie ne donne qu'amour, loyauté et dévotion aux personnes qui les traitent correctement. Ainsi lorsqu'un enfant vit au contact d'un animal, il peut facilement commencer à le considérer comme l'un de ses pairs et peut également développer la capacité de lecture de son langage corporel [3]. C'est en cela que le fait de vivre au contact d'animaux de compagnie peut permettre un meilleur développement du soi et des relations sociales. C'est d'ailleurs pour ce genre d'effet que beaucoup de thérapies avec des animaux existent pour des personnes autistes. L'attachement entre un enfant et un animal peut alors devenir extrêmement formateur.

Confier à un enfant la responsabilité d'un animal est un exercice très formateur. Les animaux ont des besoins basiques : manger, boire et faire de l'exercice et il est impossible de les mettre sur "off". L'enfant apprend alors les valeurs de vie et de mort. S'il ne donne pas à manger à son animal il risque d'en souffrir et comme les animaux sont très expressifs l'enfant éprouvera de la compassion et comprendra le mal-être de l'animal. Les animaux vivent le plus souvent moins longtemps que les humains et beaucoup d'enfants qui ont eu des animaux de compagnie jeune connaissance la souffrance de perdre un être cher. Beaucoup de famille enterre l'animal de compagnie mort dans le jardin de la même façon que l'on enterrerait un membre de la famille dans un cimetière. Il existe d'ailleurs des cimetières pour animaux, preuve de l'attachement que porte les hommes à leur animaux de compagnon. Des squelettes de chiens ont fréquemment été retrouvé à côté de squelettes humains au quatre coins de la planète lors des fouilles archéologiques. Les animaux ne sont également pas légalement responsable de leurs actes, c'est à leur propriétaire de l'éduquer correctement afin qu'ils ne commettent aucun dégât. C'est en cela que la responsabilité d'un animal de compagnie est intéressante. Un enfant qui éduque un animal comprend très rapidement

la notion de responsabilité, si l'animal fait ses besoins à l'intérieur de la maison alors que l'enfant devait lui apprendre à ne pas le faire il est correct de faire comprendre à l'enfant que cela est de sa faute. A l'inverse un enfant qui arrive à éduquer correctement un animal mérite des félicitations. Les animaux sont utilisées dans des thérapies avec des enfants et adolescents en difficulté scolaire suite à des troubles de l'apprentissage. S'occuper d'animaux ont aidé les participants à gagner en estime de soi, confiance en soi et à lier des relations avec d'autres personnes [4]. Garder un animal peut coûter très cher et certaine personne ne peuvent pas avoir d'animaux pour diverses raisons, les animaux et les allergies en sont une des principales mais aussi le lieu de vie par exemple, il n'est pas forcément correct d'avoir un chien ou un chat lorsque l'on vit dans un appartement. C'est pour cela que l'on peut se poser la question du remplacement des animaux par des robots qui auraient des fonctionnalités du même type. C'est ce que l'on étudiera dans la partie suivante.

B. Peut on remplacer les chiens dans la vie de nos enfants par des robots ?

Comme annoncer précédemment nous allons nous intéresser à l'application des principes que l'on a vu plus haut aux robots. Les animaux ont une importance certaine dans le développement des enfants puisqu'ils aident au développement de l'empathie, la confiance en soi, l'estime de soi et l'aptitude à créer des relations sociales facilement. Un robot peut-il réussir à faire tout cela ?

Une étude a été conduite par des scientifiques hongrois et islandais, [5], des participants ce sont retrouvés nez à nez pendant dix minutes avec un chiot ou alors avec un petit robot AIBO d'apparence canine qui a pour fonction de chercher son jouet, une petite balle rose, et de la pousser avec son museau une fois qu'il l'a trouvée et qui émet des petits bruits pour exprimer ses émotions. Les réactions des participants face au chiot ou au robot ont donc été observées, leur façon de parler et leur actions envers l'animal/robot. Les participants étaient divisés en deux groupes, un groupe d'adulte et un groupe d'enfant dont les réactions ont aussi été comparées entre elles. A l'issue de ce test il s'est avéré que à la première rencontre en adulte/enfant et chiot/robot le premier geste a toujours été le même, l'humain a caressé la tête de la créature. Cette réaction est encourageante pour les personnes espérant réussir à créer un robot compagnon parfait. Cependant les participants ont eu l'air de se lasser plus rapidement de AIBO que du chiot. Les chercheurs ont conclu qu'il fallait rajouter plus de modèles de comportement à AIBO. On peut remarquer que les concepteurs d'AIBO ont suivi les résultats de la recherche faite plus haut. Ils ont fait en sorte qu'il soit expressif, grâce aux bruits qu'il fait afin de créer un attachement avec l'utilisateur. Cependant la seule action dont il est capable est de rechercher et jouer avec la balle rose, en soi technologiquement la performance est impressionnante mais pour être un jouet et rivaliser avec un véritable chiot il n'est pas encore assez puissant.

Nous pouvons alors nous demander ce qui a déjà été fait dans l'univers des robots compagnon qui pourrait permettre un attachement et par la suite un enseignement pour un enfant. L'un des plus anciens modèles de robots dont il fallait s'occuper a été bien connu dans les années 90 : le Furby. Ce petit robot avait pour capacité d'ouvrir ou fermer les yeux, apprendre des chansons et s'endormir la nuit. Il avait des besoins comme un véritable animal de compagnie et cela a valu à beaucoup de finir dans un placard sans lumière afin de le faire "mourir". Dans les mêmes années il y a eu l'apparition des Tamagochi, ces petits jeu étaient des créatures dont il fallait prendre soin afin de la faire grandir, face aux peu de commande possible beaucoup se sont lassés de ces petites bêtes. Aujourd'hui les jouets ont beaucoup plus évolué et deux robots sortent particulièrement du lot grâce à leur intervention dans différentes études : Paro et AIBO. Paro est un petit robot phoque ressemblant à une peluche il est utilisé dans différentes thérapies avec des personnes âgées, qui est détaillée plus loin et Aibo est donc ce petit robot en forme de chien qui sait jouer à la balle. Même si aujourd'hui les robots sont expressives, aucun ne savent encore assez bien mimer la vie pour qu'un enfant en face son compagnon de la même façon qu'il en ferait d'un chien.

D'un point de vue purement éthique peut on rendre un enfant responsable des actions de son robot domestique au même titre que celles de son chien ? Laisserons nous nos enfants se lier d'amitié avec robot à long terme ? Un robot n'est pas à l'abri d'un défaillance et ça le maître, enfant ou non, ne peut pas en être responsable, mais de la même façon un animal peut avoir un coup de folie sans que l'enfant ne l'ai maîtriser. Un problème plus délicat est le regard que pose la société sur les robots et les liens que peuvent créer les enfants avec ces robots. Puisque la relation entre un enfant et son animal de compagnie est si spéciale, de la même qu'un enfant a une relation très spéciale avec son ours en peluche, pourquoi ne pas accepter également une relation aussi spéciale avec un robot ?

III. UTILISATION DANS DES THÉRAPIES

L'Homme et les animaux ont des liens particuliers. L'idée d'utiliser les interactions entre l'homme et l'animal dans des thérapies est donc venue à certains thérapeutes. Certaines limitations, que nous verrons dans la suite, ont amené les chercheurs à remplacer les animaux par des robots compagnons. On a trouvé que les interactions avec des animaux ont trois effets : un effet physiologique (amélioration des signes vitaux), un effet psychologique (relaxation, réduction du stress, amélioration de l'humeur) et un effet social (facilitation des communications) [6,7]. Les thérapies qui utilisent des animaux ou des robots essayent d'utiliser ces effets dans le but d'agir positivement sur certains patients. La recherche se concentre principalement sur le vieillissement de la population qui est devenu un des enjeux majeurs de notre société [8]. En effet, on observe une baisse de la fertilité et une diminution de la mortalité notamment dans les pays développés. Il en résulte que de plus en plus de personnes âgées ont besoin de soins à long terme du fait que leur santé se détériore. Dans les

maisons de retraites, la dépression, la solitude voire la démence sont des problèmes auxquels le personnel est confronté [9,10]. Nous allons voir que les thérapies assistées par des animaux peut répondre à ces problèmes puis nous verrons qu'on peut également obtenir des résultats intéressants avec des robots. Dans les deux cas, nous verrons les différentes thérapies qui ont été imaginées et les bénéfiques qui ont été observés ainsi que les questions d'éthiques que ces thérapies soulèvent.

A. Thérapies assistées par des animaux

La première étude documentée qui a été réalisée sur les interactions entre l'homme et l'animal a été faite en 1792. Au 19^e siècle, la présence d'animaux de compagnie dans des instituts psychiatriques s'est répandue. Il avait été constaté que la présence d'animaux améliorait l'atmosphère dans les instituts. En 1960, Levinson a utilisé son chien au cours de séances avec des patients. Il a remarqué que les animaux aidaient au bon développement des enfants en leur apportant de l'affection et de la sécurité sur le plan des émotions. À la fin des années 1960, Levinson a utilisé des animaux avec des patients psychiatriques vivant dans des institutions. Il faisait des visites avec des animaux dans des institutions et les patients ont rapporté une diminution de la dépression. Les animaux ont donc des effets positifs sur l'homme. De plus, il n'y a pas besoin de contacts pour commencer à observer des effets. Le simple fait de regarder un aquarium permet de diminuer l'anxiété et la présence d'un animal seul peut réduire la pression sanguine [11]. Dans une étude de ses études [12], Friedmann a mesuré la pression sanguine de 26 enfants lorsqu'un chien entrait dans la salle. Les enfants n'avaient pas de contact avec le chien mais pouvaient le voir. Les chercheurs ont trouvé que la pression sanguine diminuait lorsque le chien entrait dans la salle d'expérimentation. L'étude a conclu que la présence d'un chien permettait de diminuer l'anxiété et la pression sanguine. Il a également été montré que posséder un animal aide au développement des enfants [11]. En effet, cela les aide à développer leur sens de l'orientation, leur estime personnelle, leur confiance et leur empathie. Donc des compétences sociales peuvent être acquises grâce aux animaux. On peut également retrouver des effets positifs sur toute la population, notamment chez les personnes âgées et les personnes souffrant de troubles mentaux. On notera surtout que les animaux permettent de diminuer l'anxiété, le sentiment de solitude, la dépression et qu'ils peuvent même aller jusqu'à donner une raison de vivre [13]. Les animaux ont également un rôle important dans les interactions sociales entre les hommes [11]. Les animaux, notamment les chiens, permettent en effet d'engager plus facilement la conversation avec des étrangers et donc de modifier positivement l'atmosphère sociale.

Du fait des effets positifs que les animaux apportent, ils ont été inclus dans des thérapies. On trouve des thérapies avec des chiens, des chats, des chevaux, des ânes, des dauphins, des oiseaux ; des hamsters, des lapins et des poissons [11]. L'animal qui est le plus couramment utilisé est le chien. On l'utilise dans des séances individuelles ou de groupes sur un

large éventail de la population. Le chat est quand à lui utilisé dans divers instituts. La thérapie repose ici sur la présence seule du chat à long terme. Comme c'est un animal très indépendant, cela se différencie peu de l'animal de compagnie. L'âne et le cheval sont utilisés dans des séances où le patient s'occupe de l'animal. Il le brosse, le nourrit et le balade (le plus souvent à pied). Le thérapeute donne des exercices pour travailler sur le comportement et les émotions sous-jacentes. Le dernier animal dont nous allons parler est le dauphin. Lors des séances, le patient, adulte ou enfant, interagit avec lui notamment en nageant avec lui. Les thérapies avec cet animal sont apparues dans les années 1970 et elles sont populaires en Amérique du Nord. Toutes ces thérapies permettent d'apporter les bénéfices qui ont été énumérés précédemment en fonction du cadre décidé par le thérapeute. Dans une thérapie, l'animal sert à catalyser les discussions entre le thérapeute et le ou les patients. De plus la présence d'un animal peut permettre de changer la vision négative qu'un patient peut avoir de la thérapie [11]. Les préjugés du patient peuvent s'effacer, il se sent moins menacé, ce qui peut être un facteur important surtout lorsqu'on souhaite traiter le stress ou la dépression. Il est également important de noter que les thérapies assistées par des animaux avec les personnes âgées permet d'augmenter leur qualité de vie et limite les risques de dépression [13]. Le dernier bienfait dont nous allons parler est celui apporté aux professionnels et qui n'a été que peu étudié jusque là. Il semble que l'utilisation d'un animal dans les thérapies limite les risques de burnout et de fatigue pour le thérapeute [11].

Nous allons maintenant voir les questions d'éthique que la thérapie assistée par l'animal soulève ainsi que les problèmes qu'elle pose. Tout d'abord, lorsqu'on s'intéresse à l'éthique sur ce sujet, il faut considérer les implications de cette pratique pour les patients, les professionnels et les animaux. La considération des animaux est très importante car ils peuvent aussi subir un burnout si on leur en demande trop [11]. Il faut également faire attention aux patients avec lesquels on utilise ces thérapies. On doit tenir compte de leurs préférences lors du choix de l'animal et vérifier qu'ils n'ont pas eu de problèmes avec des animaux dans le passé (peur des chiens, etc). Il faut aussi s'assurer que les patients n'ont commis aucun abus et que l'animal n'est pas en danger. Les questions d'hygiène doivent également être prises en compte. En effet, l'utilisation d'animaux peut entraîner la transmission d'infections ou de parasites dans un sens comme dans l'autre. Ce risque est particulièrement élevé pour les interactions entre l'homme et le dauphin. Il est nécessaire qu'un vétérinaire effectue des contrôles réguliers. De plus, les animaux peuvent réagir violemment et être dangereux donc le thérapeute doit suivre une formation spécifique. L'hygiène et la violence restent problématiques et malgré les précautions qui sont prises. Le risque n'est jamais nul et il peut être très élevé lorsque les patients sont particulièrement fragiles. De plus, Les animaux peuvent avoir des préférences en ce qui concerne les gens avec qui il interagit et il peut totalement négliger certains patients dans un groupe, ce qui pourrait renforcer leurs sentiments d'exclusion et de solitude. Pour répondre à ces problèmes, les chercheurs ont pensé à utiliser des robots compagnons comme

nous allons le voir dans la suite.

B. Thérapies assistées par des robots compagnons

COMME nous l'avons vu, les animaux présentent certaines limitations et la technologie permet aujourd'hui de reproduire certains de leurs comportements ce qui peut permettre d'obtenir les effets positifs des thérapies avec les animaux. Nous allons surtout considérer ici l'utilisation du robot Paro. La stratégie est ici de donner l'impression au patient que le robot est vivant, ce qui permet d'obtenir des effets positifs et de fournir une assistance sociale ou psychologique en plus des soins. Nous allons voir dans quelle mesure il est possible de reproduire les effets positifs des thérapies assistées par des animaux en utilisant des robots. Dans une étude de 8 semaines sur des personnes âgées souffrant de démence aux États-Unis [14], l'utilisation de Paro comme outil pour des thérapies sensorielles a été analysée. Une thérapie sensorielle utilise des stimuli sensoriels dans un environnement non menaçant. Ces stimuli peuvent être visuels, auditifs, tactiles et olfactifs. Pour cette étude, Paro sert à créer les stimuli et les auteurs ont regardé comment Paro agit sur les interactions des participants avec les autres. Du fait de leur démence, les participants avaient tendance à rester passifs et ils s'endormaient même parfois au cours des séances. Le thérapeute les encourageait à interagir avec Paro et le faisait passer à ceux qui semblaient porter un intérêt au robot. Les séances ont été filmées et les interactions ont été relevées. Au début et à la fin de l'étude, les thérapeutes ont passé un entretien pour connaître leur avis sur l'utilisation de Paro dans la thérapie. Les interactions observées ont été séparées en 3 catégories : physiques, visuelles et verbales. Il a été observé qu'il y a eu une augmentation du temps passé à interagir avec le robot au fil des séances. Paro semble en effet avoir suscité de l'intérêt et avoir rendu les participants plus actifs. Les thérapeutes ont quand à eux rapportés que Paro est un bon médiateur social et qu'il leur semble essentiel de l'utiliser dans des petits groupes de 3 personnes maximum. Cette étude semble donc confirmer que les robots compagnons peuvent avoir des effets similaires à ceux des animaux. D'autres études ont montré que les robots compagnons peuvent aussi avoir des effets physiologiques, réduisent notamment les hormones du stress [15]. On retrouve aussi des effets psychologiques positifs. Dans une étude sur 5 ans conduite au Japon sur 14 personnes âgées souffrant de démence [16], Paro a permis d'améliorer l'humeur, de diminuer la dépression et l'anxiété. Dans une autre étude de 2 mois au Japon sur 12 personnes pouvant interagir librement avec Paro pendant la journée [17], il a été montré que le robot encourageait les résidents à communiquer entre eux et à renforcer les liens sociaux.

Les 3 effets que produisent les animaux sur l'homme, à savoir, un effet physiologique, un effet psychologique et un effet social peuvent donc être également obtenus avec des robots. Il faut maintenant comparer l'importance de ces effets avec ceux produits par les animaux. Il y a encore eu très peu d'études traitant de cette problématique. Dans une étude

menée à la maison de retraite Selwyn Heights de Hillsbrough en Nouvelle-Zélande sur 40 résidents [18]. Les chercheurs ont voulu rechercher les effets psychologiques du robot compagnon Paro dans une maison de retraite en comparaison d'un groupe de contrôle. Ils ont également comparé Paro avec le chien d'une des thérapeutes de l'institut. Pour cette étude, les 40 participants ont été répartis aléatoirement dans deux groupes de 20 personnes. L'étude a commencé par des mesures pour estimer le degré de solitude, de dépression et de qualité de vie des résidents. La thérapie a consisté à organiser des séances avec le robot deux après midi par semaine pendant 12 semaines. Pendant ces séances, le groupe contrôle avait des activités traditionnelles. Au cours des séances, des observations ont été faites et les différentes interactions avec le robot ou le chien ont été notées. À l'issue des 12 semaines, les mêmes mesures qu'au début de l'étude ont été réalisées de nouveau. Les auteurs ont remarqué que Paro a principalement eu des effets sur la solitude. De plus, les participants ont plus touché le robot et lui ont plus parlé qu'ils ne l'ont fait avec le chien et plus de participants ont interagi avec le robot. Les participants ont plus parlé du robot qu'ils n'ont parlé du chien et le personnel s'est plus servi du robot que du chien pour engager la conversation. Enfin, les participants parlaient significativement plus entre eux lors des séances avec Paro que lors des activités habituelles. Ils parlaient également plus lorsque le chien était présent mais la différence n'était pas significative. Le robot permet donc de faire diminuer la solitude et a des effets positifs sur l'humeur et l'atmosphère sociale. Cela tend à montrer que le robot pourrait se substituer à un animal de compagnie dans certains cas. De plus, cette étude montre que le robot peut même présenter des avantages par rapport au chien car il ne choisit pas les personnes avec qui il interagit, il se comporte de la même façon avec tout le monde, n'excluant personne. De plus, il présente l'avantage de fournir un sujet de conversation original aux résidents et facilite le travail du personnel en leur donnant une nouvelle façon de divertir les résidents et de nouveaux moyens pour communiquer avec eux. Cette étude montre donc que les robots peuvent s'avérer tout aussi intéressants que les animaux et produire des effets qui peuvent même être plus efficaces que ceux produits par les animaux.

Nous allons à présent nous intéresser aux questions éthiques de l'utilisation des thérapies assistées par des robots compagnons. Ces robots sont pour le moment peu sophistiqués, ils ne sont pas programmés pour penser et s'adapter à des interactions complexes comme celles qu'il existe entre l'homme et l'animal. Il faut donc s'intéresser aux conséquences de l'utilisation de ces robots et aux intentions des créateurs et des utilisateurs de ce produit. Ces robots ont été conçus pour que les utilisateurs aient l'illusion du vivant. Certaines personnes peuvent aller jusqu'à éprouver de l'amour pour eux [19], mais les robots n'ont pas d'émotions et les interactions venant du robot sont relativement pauvres. On peut donc se demander si les intentions des utilisateurs ne peuvent pas être trop importantes par rapport aux possibilités réelles des robots. Cependant, ces personnes qui sont allés jusqu'à éprouver de l'amour [19] avaient également amélioré leur qualité de vie

et leur joie de vivre de manière assez importante. Cela doit aussi être fortement pris en compte lorsqu'on voit les bienfaits apportés. De plus, même si on pourrait argumenter que le robot peut manipuler les émotions de l'utilisateur, l'homme choisit parfois de donner vie aux objets de son quotidien et de leur donner de l'importance et de l'affection. La question de l'éthique est un des sujets qu'ils faut aborder dès à présent, mais le domaine de recherche est encore trop nouveau pour que toutes les dimensions soient couvertes à ce jour.

IV. DISCUSSION

LA question que nous nous posons est la suivante : pouvons nous tirer les effets positifs des animaux de compagnie et les reproduire avec des robots? Une fois que l'on sait ce qui rend les animaux si attirants et si attendrissants (cette capacité très développée à exprimer leur émotions corporellement) peut on réussir à en faire de même pour les robots? Les animaux de compagnie ont le mérite d'être vivants, et expressifs, il est donc facile de construire une relation avec eux. Les robots ne le sont pas et ressemblent, aujourd'hui, beaucoup trop à des jouets pour être vraiment pris au sérieux par les enfants. Un enfant ne se sentira jamais responsable d'un robot, il pourra se lier d'amitié comme il se lie d'amitié à un ours en peluche mais ne conservera pas son affection pour le robot aussi longtemps, il finira toujours par se lasser, de la même façon que se sont lassés les participants à l'expérience avec AIBO [5]. Les robots peuvent réaliser des petites tâches plus ou moins complexes mais n'ont pas encore la technologie suffisante pour soutenir une relation pendant des années sans lasser les humains.

La recherche sur les thérapies assistées par les robots est assez nouvelle mais elle nous semble prometteuse. En effet, on peut d'une part s'attendre à des évolutions technologiques qui permettront des interactions de plus en plus complexes et donc des effets de plus en plus prononcés sur les patients. D'autre part, il existe encore de nombreux plans d'expériences qui n'ont pas encore été réalisés. À présent, nous savons que les robots compagnons peuvent reproduire les effets positifs qu'ont les animaux dans des thérapies et qu'ils ont aussi certains avantages notamment au niveau de l'hygiène, de la dangerosité et du fait que les animaux choisissent les personnes avec qui ils interagissent. Il faut maintenant voir sur quels paramètres nous pouvons jouer pour mieux contrôler les effets et pouvoir mieux cibler certains points au cours des thérapies. De plus, nous pensons que des robots compagnons pourraient peut-être être utiles pour faire des recherches sur les mécanismes de l'empathie ou d'autres mécanismes sociaux car on peut contrôler de nombreux paramètres et ainsi savoir quelles caractéristiques sont prépondérantes. La plupart des documents qui ont été trouvés concernaient l'utilisation des robots avec les enfants ou les personnes âgées. Dans ces études, mêmes lorsqu'on s'intéressait aux mesures physiologiques, c'était dans le but de proposer des thérapies utilisant surtout les effets psychologiques. Pourtant, il a été montré que les robots compagnons pouvaient réguler les fonctions physiologiques. Il pourrait donc être intéressant

de les utiliser pour voir l'effet qu'il peuvent apporter au niveau des rémissions après des chirurgies ou pour les grands brûlés.

On doit également se demander si les robots ne pourraient pas changer nos vies en nous éloignant les uns des autres, si ils ne risquent pas de nous enfermer en nous poussant à limiter nos interactions avec l'extérieur. Calo et son équipe [19], pensent qu'il est impératif d'utiliser les robots compagnons en groupe et non tout seul. En effet, Certaines personnes se confient, racontent leur histoire aux robots mais ceux-ci ne tiennent pas compte de cette histoire et ils ne peuvent pas réagir à celle-ci. Il faut donc faire attention à ce qu'il y ait des interactions entre les gens qui émergent de ces technologies et non l'inverse pour que des effets positifs réels soient obtenus. De plus, l'évantaill des interactions possibles avec un robot étant relativement limité, interagir principalement avec un robot peut aussi réduire le panel d'émotions auxquelles ont est confronté, ce qui peut réduire les attentes que l'on peut avoir de toutes les relations qu'on entretient avec autrui. Tout dépend donc de la manière dont on utilise les robots. Ils peuvent servir à inciter les gens à échanger tout comme il peut les enfermer sur eux-même, il faut donc faire attention au cadre dans lequel il est utilisé.

V. CONCLUSION

Pour conclure, nous avons vu les différentes utilisations qui sont faites des robots compagnons qui imitent des animaux de compagnie. Nous avons vu qu'ils sont aujourd'hui principalement utilisé pour le développement de l'enfant et pour des thérapies principalement en direction des personnes âgées ou de celles ayant des troubles psychologique. Au vues des différentes recherches que nous avons faites sur le sujet, nous pensons que la technologie n'est pas assez avancée aujourd'hui pour remplacer les animaux de compagnie auprès des familles mais qu'ils peuvent être utiles pour des thérapies. Il reste encore de nombreuses problématiques à traiter dans ce domaine et nous pensons que la recherche peut encore progresser.

REMERCIEMENTS

Nous souhaiterions remercier Gérard Bailly et Sylvie Pesty de nous avoir guider de de nous avoir fournit les outils nécessaires pour ce projet.

RÉFÉRENCES

- [1] APPMA National Pet Owners Survey, 2007-2008
- [2] Melson, G.F. (2003). Child development and the human-companion animal bond. *Animal Behavioral Scientist*, 47(1) : 31-39
- [3] From a Walsh, PH.D. (2009). *Human-Animal Bonds I : The Relational Significance of Companion Animals*. Family Process, Vol. 38, No. 4
- [4] Katcher, A., & Wilkins, G.G. (2000). A 4-year trial of animal-assisted therapy with public school special education students. In A.H. Fine (Ed.), *Handbook on animal-assisted therapy* (pp. 227-242). New York : Elsevier.
- [5] Andrea Kerepesi, Gudberg K Jonsson, Eniko Kubinyi and Adam Miklosi. (2007). Can robots replace dogs? Comparison of temporal patterns in dog-human and robot-human interactions. *Human-Robot Interaction*

- [6] Brodie SJ, Biley FC. An exploration of the potential benefits of pet-facilitated therapy. *J Clin Nurs* 2001 ;8 :329e337
- [7] Hart LA. Psychosocial benefits of animal companionship. In : Fine AH, editor. *Handbook on Animal-Assisted Therapy : Theoretical Foundations and Guide-lines for Practice*. 2nd ed. San Diego, CA : Academic Press, 2000, 59-78.
- [8] United Nations Population Division. World Population Ageing 2013. Available at : <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications>
- [9] Slama CA, Bergman-Evans B. A troubling triangle. An exploration of loneliness, helplessness, and boredom of residents of a veterans home. *J Psychosoc Nurs* 2000, 38 :36-43.
- [10] Adams KB, Sanders S, Auth EA. Loneliness and depression in independent living retirement communities : Risk and resilience factors. *Aging Mental Health*, 2004, 8 :475-485.
- [11] Justine Jackson. *Animal Assisted Therapy : the Human-Animal Bond in Relation to Human Health and Wellness*. Winona State University, 2012
- [12] Friedmann E., Katcher A. H., Thomas S.A., Lynch J.J., Messant P.R. Social interaction and blood pressure : Influence of animal companions. *Journal of Nervous Mental Disorders*, 1983, 171 :461-465
- [13] Baun M, Johnson R. Human-animal interaction and successful aging. In : Fine A, editor. *Handbook on Animal-Assisted Therapy*. 3rd ed. San Diego, CA : Academic Press, 2010, 283-299.
- [14] Wan-Ling Chang, Selma Sabanovic, Lesa Huber. Use of seal-like robot PARO in sensorygroup therapy for older adults with dementia. Indiana University
- [15] Suga K, Sato M, Yonezawa H, et al. Change in the concentration of salivary IgA by contact of elderly subjects with a pet robot. *J Anal Bio-Sci*, 2002, 25 :251-254
- [16] Wada K, Shibata T, Kawaguchi Y. Long-term robot therapy in a health service facility for the aged. A case study for 5 years. Paper presented at : IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 23-26, 2009, Kyoto, Japan
- [17] Wada K, Shibata T. Robot therapy in a care house. Change of relationship among the residents and seal robot during a 2-month long study. Paper presented at : IEEE 16th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication ; August 26-29, 2007, Jeju, Korea
- [18] Hayley Robinson, Bruce MacDonald, Ngaire Kerse, Elizabeth Broadbent. The Psychosocial Effects of a Companion Robot : A Randomized Controlled Trial. *JAMDA*, 2013 1 7
- [19] Christopher J. Calo, Nicholas Hunt-Bull, Lundy Lewis, Ted Metzler. Ethical Implications of Using the Paro Robot with a Focus on Dementia Patient Care. *AAAI Workshop*, 2011

Incarnations des agents intelligents : un état des lieux

Alexandre HENNEQUIN, Florent MERCIER

INP Phelma - M2R Sciences Cognitives

Grenoble, France

Courriel : {prenom}.{nom}@phelma.grenoble-inp.fr

Résumé—En interaction homme-machine, les agents intelligents peuvent être définis comme des entités autonomes, pourvues de capteurs et d'effecteurs leur permettant d'interagir avec le monde réel. Cette définition abstraite a donné naissance à une grande diversité d'incarnations, des robots ayant une présence physique aux agents virtuels animés, en passant par beaucoup d'autres formes de réalités dites « mixtes ». Notre revue de la littérature à ce sujet détaille ces deux formes extrêmes d'incarnation, puis analyse les différences dans leur interaction avec les humains. Nous y récapitulons ensuite les principaux degrés de réalité mixte, pour en arriver à la réalité mélangée, qui met plusieurs incarnations au service d'une même entité.

I. INTRODUCTION

Les agents intelligents peuvent être définis en des termes très simples : des entités autonomes, munies de capteurs leur permettant de s'informer sur leur environnement, et d'effecteurs qui leur assurent un moyen d'interaction. Derrière cette définition abstraite, une multitude d'interprétations (des « incarnations ») ont vu le jour dans de nombreux laboratoires de recherche sur tous les continents. Il s'agit en grande partie d'agents robotiques, dotés de leurs propres moyens de locomotion et d'interaction *physique* ; mais également depuis au moins deux décennies d'agents *virtuels*, présents sous forme d'avatars animés, et dont la présence est restreinte à l'affichage sur un écran d'ordinateur. Mais dans la plupart des cas, leur rôle principal est d'assister l'humain dans des tâches de la vie courante ; aussi ces agents sont-ils souvent appelés « Compagnons ».

Aujourd'hui, la diversité des applications et des formes d'incarnation que prennent les agents intelligents peut sembler déboussolante pour toute personne qui s'intéresserait pour la première fois au sujet. Les termes « agent » et « *embodiment* » (incarnation) sont parfois employés dans des sens différents. Ces dernières années, la littérature scientifique a toutefois eu tendance à s'étendre en études comparatives sur le sujet [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]. Nous en avons passé une partie en revue, afin d'extraire les aspects communs à tous les agents intelligents et d'expliquer les différences spécifiques à chaque grande famille d'incarnation.

En premier lieu, nous détaillerons les caractéristiques fondamentales d'un agent intelligent, ainsi que celles propres à ses déclinaisons physique et virtuelle (section II), avant d'expliquer les différentes perceptions que les utilisateurs éprouvent de ces incarnations (section III). Nous verrons ensuite que ces incarnations peuvent revêtir des formes plus diverses, mélangeant réalité et virtualité à des niveaux différents (section IV) ; puis nous présenterons le cas où plusieurs incarnations peuvent servir la même instance d'un Compagnon (section V), avant de conclure.

II. INCARNATIONS RÉELLE ET VIRTUELLE

2.1 Le robot physique : apparence et utilité

La première conception que l'on se fait d'un Compagnon, dans le cadre de l'interaction homme-machine, est naturellement celle d'une machine robotique, ayant une présence physique et une capacité d'interaction dans le monde réel. Il est intéressant de se pencher sur les deux premières définitions que donne le dictionnaire Larousse [9] du terme « robot » :

- Dans les œuvres de science-fiction, machine à l'aspect humain, capable de se mouvoir, d'exécuter des opérations, de parler.
- Appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable.

La raison pour laquelle, dans les œuvres populaires de science-fiction, la majeure partie des robots revêtent un aspect humanoïde, pourrait être que nous attendons avant tout une interaction semblable à celle des relations humain-humain, pour faciliter la communication : une interaction haptique, visuelle et langagière respectant les conventions humaines. Un « bon » assistant devrait donc être au moins capable de parler en langage naturel, et d'avoir des gestes et des expressions faciales congruentes afin de communiquer le plus efficacement possible.

Ce qui n'implique certes pas que l'assistant soit en mesure d'accomplir correctement les tâches qui lui sont confiées. La prévalence paradoxale de l'apparence sur l'utilité est résumée dans [10] : il est constaté que les assistants les plus phénoménologiquement humains sont statiques, au sens où leurs animations sont scriptées et astucieusement déclenchées lors de la détection de certains stimuli, tandis que les agents plus élaborés et interagissant de façon plus pertinente sont ironiquement perçus comme étant moins humains. L'étude présentée dans [11] avance que les humains préféreraient avant tout un robot capable de communiquer en langage naturel, et dans une moindre mesure qu'il ait une apparence et un comportement humains.

La capacité du robot à agir socialement, dans le monde physique, en fait l'outil idéal pour les domaines tels que le travail en usine (où des robots élaborés facilitent la cohabitation humain-machine), l'assistance médicale (assistant chirurgical, thérapeutique, accompagnement à long terme de personnes âgées), le divertissement (interaction publique, poupées intelligentes pour enfants), l'éducation, l'étude scientifique des comportements sociaux ou émotionnels, ou encore en étant eux-mêmes sujets de tests [12]. En ce qui concerne leur utilité domestique, d'après une étude présentée dans [11], où 40% des participants se disent prêts à accueillir un robot Compagnon à la maison, la quasi-totalité y voit un potentiel

« robot majordome », qui effectuerait pour eux des tâches de nettoyage. Seule une minorité voudraient en faire un ami ; une personne sur dix uniquement leur confierait la garde d'enfants, la raison principalement évoquée étant la crainte qu'ils ne privent l'enfant du contact humain, et lui fassent voir les relations humain-machine comme étant la norme.

2.2 Les agents conversationnels animés

Plus facile à mettre en œuvre et à répandre auprès du public, les agents animés consistent en une simulation d'intelligence, interagissant principalement par le dialogue et capable pour ce faire de s'exprimer en langage naturel, avec plus ou moins de succès. Réduits au départ à de simples interfaces textuelles [13], ils sont aujourd'hui incarnés par des avatars à l'apparence entièrement humaine, usant d'une gestuelle et d'expressions faciales leur permettant d'établir la communication la plus efficace possible avec un interlocuteur humain.

Initialement dépourvus d'extension physique, ils trouvent principalement leur utilité dans l'assistance technique, pouvant facilement être déployés sur un site internet afin de guider un utilisateur dans la résolution d'un problème, ou un potentiel client en vue d'un achat. Lorsqu'un Compagnon entretient une relation à plus long terme avec le même utilisateur, il peut en apprendre les habitudes et faciliter l'automatisation de tâches d'organisation ou de domotique. Ces agents sont également utiles dans le domaine de l'enseignement, afin de proposer un accompagnement personnalisé.

Un exemple d'actualité est l'assistant Cortana de Microsoft (ou encore ses confrères Google Now, et Siri par Apple) [14], se présentant sous l'aspect d'une femme au visage complètement animé, recevant des ordres donnés vocalement par un utilisateur, et présentant en retour une réponse appropriée qui synthétise le résultat de ses propres recherches.

III. LA PERCEPTION PAR L'UTILISATEUR

3.1 Une expérience sur la perception de la présence

L'aspect qui puisse au mieux caractériser un Compagnon est peut-être le sentiment de présence qu'il parvient à nous inspirer. Des expériences menées à partir de 2006 par les auteurs de [8] et [3], et indépendamment par ceux de [4] en 2007, ont eu pour but de déterminer la différence d'impact social pouvant exister entre un robot physique et un agent virtuel. Dans [8], les participants devaient discuter avec un *Nursebot*, d'apparence humanoïde, sur leurs habitudes comportementales et sur leur santé. Dans [3] et [4], l'expérience a consisté en la confrontation, avec un Compagnon se présentant sous trois formes différentes : un avatar virtuel, présenté sur un écran d'ordinateur, un robot présent face à l'humain, et enfin le même robot mais filmé à distance, et dont l'image était projetée sur un écran. L'utilisateur était cette fois impliqué dans la résolution d'un puzzle (les tours de Hanoï), pendant que le Compagnon (un robot *Gazebo*, ou sa simulation) jouait un rôle d'entraîneur. Deux hypothèses principales ont été testées :

- 1) Les versions réelles du robot, comparées à l'agent virtuel, inciteraient davantage l'utilisateur à s'impliquer dans la tâche, et dans leur interaction mutuelle ;
- 2) Le robot co-localisé dans la même pièce que l'utilisateur obtiendraient sur ces plans de meilleures performances que sa version distante.

L'objectif de ces expériences était de distinguer la forme de présence qui a le plus grand impact dans la relation homme-robot : en effet, si les versions robotiques engagent davantage l'utilisateur que ne le ferait l'agent virtuel, c'est que le réalisme de son *impression de présence* suffit ; mais si le robot co-localisé obtient de meilleures performances que les deux autres, c'est que la présence physique est bel et bien la plus importante.

Les résultats obtenus vont globalement dans le sens de la deuxième hypothèse : il y aurait donc un réel impact de l'*embodiment* physique sur la perception du Compagnon par l'humain. En revanche, il n'était pas possible de déterminer l'importance du réalisme seul, le robot distant et l'avatar virtuel ayant obtenu des performances à peu près similaires. Les auteurs concluent en recommandant l'adaptation de l'incarnation au type de tâche à accomplir : si cette tâche implique la transmission de beaucoup d'information, sans nécessité d'intervention physique, ou même la seule révélation d'informations personnelles pour l'utilisateur, l'agent virtuel devrait suffire [8]. Sinon, pour une tâche impliquant une relation plus longue et personnalisée, telle que pour un robot thérapeute [4], une incarnation physique obtiendrait un meilleur effet.

3.2 Autres points de comparaison

Une incarnation peut encore être qualifiée selon plusieurs autres dimensions, notamment la haptique, le discours, les émotions, la gestuelle, le zoo- et l'anthropomorphismes. Nous renvoyons pour l'instant le lecteur vers [12], qui fournit une revue plus détaillée de ces autres points de comparaison.

IV. RÉALITÉ MIXTE ET INTERACTION HOMME-ROBOT

4.1 Le continuum réalité-virtualité de Milgram

Les deux principaux types d'agents interactifs que nous venons de détailler correspondent en réalité aux deux extrêmes de l'échelle de Milgram. Le *continuum réalité-virtualité* que ce dernier présente dans [1] permet de situer précisément la nature du mélange de réalité et de virtualité qui caractérise un agent :

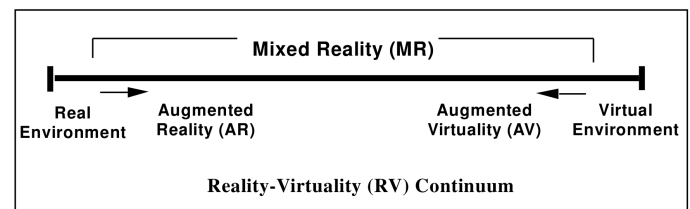


FIGURE 1. Le continuum réalité-virtualité de Milgram (tiré de [1]).

En plus de ces deux extrêmes, on y voit apparaître la notion de réalité et de virtualité *augmentées*. La réalité augmentée fait référence aux agents virtuels dont la représentation est superposée à des prises de vues réelles, ou plus directement par le biais de casques d'affichage tête-haute. Des exemples de tels agents incluent le projet MiRA [15] qui combine un robot avec un agent virtuel et une interface utilisateur projetés sur un casque, et l'agent Jeeves [16], un robot nettoyeur Roomba auquel viennent s'ajouter des animations « cartoon ».

Réciproquement, la virtualité augmentée peut être définie comme rassemblant les agents et les environnements immersifs virtuels, auxquels sont ajoutés des prises de vues ou des textures réelles, et qui peuvent être manipulés directement par l'utilisateur, avec des gestes ou oralement. Par exemple, [17] présente un assistant stéréoscopique destiné à la Neurochirurgie Guidée par Image Multimodale (MIGN), et le système cAR/PE! proposé par [18] est censé faciliter la collaboration à distance en simulant une salle de conférence avancée.

4.2 Le cas général : la réalité mixte

Depuis l'introduction de ces appellations, beaucoup d'autres degrés de mélanges réalité/virtualité ont été implémentés. En 2011, les auteurs de [6], devant leur diversité croissante, ont cherché à unifier les taxonomies d'agents au sein d'un même cadre, en en proposant une classification de ces réalités mixtes selon trois axes : l'*agency*, la présence corporelle et la capacité d'interaction. La figure 2 présente une répartition de plusieurs projets d'agents selon les deux derniers axes :

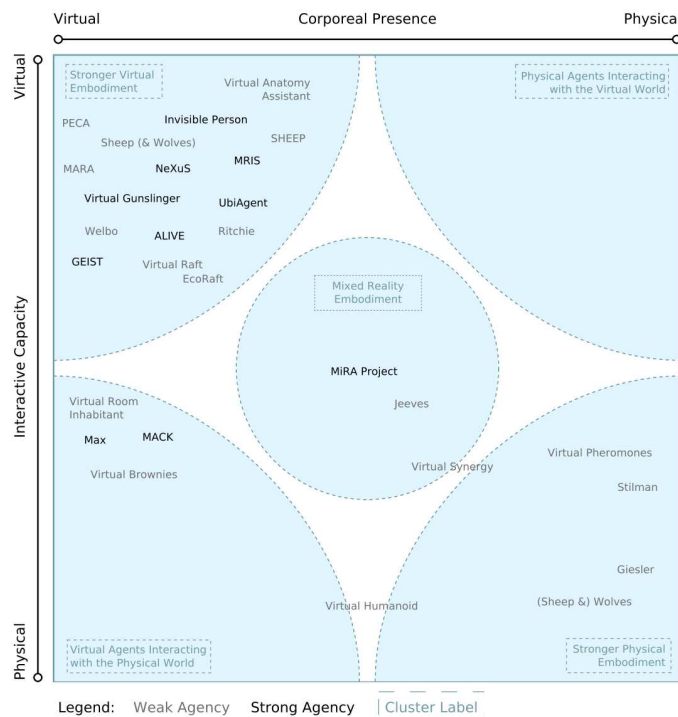


FIGURE 2. Placement de plusieurs exemples d'agents intelligents dans l'espace de la réalité mixte, en fonction de leurs capacités d'interaction et de leur degré de présence corporelle (tiré de [6]). On peut noter le manque apparent d'intérêt porté à la conception de robots physiques, qui interagiraient exclusivement avec un environnement virtuel.

Cette figure ne précise pas leur niveau, « faible » ou « fort », d'*agency* au sens de [19]. La première notion qualifie tous les agents possédant les compétences de base comme l'autonomie ou l'interaction sociale ; la seconde précise ceux qui sont dotés de capacités avancées, telles qu'empathie, croyances et émotions.

Le degré de présence corporelle qualifie l'impact de son environnement sur l'agent. Un robot, ou sa simulation respec-

tant les lois de la physique dans un environnement virtuel, qui éviterait intelligemment des obstacles serait perçu comme ayant une présence corporelle plus importante, comparé à robot qui ne les éviterait pas (ou à une simulation de robot qui flotterait en l'air). Les auteurs séparent ainsi cette dimension de la capacité d'interactions sociales et avec les humains.

V. RÉALITÉ MÉLANGÉE : PLUSIEURS INCARNATIONS POUR UNE MÊME ENTITÉ

5.1 Persistence et migrations d'une incarnation multiforme

Dans les sections précédentes, les agents présentés n'étaient incarnés que par une seule représentation à la fois. Toutefois, le but principal de la recherche en Interaction Homme-Robot est d'élaborer une entité qui puisse assister son utilisateur dans n'importe quel contexte social ou activité. Afin d'établir une relation privilégiée, cette entité doit être en mesure d'observer les préférences et les habitudes de l'utilisateur, ainsi que d'interagir avec lui de la manière la plus naturelle possible. Par conséquent, il serait très utile pour cette entité de disposer de *plusieurs* incarnations différentes, afin de ne plus être contraint par les limitations intrinsèques à la robotique ou à la simulation prises séparément. En d'autres termes, nous aurions une unique instance de l'entité intelligente, familière à l'utilisateur, et capable de migrer d'une incarnation à l'autre (du virtuel au réel, et inversement) en fonction de la tâche qui lui est assignée.

Cette multiplication des apparences soulève déjà une question : l'utilisateur est-il capable d'assigner une même personnalité à un Compagnon qui se présenterait sous des formes différentes ? Le concept de « réalité mélangée » (*blended reality*) et cette première question sont notamment traités dans [25] et [26]. Dans [26], il est présenté une expérience dans laquelle de jeunes enfants ont été invités à jouer avec un robot cube alphabétique et son alter-ego virtuel, dans un espace comprenant un tapis de jeu et des écrans ; un « portail » permettait au cube de passer du monde virtuel au réel (le robot émergeant d'une trappe tandis que son avatar disparaissait des écrans). Cette expérience a montré que les enfants avaient accepté la personnalité du cube, sa persistance et sa continuité entre les mondes réel et virtuel ; ils se sont par ailleurs montrés plus engagés avec le cube en réalité mélangée qu'avec son avatar virtuel.

Cette conclusion n'est pas entièrement partagée par [27], où des enfants un peu plus âgés devaient interagir avec un animal artificiel doté lui aussi de deux telles incarnations. Dans cette expérience, bien que la plupart des enfants aient assimilés d'eux-mêmes le concept d'un animal artificiel avec deux corps, les différences présentes entre ces incarnations leur ont fait affirmer qu'ils avaient interagi avec deux animaux distincts. Toutefois, des problèmes d'ordre technologique ont été rencontrés avec la version physique, donnant l'impression qu'elle était dotée de sa propre volonté et refusait d'obéir ; les auteurs ont suggéré d'accorder le comportement de l'avatar virtuel, afin qu'il rencontre les mêmes problèmes et présente un comportement moins contrasté. De plus, la migration (transition entre les deux incarnations) ne s'opérait qu'au niveau informatique et n'avait pas de manifestation visible.

Afin que, du point de vue de l'utilisateur, l'identité de l'agent soit préservée entre ses différentes représentations, il faudrait donc impérativement que les traits de sa personnalité



FIGURE 3. Exemples d'agents intelligents à des degrés différents d'incarnation : de gauche à droite et de haut en bas, les robots expressifs iCat [20] et Kismet [21], le *nursebot* PEARL [22], le robot thérapeutique Paro (qui trouve ses origines dans [23]), le robot Gazebo et son avatar virtuel [24], les assistants de Microsoft Trombine et Cortana, le projet MiRA [15], l'agent Jeeves [16] et un assistant stéréoscopique pour la neurochirurgie [17].

soient conservés d'une incarnation à l'autre, et que la migration se fasse de façon intuitive, afin que l'utilisateur n'ait pas l'impression d'avoir affaire à deux entités différentes.

5.2 Problème et compromis de l'identité persistante

Mais ce sont alors des questions d'éthique et de respect de la vie privée de l'utilisateur qui se posent : en effet, un Compagnon nécessairement doté d'une caméra et d'un micro enregistrant en permanence peut être perçu comme trop intrusif ; et des informations personnelles au sujet de l'utilisateur (pouvant inclure données médicales et traits psychologiques) doivent bien être mémorisées quelque part, afin d'assurer une continuité dans la relation qui l'unit au Compagnon. Une étude présentée dans [28] suggère que les utilisateurs adultes considèrent le Compagnon comme un compromis entre les services rendus et la mémorisation d'informations sensibles. De leur point de vue, les avantages d'une assistance dévouée et personnalisée sembleraient l'emporter sur leur réticence à faire confiance à une machine. D'un autre côté, dans [29], ce sont des enfants qui, à l'issue d'une séance de jeu avec un androïde, se montrent prêts à lui confier un secret autant qu'à un autre humain.

Ces questions de protection de la vie privée doivent donc encore faire l'objet d'études approfondies ; d'autant qu'il s'agit d'un problème d'actualité, et que les utilisateurs concernés par l'usage d'une telle technologie deviendront de plus en plus nombreux.

VI. CONCLUSION

Dans cette courte revue, nous avons présenté les caractéristiques des agents intelligents et de leurs principales formes d'incarnation. Nous avons mis en lumière les différents mélanges possibles entre réalité et virtualité, pour achever sur une introduction à la réalité mélangée, qui constitue la suite logique de l'évolution des agents intelligents.

RÉFÉRENCES

- [1] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, "Augmented reality : A class of displays on the reality-virtuality continuum," in *Photonics for Industrial Applications*. International Society for Optics and Photonics, 1995, pp. 282–292.
- [2] K. M. Lee, Y. Jung, J. Kim, and S. R. Kim, "Are physically embodied social agents better than disembodied social agents? the effects of physical embodiment, tactile interaction, and people's loneliness in human-robot interaction," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 64, no. 10, pp. 962–973, 2006.
- [3] J. Wainer, D. J. Feil-Seifer, D. A. Shell, and M. J. Mataric, "Embodiment and human-robot interaction : A task-based perspective," in *Robot and Human Interactive Communication, 2007. RO-MAN 2007. The 16th IEEE International Symposium on*. IEEE, 2007, pp. 872–877.
- [4] A. Powers, S. Kiesler, S. Fussell, and C. Torrey, "Comparing a computer agent with a humanoid robot," in *Human-Robot Interaction (HRI), 2007 2nd ACM/IEEE International Conference on*. IEEE, 2007, pp. 145–152.
- [5] T. Holz, M. Dragone, and G. M. O'Hare, "Where robots and virtual agents meet," *International Journal of Social Robotics*, vol. 1, no. 1, pp. 83–93, 2009.
- [6] T. Holz, A. G. Campbell, G. M. O'Hare, J. W. Stafford, A. Martin, and M. Dragone, "Mira — Mixed reality agents," *International journal of human-computer studies*, vol. 69, no. 4, pp. 251–268, 2011.
- [7] S. Dalibard, N. Magnenat-Talmann, D. Thalmann *et al.*, "Anthropomorphism of artificial agents : a comparative survey of expressive design and motion of virtual characters and social robots," in *Workshop on Autonomous Social Robots and Virtual Humans at the 25th Annual Conference on Computer Animation and Social Agents (CASA 2012)*, 2012.
- [8] J. Wainer, D. J. Feil-Seifer, D. A. Shell, and M. J. Mataric, "The role of physical embodiment in human-robot interaction," in *Robot and Human Interactive Communication, 2006. RO-MAN 2006. The 15th IEEE International Symposium on*. IEEE, 2006, pp. 117–122.
- [9] Larousse.fr : encyclopédie et dictionnaires gratuits en ligne. (2014). [Online]. Available : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/robot>
- [10] C. Nass, K. Isbister, E.-J. Lee *et al.*, "Truth is beauty : Researching embodied conversational agents," *Embodied conversational agents*, pp. 374–402, 2000.
- [11] K. Dautenhahn, S. Woods, C. Kaouri, M. L. Walters, K. L. Koay, and I. Werry, "What is a robot companion-friend, assistant or butler?" in *Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE, 2005, pp. 1192–1197.

- [12] T. Fong, I. Nourbakhsh, and K. Dautenhahn, "A survey of socially interactive robots," *Robotics and autonomous systems*, vol. 42, no. 3, pp. 143–166, 2003.
- [13] J. Weizenbaum, "Eliza—a computer program for the study of natural language communication between man and machine," *Communications of the ACM*, vol. 9, no. 1, pp. 36–45, 1966.
- [14] E. Lenz, S. Diefenbach, and M. Hassenzahl, "Aesthetics of interaction : a literature synthesis," in *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction : Fun, Fast, Foundational*. ACM, 2014, pp. 628–637.
- [15] M. Dragone, T. Holz, and G. M. O'Hare, "Mixing robotic realities," in *Proceedings of the 11th international conference on Intelligent user interfaces*. ACM, 2006, pp. 261–263.
- [16] J. E. Young, M. Xin, and E. Sharlin, "Robot expressionism through cartooning," in *Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*. ACM, 2007, pp. 309–316.
- [17] P. Paul, O. Fleig, and P. Jannin, "Augmented virtuality based on stereoscopic reconstruction in multimodal image-guided neurosurgery : Methods and performance evaluation," *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, vol. 24, no. 11, pp. 1500–1511, 2005.
- [18] H. Regenbrecht, T. Lum, P. Kohler, C. Ott, M. Wagner, W. Wilke, and E. Mueller, "Using augmented virtuality for remote collaboration," *Presence*, vol. 13, no. 3, pp. 338–354, 2004.
- [19] M. Wooldridge and N. R. Jennings, "Intelligent agents : Theory and practice," *The knowledge engineering review*, vol. 10, no. 02, pp. 115–152, 1995.
- [20] A. J. van Breemen, "Animation engine for believable interactive user-interface robots," in *Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 3. IEEE, 2004, pp. 2873–2878.
- [21] C. Breazeal and B. Scassellati, "A context-dependent attention system for a social robot," *m*, vol. 255, p. 3, 1999.
- [22] M. E. Pollack, L. Brown, D. Colbry, C. Orosz, B. Peintner, S. Ramakrishnan, S. Engberg, J. T. Matthews, J. Dunbar-Jacob, C. E. McCarthy *et al.*, "Pearl : A mobile robotic assistant for the elderly," in *AAAI 2002 Workshop on Automation as Caregiver : The Role of Intelligent Technology in Elder Care*, 2002, pp. 85–92.
- [23] T. Shibata, M. Yoshida, and J. Yamato, "Artificial emotional creature for human-machine interaction," in *Systems, Man, and Cybernetics, 1997. Computational Cybernetics and Simulation., 1997 IEEE International Conference on*, vol. 3. IEEE, 1997, pp. 2269–2274.
- [24] N. Koenig and A. Howard, "Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator," in *Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 3. IEEE, 2004, pp. 2149–2154.
- [25] K. Koay, D. Syrdal, K. Dautenhahn, K. Arent, B. Kreczmer *et al.*, "Companion migration - Initial participants' feedback from a video-based prototyping study," in *Mixed Reality and Human-Robot Interaction*. Springer, 2011, pp. 133–151.
- [26] D. Robert and C. Breazeal, "Blended reality characters," in *Proceedings of the seventh annual ACM/IEEE international conference on Human-Robot Interaction*. ACM, 2012, pp. 359–366.
- [27] P. F. Gomes, E. M. Segura, H. Cramer, T. Paiva, A. Paiva, and L. E. Holmquist, "ViPleo and PhyPleo : Artificial pet with two embodiments," in *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. ACM, 2011, p. 3.
- [28] D. S. Syrdal, M. L. Walters, N. Otero, K. L. Koay, and K. Dautenhahn, "He knows when you are sleeping - Privacy and the personal robot companion," in *Proc. Workshop Human Implications of Human-Robot Interaction, Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI'07)*, 2007, pp. 28–33.
- [29] C. L. Bethel, M. R. Stevenson, and B. Scassellati, "Secret-sharing : Interactions between a child, robot, and adult," in *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 2489–2494.

Téléprésence télé-opérée: Robot Lycéen

Rapport du travail de recherche dans le cadre du cours d'IAVIAC

Elèna Hoyau
M2R Sciences Cognitives
Grenoble, France
elena.hoyau@gmail.com

Laure Dechambenoy
3ème année à Grenoble-INP Pagora
Semestre 5 Sciences Cognitives
laure.dechambenoy@hotmail.fr

Abstract— *Les systèmes de téléprésence sont en pleine expansion, notamment dans le domaine de la robotique télé-opérée. Les contextes d'usages sont variés, et dans ce travail de recherche le domaine de l'éducation et des robots lycéens est particulièrement d'intérêt. Dans une première partie nous parlerons de l'utilisation de robots télé-opérés dans le but d'acquérir une langue étrangère. Ensuite nous évoquerons le projet « robot lycéen » qui a pour objectif d'intégrer de la téléprésence télé-opérée dans les lycées français, ainsi que d'autres travaux autour de l'élève malade. Avant de conclure, nous évoquerons certains aspects qui ne sont pas systématiquement étudiés lorsque les systèmes de téléprésence télé-opérée sont introduits dans un environnement scolaire mais qui ont pourtant de l'importance. Enfin nous concluons que l'utilisation de robots de téléprésence télé-opérés dans le domaine de l'éducation devrait aujourd'hui être une pratique généralisée car elle offre de nombreux avantages. Le projet du robot lycéen promet d'apporter un certain nombre d'éclaircissements sur les aspects à la fois techniques et sociaux des systèmes de téléprésence télé-opérés dans le domaine de l'éducation.*

Keywords— *MRP (mobile robotic telepresence), téléprésence, télé-opération, éducation, pathologie, apprentissage, évaluation.*

I. INTRODUCTION

Les systèmes MRP (*mobile robotic telepresence*) devenant accessibles au grand public, les domaines d'application deviennent de plus en plus vastes. Dans ce travail de recherche, le concept de systèmes de téléprésence télé-opérés ou télé-opération, et le concept de systèmes MRP sont utilisés comme synonymes. L'intérêt pour cette nouvelle forme de communication est grandissant, dans une société où l'usage d'interfaces telles que SkypeTM est devenu une pratique courante. La téléprésence fait référence au fait d'être à deux endroits différents au même moment [1]. Les premiers auteurs

à avoir étudié la téléprésence aux travers de systèmes robotiques sont Tachi and Abe [2] avec le concept de télé-existence, et Minski [1] avec le concept de téléprésence. Kristofferson et al. [3] ont publié une revue des différents systèmes MRP existants, leurs domaines d'applications et leurs évaluations. Les systèmes de MRP sont définis comme des systèmes composés d'une base mobile robotique surmontée d'un système de vidéo-conférence [3]. Trois catégories d'utilisateurs sont distinguées: le pilote ou l'opérateur (i.e., individu qui contrôle le robot à distance), les utilisateurs (i.e., personnes physiques présentes dans la même pièce que le robot) et l'environnement (i.e., environnement dans lequel est situé le robot). Le principal but des systèmes MRP est de permettre des interactions sociales entre les êtres humains [3]. On distingue trois types d'interactions: une interaction homme-machine – HCI – (i.e., entre l'opérateur et l'interface robotique), une interaction homme-robot – HRI – (i.e., entre le système MRP et les utilisateurs), et une interaction homme-homme – HHI – (i.e., entre l'opérateur et les utilisateurs). Selon le type d'interaction étudiée, les questions et problèmes que tentent de résoudre les auteurs sont différents. Nous verrons des illustrations de cela par la suite. L'avantage des systèmes MRP est d'offrir une mobilité dans l'environnement, ce que ne permettent pas les systèmes classiques de vidéo-conférence. Les systèmes MRP peuvent être utilisés dans différents contextes (i.e., environnement). Notamment, ils permettent à des individus d'assister à des réunions à distance [4]. Ils permettent également à des professionnels de la santé de s'occuper de personnes âgées qui sont chez elles [5], ou encore à des patients hospitalisés d'interagir avec des professionnels de la santé [6].

Dans ce travail de recherche le domaine d'intérêt est celui de l'éducation. Les systèmes MRP peuvent en effet permettre à des élèves, notamment lorsqu'ils sont malades sur une très grande durée, d'assister à leurs cours normalement [7]. L'enjeu des systèmes MRP dans le domaine de l'éducation est important. Un autre cas d'utilisation des systèmes MRP dans le domaine de l'éducation est de permettre aux élèves d'apprendre une langue étrangère [8].

II. LES SYSTEMES MRP DANS L'ACQUISITION D'UNE LANGUE ETRANGERE

A. Robots télé-opérés par les enseignants

La Corée du Sud a souffert dans les années 2000 d'un déficit de professeurs natifs anglais. Afin que les jeunes sud-coréens puissent apprendre l'anglais, et ce même dans des régions pauvres, en 2008 l'entreprise Hwakin English (spécialisée dans les cours de linguistiques) a lancé des études pilotes auprès de différentes écoles [9]. Des enseignants natifs anglais contrôlaient depuis leurs pays natif des robots de téléprésence, et ils pouvaient ainsi enseigner l'anglais à des jeunes enfants en Corée du Sud. En 2011, Yun et al. [8] ont publié un article dans lequel ils présentent des résultats plutôt encourageants sur l'utilisation de systèmes MRP afin d'enseigner une langue étrangère. D'après leur étude, les performances des enfants s'améliorent en anglais. Le travail de Yun et al. [8] s'est notamment concentré sur la mise en place d'une « unité naturelle » entre l'enseignant et le robot. Cette unité passe au travers d'un contrôle en temps-réel et facile d'usage des différentes activités du robot. Un point central dans cette recherche d'unité concernait les expressions émotionnelles. Les auteurs souhaitaient que le robot soit l'équivalent d'un avatar de l'enseignant, permettant ainsi aux jeunes enfants de s'immerger complètement dans le processus d'apprentissage sans prêter attention au fait qu'ils avaient un robot comme enseignant. Cela signifie que les élèves ne voyaient pas s'afficher le vrai visage de l'enseignant, mais un avatar (figure 1). Si l'on reprend la définition d'un système MRP, il est vrai qu'ici, en l'absence d'un système de vidéoconférence classique, la question peut se poser quant à savoir s'il s'agit bien d'un système MRP. Cependant, mise à part ce point, les questions auxquelles les auteurs ont cherché des solutions sont classiques dans les études sur les systèmes MRP. Cette étude étant classiquement citée lorsque l'on parle de la téléprésence téléopérée, il est donc pertinent d'en discuter dans ce papier. Parmi les problèmes qui peuvent donc se poser lorsque l'on s'intéresse à la télécommunication à distance, notamment d'un point de vue technique, il y a la continuité des échanges audio et visuels entre l'enseignant et les enfants, mais également la sécurité (en raison d'une connaissance des opérateurs limitée des mouvements du robot). Les systèmes robotiques étaient équipés d'un système de navigation automatique, d'évitement d'obstacles et d'arrêt d'urgence. D'un point de vue pratique, le système MRP doit susciter l'intérêt des élèves. Un certain nombre de suppléments ont donc été ajoutés dans ce but, comme des exercices de prononciation ou encore des jeux robotiques. La figure 1 montre le système MRP utilisé cette étude

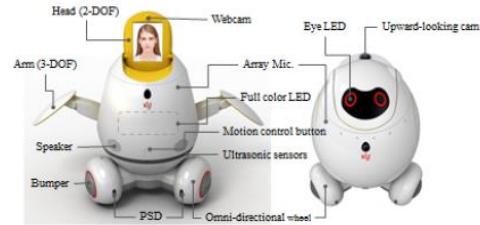


Figure 1. EngKey. Source: Sangseok et al., 2001.

L'étude pilote a eu lieu dans 29 classes d'anglais d'une école élémentaire à Daegu (Corée du Sud), avec 8 enfants dans chaque classe, pendant 3 mois. Les enseignants étaient originaires des Philippines. Les élèves ont montré un intérêt certain pour le robot et rapportent s'être senti bien pour apprendre l'anglais. Du point de vue des enseignants, les performances des élèves augmentaient, à la fois sur les tests normalisés (i.e., à l'écrit) mais également sur les performances orales. Les auteurs concluent sur le fait que bien même que les effets soient moins importants que lorsque la présence physique de l'enseignant est réelle (bien qu'ils ne l'aient pas testés explicitement dans cette étude), la téléprésence serait une solution économique à l'éducation.

B. Robots télé-opérés par les élèves

Entre 2009 et 2012, l'un des projets de JST PRESTO [10] au Japon avait pour objectif final de développer et d'exploiter une infrastructure de robots télé-opérés reliant en temps réel les classes entre le Japon et les Etats-Unis. Le but était de permettre à des enfants japonais de suivre des cours d'anglais dans des classes aux Etats-Unis, tout en restant au Japon. Dans le cadre de ce projet, Tanaka, Takahashi & Morita [11] ont étudié la situation où ce sont les élèves qui contrôlent le robot de téléprésence. Les enfants étant âgés entre 4 et 8 ans, la grande difficulté des auteurs a été de mettre en place un système facile d'usage pour les enfants. Les auteurs ont comparé les effets sur l'apprentissage d'une langue étrangère avec soit une manette de jeux vidéo et un écran de tablette, soit un tricycle (figure 2). On observe un gant sur la poignée droite du tricycle, permettant aux enfants d'avoir une action physique sur les objets dans l'environnement où se trouve le robot de téléprésence télé-opéré. L'utilité du tricycle est qu'il implique l'action de l'ensemble du corps. A la différence du robot utilisé dans l'étude précédente, l'opérateur (i.e., l'enfant) interagit via Skype (donc les utilisateurs peuvent voir son vrai visage et non un avatar). Les auteurs ont conduit plusieurs études pilotes, afin d'améliorer au maximum la facilité d'usage et le caractère contrôlable du tricycle. Aux travers d'observations préliminaires, les auteurs ont dégagé 4 points importants que l'interface robotique doit satisfaire : (1) mouvements non restreints pour l'opérateur, (2) pas d'opérations manuelles requises (un minimum d'instructions), (3) l'opérateur doit ressentir des sensations physiques (e.g., de frottement) quand il contrôle à distance le robot, et (4) l'interface doit être familière.



Figure 2. Premier prototype utilisé par Tanaka et al. (2013).

Dans cette étude, les auteurs cherchaient à tester l'impact d'un tricycle vs. d'une manette de jeux vidéo sur le contrôle d'un robot télé-opéré à distance. Le système MRP utilisé est illustré figure 3.



Figure 3. Système MRP dans l'étude de Tanaka et al. (2013).

Pour tester l'utilisabilité du tricycle vs. de la manette de jeux vidéo, les auteurs cette étude ont proposé 6 tâches, avec d'un côté une évaluation des performances de l'opérateur (i.e., l'enfant) et de l'autre côté l'analyse du comportement de l'adulte présent dans la salle expérimentale avec le robot de téléprésence télé-opéré. Ils observent que les performances sont meilleures lorsque les enfants utilisent un tricycle pour contrôler le système MRP, plutôt qu'une manette de jeux vidéo. L'analyse du comportement de l'adulte permet d'observer qu'il est plus difficile de guider les enfants qui utilisent une manette de jeux vidéo pour contrôler le robot de téléprésence télé-opéré.

Parmi les autres réalisations du projet JST PRESTO il y a par exemple une main contrôlée à distance avec feed-back haptique [12] (figure 4).



Figure 4. Main contrôlée par feed-back haptique. Tanaka et al. 2011.

Afin d'étudier à plus grande échelle les effets sur l'apprentissage d'une langue étrangère de robots de téléprésence télé-opérés par des enfants, Tanaka, Takahashi, Matsuzoe et al. [13] ont conduit une étude reliant des classes entre le Japon et l'Australie. Ils observent que l'utilisation de robots télé-opérés par les enfants semble avoir un effet positif sur l'apprentissage de l'anglais. Les élèves semblent être heureux d'interagir avec des enfants venant d'un autre pays.

Enfin, la question s'est posée de savoir si réellement l'utilisation de robots télé-opérés avait un avantage, en comparaison avec le seul usage de Skype [14]. Des études précédentes [15] [16] ont pointé du doigt le fait que l'utilisation seule de systèmes de vidéo-conférence pouvait avoir des effets négatifs sur l'apprentissage d'une langue étrangère. Les enfants qui sont naturellement mal à l'aise avec l'apprentissage d'une langue étrangère semblent rencontrer encore plus de difficultés et se bloquer face à un écran. Dans l'étude de Tanaka et al. [14], les auteurs ont donc comparé une situation dans laquelle les participants (i.e., des enfants âgés entre 4 et 8 ans) participaient à une leçon en anglais seulement via Skype (pendant 10 minutes), et une situation dans laquelle les participants participaient à la leçon d'abord via Skype (pendant 5 minutes), puis via un robot télé-opéré par les enfants eux-mêmes (pendant 5 minutes). La figure 5 montre le système MRP, et la figure 6 montre le dispositif expérimental utilisé par les enfants. Les résultats de cette étude dépeignent un réel avantage du robot télé-opéré par les enfants en comparaison à la seule utilisation de Skype. Par exemple, les enseignants qui étaient en présence du robot seulement commandé par Skype ont raconté avoir moins utilisés les gestes pour parler à l'enfant. Cette impression a été confirmée par une analyse objective des comportements des enseignants. L'enfant, dans la situation où il peut manipuler le robot de téléprésence, semble pouvoir plus facilement communiquer ses intentions à l'enseignant. Le fait de pouvoir agir sur l'environnement a un effet sur l'apprentissage, bien même que les résultats de cette étude ne permettent pas de conclure (en raison du faible temps d'utilisation du robot, i.e., 5 min). Ce que cette étude permet d'observer néanmoins est que l'utilisation d'un robot télé-opéré permet aux élèves d'être dans une attitude plus naturelle et plus propice à l'apprentissage.



Figure 5. Robot télé-opéré par les enfants. Tanaka et al. (2014).



Figure 6. Interface du côté de l'opérateur. Deux écrans étaient disposés dans la salle où l'enfant se trouvait (un au mur et un autre sur un ordinateur portable). On observe que l'enfant porte un gant sur l'image, qui permet de contrôler des mouvements de préhension sur le robot. Tanaka et al. (2014).

Les systèmes MRP améliorent donc l'accès à l'éducation, notamment en permettant à des professeurs d'enseigner à différents endroits du monde, tout en restant dans leur pays natif. Les systèmes MRP donnent aux enfants une opportunité d'apprendre les langues étrangères différemment, avec des intérêts pédagogique et économique notables.

III. QUAND LES ELEVES SONT MALADES

La robotique de téléprésence télé-opérée va encore plus loin puisqu'elle permet à des enfants malades (qui ne peuvent pas se déplacer jusqu'à l'école) d'être présents en classe à travers une interface robotique.

A. *Projet du robot lycéen*

Dans la région lyonnaise est actuellement menée une étude appelée « Robot Lycéen », qui a pour but de tester la robotique de téléprésence télé-opérée par des lycéens malades. Ces derniers peuvent ainsi assister normalement à leurs cours. Le système robotique de téléprésence utilisé est le robot QB (figure 7), conceptualisé et construit par l'entreprise Anybots, aux Etats-Unis [17]. Dans le cadre de ce travail, Florian Nebout, manager de projet chez AWABOT (i.e., société française qui fournit les robots de téléprésence pour le projet), a répondu à certaines questions concernant le fonctionnement des robots QB. La société AWABOT collabore sur ce projet avec l'Institut Français de l'Éducation et l'Université Claude Bernard, la région Rhône-Alpes et le Learning Lab (dépendant de Centrale Lyon). A la rentrée scolaire 2014, trois robots ont été installés dans trois lycées pilotes sur le territoire rhônalpin : le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon (Rhône), le lycée Claude Fauriel à Saint-Etienne (Loire) et le lycée Joseph Marie Carriat à Bourg-en-Bresse (Ain). Cette expérimentation est financée par la Région Rhône-Alpes à hauteur de 490 000€ pour une durée de deux ans (2014-2016). Le robot QB est connecté en Wifi à son serveur de contrôle et dispose d'un système de stabilisation gyroscopique qui lui confère une faible empreinte au sol et une capacité de franchissement plus importante. Sa hauteur ajustable de 80 cm à 2 mètres lui permet de s'adapter à différentes situations. Les échanges avec la classe sont rendus possibles grâce à un écran qui affiche le visage du lycéen et à des systèmes audio et vidéo. Les élèves

possèdent tous un identifiant et un mot de passe pour une plate-forme mise en place par Awabot, à partir de laquelle ils peuvent se connecter à un des robots QB mis à disposition. Les élèves peuvent manipuler la vitesse à laquelle le robot QB se déplace, ou encore ils peuvent décider s'ils veulent ou non activer la caméra ou le son. Il existe également un espace dédié à la discussion en ligne, mais à l'heure actuelle cette option n'est pas encore mise en service.

L'étudiant peut voir l'environnement dans lequel est le robot sur la partie gauche de l'écran de son ordinateur personnel, avec en petit en bas à droite des images vidéos correspondant au pied du robot (utile afin d'éviter les obstacles). L'autonomie de la batterie est entre 4 et 6h.



Figure 7. Le robot QB, <http://telepresencerobots.com/>

Comme le projet est en cours de réalisation, les résultats définitifs ne sont pas encore accessibles. Cependant certains retours intéressants ont été avancés. Notamment, le retour par les élèves est globalement positif. Les enfants malades rapportent être heureux de pouvoir «retourner» en cours par l'intermédiaire de ce robot. Quand il n'y a pas de problèmes techniques, les enfants réussissent à suivre les cours comme les autres et à entretenir leurs amitiés.

En France, la majorité des établissements scolaires ne possèdent pas de bornes Wi-fi. Or comme nous l'avons mentionné ci-dessus, pour que le contact s'établisse entre le robot QB piloté à distance par l'élève et les utilisateurs (i.e., camarades et enseignants), il est nécessaire d'avoir une connexion internet de bonne qualité. L'inconvénient avec une faible connexion internet est que l'audio et le visuel ne sont pas toujours fluides. Une discontinuité dans le flux audio-visuel implique une mauvaise compréhension à la fois de l'opérateur mais également de l'environnement et des utilisateurs. De plus, avec le design actuel du robot QB, les élèves ne sont pas en mesure de pouvoir lever le doigt et donc participer activement en cours. Parmi les solutions possibles, l'installation d'une lumière que l'élève pourrait activer lorsqu'il souhaiterait prendre la parole est envisageable. Par ailleurs, la tête du robot ne pouvant pas se tourner indépendamment du reste du dispositif robotique, c'est l'ensemble du robot qui se met en rotation. Une amélioration consisterait à rajouter une fonction qui permettrait à l'enfant de ne tourner que la tête du robot (e.g., nous pouvons facilement imaginer la situation où l'élève doit travailler en groupe avec le camarade d'à côté : si c'est l'ensemble du robot qui se tourne alors il faut un espace plus important et peut-être certaines difficultés de manipulation). Cependant, d'un point de vue technique, il est difficile de rajouter cette option sans compliquer la navigation du robot. Il reste également le problème du danger du robot, comme vu dans certaines études précédentes (e.g., [4]). En effet, le robot QB pourrait blesser s'il est mal piloté ou si un élève décide de bousculer le robot dans l'escalier par exemple, sachant que le robot QB pèse environ 15kg. Le robot QB possède néanmoins un système de

sécurité : quand on le bouscule un peu trop il se met à vibrer et à émettre des sons. Enfin, un élève a rapporté qu'il avait été gêné car les élèves ne venaient pas le voir pour lui-même, mais par curiosité pour le robot. Le robot QB étant plus ou moins humanoïde (avec des capteurs lasers comme si c'étaient des yeux), il attire donc l'attention des autres élèves de l'établissement scolaire. On peut aussi imputer cette curiosité à la nouveauté du dispositif.

B. Etude avec PEBBLES

En France, le projet Robot Lycéen est le seul à mettre en œuvre la robotique de téléprésence télé-opérée dans les salles de cours pour les élèves malades. Une étude de la sorte a cependant déjà été initiée au Canada [7]. Dans cette étude, trois enfants gravement malades ont pu utiliser le robot PEBBLES (Providing Education By Bringing Learning Environments to Students, [18]), pour assister à leurs cours pour une durée de 5 à 9 semaines. Ces enfants, âgés de 9 à 12 ans, souffraient d'insuffisance rénale chronique et étaient en dialyse ou soumis à une greffe de rein. Le robot utilisé pour cette étude combine une interface de visio-conférence et des éléments de robotique simples (e.g., bras mécanique qui simule une main levée, tête inclinable, figure 8). Pour chaque élève, la performance académique, l'impression du côté des adultes (i.e., enseignants, parents, personnel médical) et l'impression du côté des autres élèves de la classe ont été évalués. L'impression du côté des autres enfants de la classe a été évaluée à l'aide de deux questionnaires donnés aux élèves en début et en fin d'étude, et l'impression du côté des adultes a été évaluée environ une fois par semaine. Les indices de ces questionnaires évaluaient l'initiative (i.e., réalisation d'actions autonomes par l'élève malade), le niveau de concentration et la qualité de communication/interaction. Les résultats sont globalement positifs pour tous ces indices et pour les trois enfants testés. Les auteurs ont montré que les enfants malades ont pu effectuer les mêmes tâches que leurs camarades de classe en gardant la même concentration et la même possibilité d'interaction avec les autres élèves et l'enseignant. Un dispositif de main levable étant installé sur le robot PEBBLES, l'élève pouvait ainsi participer au même titre que les autres élèves de la classe (à la différence du robot QB dans le projet « robot lycéen »). Malgré les circonstances de vie difficiles des enfants, le robot PEBBLES a facilité leur réussite et leur a permis d'atteindre des objectifs académiques importants. L'étude pointe néanmoins que même si le robot PEBBLES est adapté dans le cadre d'une utilisation dans les écoles élémentaires, il est moins approprié dans le cadre des collèges et lycées puisque ce robot possède roulettes qui ne permettent pas à l'élève de se déplacer de façon autonome pour changer de salle. Aussi, la difficulté pour l'enseignant de transmettre ses documents à l'élève à distance a été mise en évidence, ce qui a permis l'évolution du robot en PEBBLES II.5, avec l'intégration d'un écran en plus, d'une imprimante et d'un scanner à la fois à l'hôpital et dans la salle de cours.



Figure 8. Robot PEBBLES. Fels et al. (2001)

Actuellement, de plus en plus d'écoles dans le monde investissent dans ce type de robot pour les enfants malades. Par exemple, l'école élémentaire de Voluntown aux Etats-Unis, qui accueille 300 élèves, a acheté un robot Kubi (Revolve Robotics, figure 9) pour une valeur de 499\$. Cette école met à disposition le robot Kubi à des enfants qui sont malades pour une durée prolongée. Le directeur de l'école pensait, avant de se renseigner, qu'un dispositif de ce genre était trop coûteux pour l'école, et qu'il ne pourrait supporter un tel investissement [19]. Il s'avère néanmoins que la robotique de téléprésence devient accessible au grand public, permettant à des établissements scolaires notamment de s'en doter. Bien qu'aucune étude ne soit menée sur chaque élève en particulier qui utilise un système de téléprésence télé-opérée pour suivre son cursus scolaire, de nombreux reportages ou articles sur le web émergent (e.g., [20] [21]). L'évolution des technologies, et la variété de robots existants permet de rendre accessible financièrement la téléprésence au sein des établissements scolaires. A noter que le robot Kubi ne permet pas à l'élève de se déplacer de salles (plutôt à la frontière entre vidéo-conférence et système MRP) et de ce fait coûte moins cher qu'un vrai système MRP.



Figure 9. Le robot Kubi (Revolve Robotics), <https://s3.amazonaws.com/KubiIndiegogo/side+moves.jpg>

IV. DISCUSSION

Notre travail de recherche, aux travers des études déjà menées dans ce domaine, tend à montrer que le robot lycéen, et plus généralement les systèmes de téléprésence télé-opérés utilisés à la fois dans un cadre non pathologique (i.e., apprentissage d'une langue étrangère) ou pathologique (i.e., enfants malades), seraient un investissement utile à toute école élémentaire, collège, lycée, voire même université. Il permet à un élève malade de conserver et d'alimenter ses relations sociales tout en validant les exigences académiques imposées

par son cursus scolaire. Il permet également le développement d'une nouvelle forme de pédagogie pour l'apprentissage des langues. Dans le cadre des universités, nous pouvons facilement imaginer le potentiel des robots de téléprésence télé-opérés, permettant aux étudiants de suivre des cours dans diverses facultés et/ou aux enseignants de partager leurs savoirs à différents étudiants tout en n'ayant pas à faire le déplacement entre les universités. Pour que cela se déroule sans difficulté, le système robotique doit néanmoins présenter quelques caractéristiques particulières qui permettent à l'élève de maintenir son attention pour que son apprentissage soit le plus confortable. Dans l'article de Kristoffersson et al. [3] sont exposées les principales caractéristiques qui font un bon système MRP et celles qui resteraient à améliorer. Cet article, combiné à nos recherches, nous permet d'esquisser un « portrait-robot » du « parfait » robot lycéen.

Idéalement, le robot doit présenter :

- Un dispositif de navigation autonome et pilotable (cas du robot QB idéal) ;
- Ce dispositif de navigation ne doit pas être trop complexe à piloter ;
- Une tête qui peut effectuer une rotation séparément du corps ;
- Un dispositif d'appel à participation comme une main levable ou une lumière qui peut être activée par l'utilisateur ;
- Une taille adaptable en fonction des utilisateurs en fonction des usages ;
- Une forme non humanoïde (i.e., ressemblant à un être humain réel) pour s'affranchir des curieux, et ne pas rentrer dans ce que l'on appelle la vallée de l'étrange [22] ;
- Une plate-forme informatique ergonomique ;
- Un dispositif de sécurité ;
- Un dispositif de messagerie instantanée qui permet à l'élève de communiquer avec le professeur de façon discrète ;
- Un scanner et une imprimante à la fois dans la classe et dans l'environnement de l'élève pour transmettre les documents de cours ou un port USB ;

Aussi, le robot doit être placé dans un environnement avec une connexion Wi-fi de bonne qualité pour permettre la fluidité de l'audio et du vidéo.

Au travers des différents usages possibles des systèmes MRP dans le domaine de l'éducation, nous pouvons observer que les designs sont différents. En fonction des études et des aspects étudiés (e.g., facilité d'utilisation pour l'opérateur, acceptabilité du système MRP pour les utilisateurs), différents systèmes sont exploités. Par exemple, dans les études qui se centrent sur l'apprentissage d'une langue étrangère, les systèmes MRP possèdent tous une main préhensible, alors que ce n'est pas le cas dans les études où le but est de permettre à des élèves malades de suivre normalement leur cursus scolaire. Cette différence semble pertinente. En effet, les auteurs qui étudient l'acquisition d'une langue étrangère

s'intéressent aux jeunes enfants, généralement entre 4 et 8 ans (e.g., [8]). Or l'apprentissage est plus efficace chez les jeunes enfants s'il combine la notion de jeux, donc d'action du corps [23]. A notre connaissance, il n'existe pas de travaux ou de revue de la littérature s'intéressant uniquement à la téléprésence robotique dans le domaine de l'éducation, et prenant en compte à la fois les aspects techniques au niveau de la robotique et au niveau des interactions sociales. Par aspects techniques au niveau social, il faut entendre tout ce qui concerne les différents aspects connus et étudiés dans le cadre de la psychologie sociale et de la cognition sociale qui ont de l'importance dans la qualité des interactions sociales de la vie de tous les jours. Les travaux cités précédemment prennent bien en compte l'aspect d'évaluation de la qualité des interactions, mais restent à la frontière entre les aspects sociaux (e.g., qualité de l'apprentissage) et les aspects techniques au niveau social (e.g., spatialisation des sources sonores, importance du regard, orientation spatiale du corps).

Kristoffersson et al. [24] proposent des outils afin d'évaluer la qualité des interactions entre les utilisateurs et l'opérateur. Dans leur étude, Kristoffersson et al. [24] ont étudié les interactions entre des personnes âgées et le robot Girraff télé-opéré par des professionnels de la santé. Les auteurs se sont basés sur des théories décrivant les HHI, et notamment l'orientation spatiale du corps (e.g., vis-à-vis, forme L, côte-à-côté), en ajoutant certaines configurations de HRI qui n'existent pas dans les HHI (e.g., le système MRP suit l'utilisateur, l'utilisateur suit le système MRP). Les résultats de cette étude montrent qu'il existe une relation entre l'orientation spatiale adoptée par le pilote et l'expérience de facilité d'usage qu'il en retire, et entre l'orientation spatiale adoptée par le pilote et la façon dont il se sent spatialement et socialement présent dans l'environnement et auprès des personnes âgées. Les questionnaires utilisés pour tester ces questions semblent donc adaptés à l'évaluation des interactions avec un système MRP. Cependant, les contextes d'usages ayant chacun leurs spécificités, il serait intéressant de mener le même genre d'étude dans une classe où l'on n'attend pas nécessairement le même rapport d'interaction (i.e., l'enseignant représente l'autorité pour l'élève, alors que ce n'est pas le même rapport le professionnel de la santé envers la personne âgée).

Parmi les problèmes peu évoqués dans le domaine de l'éducation, il y a par exemple la question de la spatialisation. Par exemple, si un élève dans la classe pose une question, mais que celui-ci se situe derrière ou même sur les côtés du robot lycéen, alors l'opérateur n'aura pas la possibilité de déterminer qui en est l'auteur. Or, spontanément, nous avons tendance à nous orienter vers la source sonore, et ce d'autant plus lorsqu'il s'agit d'un signal langagier, en preuve les études mettant en avant cette capacité dès l'âge de 2 mois [25]. La capacité à se concentrer uniquement sur un stimulus s'appelle l'attention sélective [26], et permet d'allouer un maximum d'attention sur ce stimulus. En parallèle, de nombreux auteurs mettent en avant que l'information visuelle est importante dans le processus de compréhension de la parole orale, d'autant plus lorsque le son est bruité [27]. Le problème de

spatialisation réfère aux difficultés du point de vue de l'opérateur à déterminer la provenance des sources sonores [28]. Si la qualité du son n'est pas idéale, et qu'en plus les élèves ne peuvent pas avoir un accès visuel à la personne qui parle, alors les capacités de compréhension et d'attention sélective diminuent. Des auteurs [29, 30] ont étudié les effets sur la localisation sonore d'un robot de téléprésence à tête amovible (TeleHead). Toshima et al. [29] montrent que les indices dynamiques dus aux mouvements de rotation de la tête améliorent la localisation du son. Dans le domaine de la compréhension du langage oral, les informations au niveau de la bouche sont importantes [31]. Cependant, la compréhension orale est meilleure quand on a accès à l'ensemble du visage plutôt qu'à la seule zone orale [32].

Parmi les autres indices que l'on peut également exploiter sur un visage, il y a notamment le regard. D'un point de vue social, le regard est important [33, 34]. Le regard comme signal social regorge d'informations utiles dans les interactions entre individus. L'importance du regard passe notamment par l'orientation de l'attention visuelle. Très souvent dans un environnement où il y a plusieurs interlocuteurs, les regards sont dirigés vers la personne qui parle, et plus spécifiquement en direction de son visage [35]. Le triangle yeux-bouche concentre le plus de fixations visuelles lors d'une interaction sociale en situation non pathologique [36]. Cela permet, comme discuté ci-dessus, d'améliorer la compréhension du message oral transmis. Le mécanisme d'orientation de l'attention visuelle vers la personne qui parle joue également un rôle important dans les relations sociales [37]. Lorsque quelqu'un s'adresse à une assemblée (e.g., l'enseignant à sa classe), et qu'on ne le regarde pas, alors on peut être considéré comme déviant. Le comportement d'évitement du regard s'observe par exemple chez les enfants diagnostiqués comme autistiques [36]. Le regard permet également le passage d'informations telles que les intentions [38]. Ainsi, dans un environnement où les gestes et mouvements sont limités, une difficulté à pouvoir observer le regard d'autrui peut ajouter au déficit potentiel de compréhension.

Pour conclure, nous pouvons dire que les robots de téléprésence télé-opérés, ou systèmes MRP, ont leur importance dans le domaine de l'éducation. Beaucoup d'auteurs centrent leur travail plutôt d'un point de vue ingénieur, c'est-à-dire comment améliorer au maximum l'interface robotique. Pour cela, les auteurs prennent en compte un certain nombre de problèmes, tels que la sécurité des utilisateurs, la facilité d'usage pour l'opérateur afin de libérer des ressources cognitives ou encore la capacité à se déplacer librement dans l'environnement. Cependant, et d'où l'apport d'une approche pluridisciplinaire, d'autres problèmes qui n'apparaissent pas de premier abord, tels que la localisation des sons ou du regard, sont peu abordés ou de manière séparée. Le but des systèmes MRP étant de permettre des interactions entre les êtres humains, il faudrait que ces interactions soient les plus proches possibles de ce que l'on observe dans la vie réelle. Une étude approfondie et

intégrative des différents aspects, à la fois techniques au niveau de la robotique mais également techniques au niveau social et psychologique dans le domaine de l'éducation permettrait de se rendre compte des différents points à traiter pour optimiser au maximum les systèmes MRP. Le projet du Robot Lycéen, en intégrant différents domaines de recherche, semble pouvoir répondre efficacement à cette approche pluridisciplinaire. Nous attendons avec impatience les résultats de ce projet.

ACKNOWLEDGMENT

Nous tenons à remercier Florian Nebout qui a pris de son temps pour nous offrir une visite originale et instructive de son entreprise dont les objets d'étude sont réellement passionnants. Nous tenons également à remercier Gérard Bailly et Sylvie Pesty pour avoir initié ce projet de recherche, pour leurs conseils et leur disponibilité.

REFERENCES

- [1] M., Minsky. 1980. Telepresence, Omni. June. 45-52.
- [2] S., Tachi, and M., Abe. 1982. Study on Tele-Existence (1): Design of Visual Display. In Proceedings of the 21st Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers (SIEC), Tokyo, Japan, July, 167-168.
- [3] A., Kristoffersson, S., Coradeschi, & A., Loutfi (2013). A review of mobile robotic telepresence. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2013.
- [4] K.M., Tsui, M., Desai, H.A., Yanco, & C., Uhlik. Exploring use cases for telepresence robots. HRI'11, March 6-9, 2011, Lausanne, Switzerland.
- [5] S., Coradeschi, A., Kristoffersson, A., Loutfi, S., Von Rump, A., Cesta, G., Cortellessa, & J. Gonzalez, (2011). Towards a methodology for longitudinal evaluation of social robotic telepresence for elderly. In 1st Workshop on Social Robotic Telepresence at HRI 2011.
- [6] <http://www.intouchhealth.com/>
- [7] D.I., Fels, J. K., Waalen, S., Zhai, & P. Weiss, (2001). Telepresence under exceptional circumstances: Enriching the connection to school for sick children. In Proc. Interact (pp. 617-624).
- [8] S., Yun, J., Shin, D., Kim, C.G., Kim, M., Kim, & M.T., Choi (2011). Engkey: tele-education robot. In *Social Robotics* (pp. 142-152). Springer Berlin Heidelberg.
- [9] <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/58543.htm>
- [10] http://www.human.jst.go.jp/en/researcher/1ki_07.html
- [11] F., Tanaka, T., Takahashi, & M., Morita (2013). Tricycle-style operation interface for children to control a telepresence robot. *Advanced Robotics*, 27(17), 1375-1384.
- [12] F., Tanaka, and T., Takahashi (2011, March). Linking children by telerobotics: experimental field and the first target. In Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction (pp. 267-268). ACM.
- [13] F., Tanaka, T., Takahashi, S., Matsuzoe, N., Tazawa, & M., Morita. Child-operated telepresence robot: a field trial connecting classrooms between Australia and Japan. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013), pages 5896-5901, Tokyo, Japan, 2013. IEEE.
- [14] F., Tanaka, T., Takahashi, S., Matsuzoe, N., Tazawa, & M., Morita (2014, March). Telepresence robot helps children in communicating with teachers who speak a different language. In Proceedings of the 2014

- ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction (pp. 399-406). ACM.
- [15] S., Yarosh, K.M., Inkpen, & A.J., Brush (2010, April). Video playdate: toward free play across distance. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1251-1260). ACM.
- [16] S., Junuzovic, K., Inkpen, T., Blank, & A., Gupta., (2012, May). IllumiShare: sharing any surface. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1919-1928). ACM.
- [17] Robot QB : <https://www.anybots.com/the-future-of-telepresence-anybots-qb/>
- [18] Robot PEBBLES: <http://www.rverson.ca/pebbles/> . Visité le 15 janvier 2015.
- [19] Article "Robot brings classroom to sick students", dans la version en ligne The Bulletin. <http://www.norwichbulletin.com/article/20141109/News/141109566>. Visité le 15 janvier 2015.
- [20] Article « Robots help sick kids go to school », dans la version en ligne de CNET. <http://www.cnet.com/news/robots-help-sick-kids-go-to-school/> . Visité le 15 janvier 2015.
- [21] Article « Robots allow sick children to attend school 'in person' », pardu dans la version en ligne de KHOU. <http://www.khou.com/story/news/local/2014/07/23/12045114/> . Visité le 15 janvier 2015.
- [22] M., Mori, K.F, MacDorman & N., Kageki, (2012). The uncanny valley [from the field]. *Robotics & Automation Magazine*, IEEE, 19(2), 98-100.
- [23] I.P., Samuelsson, & M.A., Carlsson (2008). The playing learning child: Towards a pedagogy of early childhood. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 52(6), 623-641.
- [24] A., Kristofferson, K.S., Eklundh & A., Loutfi (2013). Measuring the quality of interaction in mobile robotic telepresence: a pilot's perspective. *International Journal of Social Robotics*, 5(1), 89-101.
- [25] A., Vouloumanos, and J.F., Werker. (2004). Tuned to the signal: the privileged status of speech for young infants. *Developmental science*, 7(3), 270-276.
- [26] A.M., Treisman. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological review*, 76(3), 282.
- [27] C., Benoit, T., Mohamadi, & S., Kandel. (1994). Audio-Visual Intelligibility of French. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 1195-1203.
- [28] N., Durlach. (1991). Auditory localization in teleoperator and virtual environment systems: Ideas, issues, and problems. *Perception*, 20(4), 543-554.
- [29] I., Toshima, S., Aoki, & T., Hirahara. (2004, September). An acoustical tele-presence robot: TeleHead II. In *Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004)*. Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on (Vol. 3, pp. 2105-2110). IEEE.
- [30] I., Toshima, and S., Aoki. (2006, October). The effect of head movement on sound localization in an acoustical telepresence robot: TeleHead. In *Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 872-877). IEEE.
- [31] C., Benoit, T., Guiard-Marigny, B., Le Goff, & A., Adjoudani. (1996). Which components of the face do humans and machines best speechread?. In *Speechreading by humans and machines* (pp. 315-328). Springer Berlin Heidelberg.
- [32] S.M., Thomas, and T.R., Jordan. (2004). Contributions of oral and extraoral facial movement to visual and audiovisual speech perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(5), 873.
- [33] N.J., Emery. (2000). The eyes have it: the neuroethology, function and evolution of social gaze. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 24(6), 581-604.
- [34] R.J., Itier, & M. Batty. (2009). Neural bases of eye and gaze processing: the core of social cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(6), 843-863.
- [35] J.N., Buchan, M., Paré, & K.G., Munhall. (2007). Spatial statistics of gaze fixations during dynamic face processing. *Social Neuroscience*, 2(1), 1-13.
- [36] A. Klin, W., Jones, R., Schultz, F., Volkmar, & D., Cohen. (2002). Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Archives of general psychiatry*, 59(9), 809-816.
- [37] A., Frischen, A.P., Bayliss, & S.P., Tipper. (2007). Gaze cueing of attention: visual attention, social cognition, and individual differences. *Psychological bulletin*, 133(4), 694.
- [38] L. Nummenmaa, and A.J., Calder. (2009). Neural mechanisms of social attention. *Trends in cognitive sciences*, 13(3), 135-143.

Les robots sociaux doivent-ils être humanoïdes ?

Dans le cadre du cours de cognition, affects et interaction 2014-2015

Pierre Schefler, Maxime Dickerson et Mathieu Charre

Master AST
Grenoble
22 janvier 2014

Résumé—Dans ce papier, nous tentons de répondre à la question de l'intérêt de l'apparence humaine pour le robot social. Nous commençons par proposer une méthode pour différencier les robots humanoïdes des autres, puis nous faisons un état de l'art des études qui traitent du sujet avant de discuter des arguments proposés. Au final, il semblerait que l'apparence humaine ne soit pas une nécessité pour le robot social.

Mots clés—robot social, humanoïde, non humanoïde.

I. INTRODUCTION

A l'heure actuelle, une grande partie de la recherche en robotique est concentrée sur les robots sociaux, une thématique dont les enjeux sont incontestables. Néanmoins, on remarque que les robots utilisés sont systématiquement humanoïdes. En effet, l'idée que les robots sociaux doivent être humanoïdes est très largement acquise sans être pour autant remise en cause. Nous tenterons donc d'apporter une réponse à cette question très peu abordée.

II. CARACTÉRISATION D'UN ROBOT HUMANOÏDE

A. Les critères de sélection

Avant de confronter les robots humanoïdes à leurs opposés, il est essentiel de pouvoir les différencier. *Stricto sensu*, le terme « humanoïde » signifie « ressemblant à l'humain ». Cette définition est assez vague. En effet, un robot qui aurait deux bras et deux jambes mais pas de visage serait-il humanoïde ? Un robot avec tous les membres d'un être humain, y compris la tête, mais sans peau, sans ongles, sans cils et sans sourcils ; est-il humanoïde ?

Pour répondre à ce problème, nous avons établi arbitrairement une liste de critères. Les critères sont du type « a deux bras » ou « a deux yeux » et sont donc binaires. Si tous les critères sont remplis, le robot est au maximum de l'échelle, il ressemble donc parfaitement à un humain.

Il est important de noter que le mot « humanoïde » ne concerne que les caractéristiques morphologiques du robot. Ainsi, on ne cherche pas à savoir si un robot sait correctement parler ou reconnaître un visage. Seuls les aspects phénotypiques nous intéressent.

Au total, nous avons retenu 29 critères. Nous avons également attribué un poids de 0 à 5 à chacun d'entre eux. En effet, avoir des doigts est plus important qu'avoir des ongles. De manière générale, les critères n'ont pas tous la même

importance pour qualifier un robot d'humanoïde. Voici la liste finale des critères et de leur poids associé :

TABLE I. CRITÈRES ET PONDÉRATION ASSOCIÉE POUR LA CARACTÉRISATION D'UN ROBOT HUMANOÏDE

Critères	Poids
2 Pieds	1
2 Jambes	4
Locomotion	4
Genoux	2
Tronc	5
2 Bras	5
Coudes	2
2 Mains	5
Poignets	3
Doigts	4
5 doigts	3
Phalanges	2
Ongles	1
Cou	2
Tête	5
Bouche	5
Lèvres	3
Mouvements mâchoire	4
Nez	3
Narines	1
2 Yeux	5
Iris	1
Paupières	1
Cils	1
Sourcils	2
2 Oreilles	3
Cheveux	2
Peau	3
Proportions humaines	5

On peut faire plusieurs remarques au sujet de ces critères. Tout d'abord, le critère « 2 jambes » est accompagné du critère « locomotion » car si un robot n'a qu'une seule jambe (comme Pepper), il n'a certes pas deux jambes mais a tout de même le bas du corps, contrairement à un robot qui pourrait ne rien avoir du tout. En outre, la locomotion étant quasi-systématiquement associée au bas du corps, cela a été associé à ce terme.

Le critère « mouvements mâchoire » est présent pour différencier les robots qui parlent mais dont la bouche reste fixe, de ceux qui ont véritablement une bouche capable de se déformer.

Le critère « proportions humaines » est assez vague et très subjectif. On peut le paraphraser en « ce robot a-t-il l'air humain ? ». C'est une façon d'apporter un peu de jugement humain et variable dans cette liste de critères très cartésienne.

On peut critiquer cette liste pour plusieurs raisons. Tout d'abord, parce que la sélection des critères et l'attribution de leurs poids est parfaitement arbitraire. Ensuite, si on rentre dans les détails, on se rend compte que ces critères ne permettent pas de différencier les robots avec un écran sur la tête qui affiche virtuellement les éléments du visage d'un robot qui les a vraiment. Or, il va sans dire que le second a l'air plus humain que le premier. En outre, presque tous les critères sont statiques, à part « locomotion » et « mouvements mâchoire ». Or, un humain se différencie fortement d'un robot par ses mouvements fluides. Néanmoins, on peut rétorquer que le mot « humanoïde » ne concerne que l'apparence, et que l'on sort donc du sujet. Mais il est rare de ne pas voir un robot bouger, et donc, influencer notre jugement. De la même manière, rien ne différencie un robot aux membres bien dessinés et élégants d'un robot très carré avec des airs de Lego. Pourtant, pour les mêmes attributs, le premier aura l'air beaucoup plus humain.

Nonobstant ces approximations, cette liste permet de placer les robots sur un axe qui juge leur ressemblance avec l'être humain.

B. Étude des critères

En ce sens, nous avons soumis ces critères à 33 robots différents. La plupart des robots existent déjà ou vont bientôt être disponibles, comme Nao ou Pepper, certains ne sont pas spécialement voués à une utilisation commerciale, comme les Geminoids, et certains sont même directement issus de la fiction, comme Tars (Interstellar) ou David (IA, le film). Ces deux derniers représentent à quelque chose près les extrêmes au sens où Tars est quasiment non-humoïde (à part pour la locomotion) et David est complètement humanoïde.

Pour chaque robot, nous avons donc évalué les 29 critères puis proposé une note personnelle. Il en résulte la moyenne pondérée des critères, qui donne une première note, et la moyenne de nos trois notes personnelles, qui donne une seconde note, afin de réaliser une première évaluation de notre liste de critères par rapport à une réponse humaine directement. Le graphique regroupant les résultats est disponible ci-contre.

Tout d'abord, si on s'intéresse aux résultats de la notation avec les critères, on remarque que la plupart des robots se situent entre 2 et 3 sur 5. Les quelques-uns qui arrivent à dépasser 3 ou 4 sont en général ceux qui possèdent une tête avec un visage assez détaillé. Et puisqu'en général, on n'a pas de tête sans le reste (à part Mero), ils ont un score élevé.

Ensuite, bien que les notes personnelles ne soient pas très représentatives puisque l'échantillon n'était que de trois personnes, on peut tout de même noter une certaine corrélation avec les résultats obtenus en suivant les critères. Les robots pour lesquels la différence est forte mettent cependant en avant les défauts repérés dans la sous-partie précédente. Par exemple, le robot Johnny 5 obtient la note de 2.59/5 car il possède la plupart des membres d'un humain ainsi que des yeux, mais il est très carré et dans des proportions non-humaines. On ne peut pas dire qu'il ressemble à un humain, ce que traduit la note personnelle à 0.5/5.

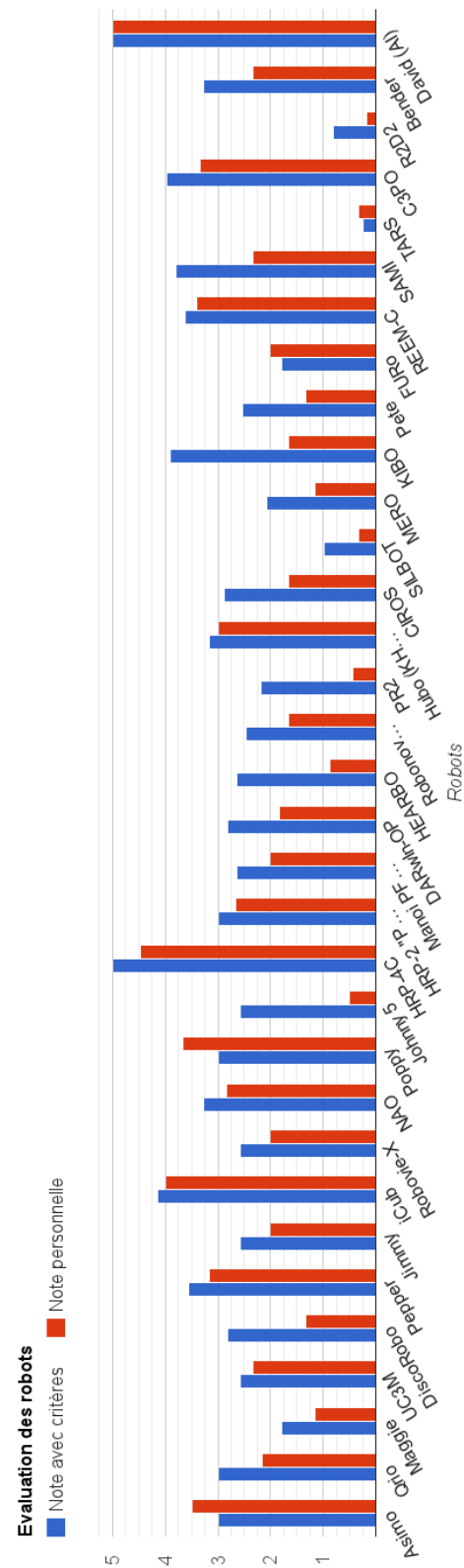


Fig. 1. Evaluation du caractère humanoïde des robots

capable de percevoir et réagir à son entourage. Il peut être socialement “intelligent”, imitant l’intelligence sociale de l’Homme. Ou tout simplement “sociable”, capable d’initier le contact avec son entourage pour satisfaire un but intérieur. Dans ces trois cas, le robot doit être capable d’aptitudes sociales, qui doivent dépendre de sa fonction. Plusieurs critères permettent de déterminer de quelles aptitudes un robot donné aura besoin : la fréquence de contacts avec l’Homme, la possible nécessité d’adaptation en temps réel à son environnement, ainsi que la nature, variété et complexité des tâches qu’il aura à effectuer. Par exemple, un robot “compagnon” (robot social aidant aux tâches quotidiennes) aura un contact long et répété avec l’humain. Il peut avoir à effectuer un nombre de tâches limité, mais doit être capable de communiquer, pour devenir éventuellement un véritable compagnon - son rôle est donc plus proche de l’Homme que de la machine outil dans ses capacités d’interaction. Ces aptitudes sont donc essentielles pour un robot social.

S’il apparaît important de définir ce qu’est un robot social, il semble également primordial ici de spécifier ce qu’est un robot “humanoïde” selon les spécialistes. Il n’y a aucune méthode de différenciation standard, ce que pourrait être notre proposition en première partie par exemple. L’attribution du caractère humanoïde du robot est donc uniquement laissé à l’appréciation du chercheur. Certaines définitions s’arrêtent à décrire l’humanoïde comme un être dont la structure corporelle ressemble à celle de l’humain (une tête, un tronc, des jambes, des bras et des mains), tandis que d’autres le pensent comme étant proche de l’Homme tant physiquement qu’en termes de comportement. Ce qui différencie physiquement le robot humanoïde des autres robots est donc principalement la bipédie, et la capacité de marcher de façon stable [1]. C’est en grande majorité ce qui est retenu dans les études que nous allons citer. Voyons maintenant si cette caractéristique, chez un robot social, peut jouer un rôle ; et si oui, si elle est un avantage ou au contraire une source de complications.

B. Avantages de l’humanoïde

Selon Riku Hikiji et Shuji Hashimoto [2] les robots humanoïdes sont primordiaux pour permettre de dépasser le simple stade de robot “d’usine”. Le développement du robot social va amener à dépasser ce stade où le robot remplace l’homme, pour arriver à un robot interagissant avec lui. En partant du constat que la main est une “interface” intuitive d’interaction, ils ont développé un robot humanoïde capable, grâce à des capteurs situés sur ses mains mais également sur le reste du corps, d’accompagner une personne, voire de la guider quand un obstacle se présente. De nombreuses études s’accordent à dire que pour un robot “compagnon”, l’aspect humanoïde est un avantage. Comme le dit le Dr. K. Guðmundsson [3], il paraît logique que dans un monde construit par l’homme, créer un robot à son image facilite son adaptation. Monter des escaliers sans jambes, ouvrir une porte sans mains sont des tâches qu’un robot compagnon non humanoïde aurait du mal à effectuer. Créer un robot dynamique et capable de remplir différentes fonctions implique de penser un système capable de s’adapter au monde moderne. Le chercheur évoque un autre avantage aux robots sociaux humanoïdes : si dans un futur proche ceux-ci venaient à se démocratiser et être présents dans une grande partie de nos foyers, il faudrait alors que chaque propriétaire d’un de ces robots sociaux puisse l’utiliser et interagir avec. Ceci implique

qu’un entraînement minimal soit nécessaire, et l’aspect humanoïde permettrait de rendre l’interaction plus intuitive.

Un ensemble de chercheurs et psychologues a également mené une étude sur le robot social humanoïde, et notre capacité à ressentir des émotions à leur égard [5]. Le Robovie, robot de l’entreprise Vstone, était ici chargé d’accueillir et encadrer les sujets de l’expérience pendant qu’ils effectuaient une tâche de reconnaissance d’objets. Étant en réalité contrôlé humainement, selon le principe du “Wizard of Oz”, le robot allait jusqu’à faire de l’humour, et complimenter les sujets sur leurs chaussures. Dans la majorité des cas (plus de 70%), les sujets avouaient après coup avoir ressenti de l’affection ou au contraire de la rancœur envers le robot. Cette rancœur était due au fait que le robot se trompait volontairement dans l’appréciation des résultats des sujets, les privant de la récompense financière promise. Il est intéressant de noter ici que deux tiers des sujets considéraient le robot comme étant moralement responsable de cette erreur ; résultat intermédiaire entre ceux qu’obtiendraient un humain et une simple machine. Cette étude montrait enfin que la plupart des sujets s’engageaient socialement avec le robot, essayant parfois en arrivant de lui serrer la main (ce qui corrobore l’observation faite plus haut sur l’importance des mains dans l’interaction sociale). L’aspect humanoïde semble donc ici faciliter l’acceptation du caractère social du robot. Notons enfin que Kahn, un des psychologues ayant mené l’étude, a défini à la suite des résultats de cette expérience ce qu’il appelle une “New Ontological Category”. Selon lui, l’apparition des robots sociaux va faire émerger une nouvelle catégorie ontologique d’êtres, quelque part entre les êtres vivants et les machines classiques. Une catégorie capable d’empathie, de penser, vivre socialement etc. Une catégorie déjà présente pour certains, puisque 50% des sujets considéraient Robovie comme étant quelque chose entre un être vivant et une technologie.

Si certaines études considèrent les robots humanoïdes comme intrinsèquement aptes à devenir sociaux, d’autres avancent que cette caractéristique n’est pas nécessaire, voire qu’elle peut même être un désavantage.

C. Inconvénients de l’humanoïde

Ainsi, le Dr. K. Guðmundsson, dans le même article que celui cité précédemment [3], avance que le fait qu’un robot soit humanoïde peut avoir un effet négatif sur son utilité. Sa taille et sa morphologie l’empêcheront par exemple d’accomplir certaines tâches (aller dans certaines endroits, soulever certaines charges etc). La plupart des robots tireraient profit d’être conçus spécialement pour leurs futures fonctionnalités, leur esthétique n’ayant dans ce cas pour but que d’en faire de “beaux” produits. Il n’y a souvent aucune utilité à créer un robot qui soit humanoïde ; cela pourrait même déranger de voir ceux-ci accomplir certaines tâches que l’on considérerait comme dangereuses ou dégradantes pour un humain. Cela ne s’applique néanmoins qu’aux robots d’aide à la personne dont les tâches peuvent être multiples et complexes, et pas forcément à tous les robots sociaux. Par ailleurs, une étude anglaise montre que les enfants autistes sont plus enclins à interagir socialement avec des robots non humanoïdes [6]. Une dernière étude, citée par le Dr Goetz de l’Université de Berkeley [4], vient encore apporter une nuance à ce que peut procurer l’anthropomorphisme à un robot. Dans cette expérience, les sujets préféraient systématiquement, pour effectuer une tâche donnée, le robot dont l’apparence humaine

correspondait à la sociabilité requise pour l'effectuer, indépendamment de sa ressemblance avec l'humain. Chercher à tout prix à créer un robot ressemblant autant que faire ce peu à l'être humain n'est selon eux pas nécessairement utile. Ce qui pouvait donc être perçu comme une qualité par certains ne le sera pas forcément par d'autres. Comme le dit Kerstin Dautenhahn (de l'Université de Hertfordshire) [7], tout comme il n'y a pas une voiture faite pour tous, les gens ne seront pas tous attirés par le même robot, ou le même type de robot, qu'il soit humanoïde ou non.

Ceci étant, l'aspect humanoïde n'est souvent ni un défaut, ni une qualité. Une étude montre que les enfants en bas âge attribuent des facultés mentales à des objets non humanoïdes, y compris des robots, quand ils peuvent interagir avec [8]. A partir du moment où le comportement du robot semble cohérent avec une réponse à leurs propres actions, les enfants semblent le considérer comme capable de penser, d'agir socialement. Par ailleurs, une conférence lors du European Robotics Forum de 2014 a évoqué ce sujet, avançant que le caractère humanoïde d'un robot ne suffit en aucun cas à impliquer une interaction sociale avec l'humain, ou du moins avec l'enfant ; il lui faut un comportement intelligent et autonome, ainsi que la possibilité de parler.

IV. ANALYSE ET DISCUSSION

On peut noter que les deux arguments principaux en faveur des robots humanoïdes sont qu'il sera plus facile pour eux de s'adapter au monde des humains s'ils ont une forme humaine et, de la même manière, qu'il sera plus facile pour les humains de s'adapter à eux. Néanmoins, en ce qui concerne le premier argument, on peut remarquer que les avions n'ont pas besoin d'ailes pour voler. Certes, pour des considérations aérodynamiques, leur forme en est inspirée, mais l'analogie impose tout de même de se questionner sur la nécessité d'avoir une forme véritablement humaine pour s'adapter au monde des Hommes. En outre, le second argument ne semble pas complètement confirmé par les études. Dans l'ensemble, certes, on ne trouve rien qui dise qu'être humanoïde est véritablement un désavantage pour le robot, sauf, peut-être, pour certaines tâches utiles mais qui sortent quelque peu de la problématique du robot social. En revanche, on peut souvent lire qu'être humanoïde n'est pas forcément utile, en particulier avec les enfants, dont la naïveté et l'innocence favorisent certainement le contact avec des formes inconnues.

Dans l'ensemble, il ne semble pas absurde de remettre en question l'utilité de la forme humanoïde pour un robot social. Certains vont jusqu'à remettre en question l'utilité même de la forme pour un robot social. Notons que la désignation « robot » devient donc discutable. Néanmoins, selon Satomi Sugiyama (du Franklin College en Suisse) [9], l'époque où les robots sociaux humanoïdes joueront un rôle important dans notre quotidien n'est pas aussi lointaine que ce que l'on pense. Il explique que la combinaison de l'anthropomorphisation progressive de la technologie et l'incorporation massive de celle-ci dans notre quotidien, notamment avec les smartphones et aux périphériques intelligents, prépare le terrain pour cette arrivée des robots sociaux, puisqu'elle provoque une modification de notre façon de ressentir, de vivre ; elle induit une réduction de la distance entre naturel et artificiel. La limite entre les deux devient floue. Abondant dans le même sens, Vincent et Sugiyama, ayant effectué une étude sur de jeunes japonais, avancent que notre relation aux technologies

actuelles, et plus particulièrement à notre téléphone qui nous permet de véhiculer ou ressentir des émotions, en font un robot social personnalisé, voire une extension artificielle de notre corps, réduisant la distance entre robot social et être humain.

Ce n'est pas pour autant que l'on doit faire de notre téléphone notre « robot » compagnon et renoncer à toute forme. On peut appliquer cette analyse aux robots sociaux qui ont une certaine corpulence. En effet, la dématérialisation des relations et l'éloignement des démonstrations publiques d'affection ont ainsi causé une implication de plus en plus importante de la technologie dans nos vies affectives, ouvrant également la voie à une acceptation des robots comme partenaires sociaux, que ceux-ci soient humanoïdes ou simplement considérés comme intelligents. Selon Halpern & Katz, notre expérience en ligne et notre sociabilisation via les appareils électroniques, manquant de frontières et définitions nettes, ont rendu encore plus floue la limite entre interlocuteur naturel et artificiel, amenant à attribuer aux robots des caractéristiques humaines.

En définitive, la question de la forme humanoïde pour un robot social reste entièrement ouverte, contrairement à ce qui semble se produire dans la recherche, étant donné l'engouement pour les robots à forme humaine. Néanmoins, une fois les technologies développées pour faire des robots parfaitement humanoïdes, que restera-t-il à faire ? Les rendre humains. C'est à dire : leur donner des capacités cognitives, des capacités émotionnelles, une intelligence, etc. Ces problématiques sont très denses et les réponses n'arriveront pas tout de suite. En parallèle, il semble donc compréhensible de vouloir avancer sur des défis peut-être moins essentiels, mais certainement moins laborieux, comme l'anthropomorphisation des robots.

RÉFÉRENCES

- [1] [1] C. Balaguer, "Why humanoid robots" University Carlos III of Madrid [http://www.robot.uji.es/documents/iurs06/documents/Balaguer_b.pdf]
- [2] R. Hikiji et S. Hashimoto, "Hand-shaped force interface for human-cooperative mobile robot", *Haptic Human-Computer Interaction*, S. Brewster et R. Murray-Smith, Springer Berlin Heidelberg, 2001, pp 76-87 [http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-44589-7_9]
- [3] K. Guðmundsson, "Are human like robots a necessity?"; [http://dbdresearchinstitute.com/are-human-like-robots-a-necessity/]
- [4] J. Goetz, "Matching robot appearance and behavior to tasks to improve human-robot cooperation", *Robot and Human Interactive Communication*, IEEE, 2003, pp 55-60 [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1251796&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1251796]
- [5] Peter H. Kahn, Jr., Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Brian T. Gill, Jolina H. Ruckert, Solace Shen, Heather E. Gary, Aimee L. Reichert, Nathan G. Freier, Rachel L. Severson, "Do People Hold a Humanoid Robot Morally Accountable for the Harm It Causes?" [http://depts.washington.edu/hints/publications/Robovie_Moral_Accountability_Study_HRI_2012_corrected.pdf]
- [6] Robins, Ben, Dautenhahn, Kerstin, Dubowski, Janek, "Does appearance matter in the interaction of children with autism with a humanoid robot?", *Interaction Studies*, Volume 7, Number 3, John Benjamins Publishing Company, 2006, pp 509-542 [http://www.ingentaconnect.com/content/jbp/is/2006/00000007/00000003/art00012]
- [7] K. Dautenhahn, "Socially intelligent robots: dimensions of human-robot interaction", 2007 [http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/362/1480/679.short]

- [8] K. Yamamoto , S. Tanaka, H. Kobayashi, H., K. Hashiya, A Non-Humanoid Robot in the “Uncanny Valley”: Experimental Analysis of the Reaction to Behavioral Contingency in 2–3 Year Old Children”, 2009 [http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0006974]
- [9] S. Sugiyama, “Social Robots and Emotion: Transcending the Boundary Between Humans and ICTs”, 2013 [http://www.fus.edu/intervalla/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=13]

Une Relation Homme-Robot à Long Terme est-elle Possible ?

Laurie Valdez, Pierre Girardeau

Résumé—Dans cet article, nous dressons d’abord un tableau de quelques applications possibles du robot social dans la vie quotidienne. Nous analysons ensuite les caractéristiques comportementales et émotionnelles nécessaires à la construction d’un bon robot social. Enfin, nous discutons des limites et enjeux qui se posent actuellement concernant la possibilité d’une relation homme-robot à long terme.

I. INTRODUCTION

Le terme “robot” a été créé par l’écrivain Karel Capek, à partir du mot slave “robot” signifiant “travail”. A l’origine, les premiers robots sont construits pour réaliser des actions programmées et répétitives, essentiellement dans le domaine industriel. Le robot permet d’effectuer certaines tâches de manière plus rapide, plus précise et plus efficace – et donc plus rentable en terme de productivité et d’économie – que ne saurait le faire l’humain. L’essor technologique, le progrès technique et scientifique vont ensuite étendre les capacités de la robotique à des domaines de plus en plus variés, tels que l’agriculture, la médecine ou l’armée. Les robots vont donc acquérir progressivement une certaine autonomie, leur permettant de se déplacer seuls, de coordonner la vue et le geste pour construire des cartes de leur environnement et ainsi s’adapter à des milieux changeants ou hostiles et de prendre des décisions. La recherche en robotique tend actuellement à reformuler la définition originelle du robot. Ce dernier n’est plus seulement un esclave, utilisé à des tâches industrielles ou de service. Le robot entre peu à peu dans le quotidien et devient un accompagnateur. Si ce dernier reste encore aujourd’hui un outil de divertissement ou d’aide au quotidien de certaines personnes, le robot pourrait devenir dans un futur imminent un véritable « ami ».

II. ROLE DES ROBOTS AU QUOTIDIEN

Avant de voir quelles sont les caractéristiques d’un bon robot social, nous allons d’abord nous intéresser aux applications possibles de ceux-ci dans la vie de l’homme.

A. Interaction robot-enfant

Les robots ont un succès particulier auprès des enfants, ils sont très réceptifs aux peluches animées et autres jeux robotisés. Ainsi, les robots sociaux ont un potentiel énorme dans le domaine de l’aide au développement et de la communication de l’enfant. Plusieurs expériences ont été réalisées pour tester le niveau d’acceptation des robots chez les enfants et leur propension à établir une relation avec eux. Sébastien Saint-Aimé a dirigé l’une d’elle ou un robot peluche

était contrôlé par un humain. Les enfants étaient en grande partie susceptibles de devenir amis avec le robot, mais l’expérience n’était pas assez longue pour le démontrer. Il a noté que les caractéristiques nécessaires pour que l’enfant apprécie le robot sont moins nombreux que pour un adulte, mais qu’un robot social devait absolument être capable d’expressions faciales. En effet, même sans permettre une relation à long terme, elle permettait d’apporter de la joie et du réconfort aux enfants.

Paul Baxter a également réalisé une étude avec des enfants atteints de diabète. Les robots avaient pour but de leur apprendre les comportements importants pour leur santé. Il a montré que les robots avaient une influence positive sur les enfants. Cependant, comme dans l’étude précédente, il faut encore tester si la relation à long terme est possible en exposant les enfants au même robot durant des épisodes multiples et étalés sur la durée.

B. Robots enseignants

Un autre domaine où les robots peuvent être utiles est l’enseignement. Il s’agit d’un enjeu économique important car les classes sont aujourd’hui bien souvent trop nombreuses ce qui ne permet pas un apprentissage adapté à chaque élève. De plus, un robot social spécifique peut prendre en charge les enfants atteints de maladies telles que l’autisme, qui les empêchent d’avoir des contacts sociaux habituels. Les robots sont particulièrement intéressants pour l’apprentissage, les caractéristiques intrinsèques des robots, qui présentent des éléments de hautes technologies, sont déjà de formidables moyens d’inciter les élèves à s’intéresser à la science. Ils fascinent les élèves et les motivent. Leur forme et leur volume dans l’espace est un outil à prendre en compte dans l’apprentissage. Julien Alexandre a ainsi développé un moyen pour apprendre des propriétés géométriques basiques, telles que le théorème de Pythagore, à de jeunes enfants, en utilisant un robot cubique qui se déplace dans l’espace.

Mais le véritable enjeu réside dans le robot humanoïde professeur, qui est capable de gérer une classe. Didier Roy a réalisé l’expérience grâce à un robot sophistiqué. Il a ensuite interrogé les élèves pour établir les différences avec un enseignement classique. La plupart des élèves ont apprécié l’expérience et ont rapporté éprouver moins de stress lorsqu’ils étaient interrogés par le robot que lorsqu’ils étaient interrogés par une personne. Les élèves ont beaucoup progressé et étaient plus actifs qu’habituellement. Dans l’expérience, le robot se mettait parfois en position d’élève et demandait aux enfants de lui expliquer quelque chose qu’il ne comprenait pas. Les

enfants, devenus professeurs ont pu ainsi comprendre ce qu'ils avaient appris de façon plus approfondie en l'expliquant au robot.

La composante sociale intervient surtout dans la motivation que le robot peut apporter aux élèves. En effet, dans son article fondateur sur le robot social, Rosalind Picard nous décrit l'expérience d'un personnage virtuel, Laura, qui motive les sujets à faire du sport. De la même façon, un robot « bienveillant », qui dispose des bonnes caractéristiques sociales, pourra motiver les élèves à apprendre et s'améliorer. L'enseignement est beaucoup basé sur la motivation et avoir un professeur avec lequel on est « ami » est bien plus intéressant et efficace pour apprendre.

C. Robots et personnes âgées

De nos jours, la prise en charge des personnes âgées est une question importante. En effet, leur nombre va augmenter de manière significative d'ici une vingtaine d'années et nous devons construire de nouveaux systèmes pour les accueillir et prendre soin d'eux. De plus, dans les maisons de retraite actuelles, les résidents rapportent un manque d'interactions sociales positives et qui ont du sens. Les robots sociaux ont donc un grand potentiel de développement pour l'aide aux personnes âgées. Il sera possible de les utiliser pour les occuper, encourager la réhabilitation physique et l'entraînement ou prendre soin des personnes ayant des incapacités cognitives ou sociales. Il est également possible de les utiliser en réseau avec les services de santé, pour avoir directement les informations nécessaires en cas d'urgence, ou simplement pour un suivi quotidien de l'état de santé des utilisateurs.

Dans son article, Will Taggart nous décrit l'expérience qu'il a réalisée avec Paro, un robot peluche de la forme d'un bébé phoque, qu'il a mis en interaction avec des personnes âgées. Le robot a une influence positive sur la dépression. Sans effectuer de tâches particulières, le robot agit comme agent de conversation et de compagnie. Dans l'expérience, plusieurs réactions typiques d'une interaction sociale, telles que l'engagement et les marques d'affection, ont été notées chez les participants, ce qui montre la possibilité de faire de Paro un compagnon à long terme. Dans cette expérience particulière, le robot prend l'apparence et le rôle d'un animal de compagnie. L'utilité des chats et des chiens a été démontrée dans les maisons de retraite. Ici, grâce au robot, on obtient les mêmes avantages sans les inconvénients (soin des animaux, nourriture, allergies...). De plus, l'expérience a démontré que le robot est considéré comme différent d'une simple peluche pour les résidents. En effet, les interactions sont significativement différentes lorsque le robot est allumé que lorsqu'il est éteint. Les utilisateurs sont bien plus engagés dans la « relation » si le robot est animé que lorsqu'il est inerte.

Ainsi, le robot social a de nombreuses applications possibles dans divers domaines. Cependant, il convient de se demander quelles sont les caractéristiques nécessaires pour créer un bon robot social.

III. RELATION HOMME-ROBOT A LONG TERME

L'homme est un animal social, il a besoin d'être au contact d'autres personnes pour s'épanouir. De plus, les relations sociales ont un impact positif sur l'homme dans divers domaines. Ainsi, Rosalind Picard a démontré que le comportement d'un robot destiné au conseil sportif peut avoir un impact sur les performances sportives des utilisateurs, c'est la raison pour laquelle on peut envisager un robot qui puisse tenir ce rôle d'ami.

A. Caractéristiques comportementales d'un robot social

L'homme est capable d'attribuer une conscience à des objets, telles qu'une voiture. Une relation sociale avec un robot est donc possible. Cependant, nous devons nous intéresser aux éléments nécessaires pour qu'une telle relation se mette en place.

L'un des problèmes majeurs pour établir la relation est l'acceptabilité du système par les utilisateurs dans leur vie quotidienne. De même, la machine doit être un humain crédible. Cette crédibilité est obtenue grâce à l'apparence d'une réactivité, de buts, de compétences sociales et d'émotions. Cependant, il ne suffit pas qu'un robot soit crédible et de l'accepter dans notre vie quotidienne pour un faire un « compagnon », de même, il ne suffit pas qu'un robot puisse avoir une conversation et exprimer des émotions pour établir une relation.

Pour pouvoir établir quelles sont les caractéristiques que doit avoir un robot pour être un bon compagnon, il est nécessaire de s'intéresser aux relations sociales humaines. Rosalind Picard expose les différentes caractéristiques qui permettent une relation amicale : le fait de pouvoir compter sur l'autre, la stabilité et la possibilité d'ancrage pour les croyances et les émotions, l'opportunité de parler de soi-même et d'exprimer ses sentiments, le support physique, psychologique et émotionnel, la réassurance de sa propre valeur ainsi que l'opportunité d'aider. Il existe des comportements généraux qui permettent de renforcer une relation humaine : le fait d'exposer qui on est, ce que l'on pense et ce que l'on ressent, l'humour, le fait de parler du passé et du futur commun ainsi que des connaissances mutuelles, parler de ce qu'on a fait pendant la séparation, augmenter les similitudes et diminuer les différences. De même, il y a des comportements plus spécifiques à la discussion : continuer la conversation, parler tour-à-tour, se saluer, rester dans une distance proche, orienter son corps et sa tête vers l'autre, se pencher en avant, regarder l'interlocuteur dans les yeux, sourire, montrer une expression faciale plaisante, acquiescer ainsi qu'avoir une posture ouverte. Tout ces comportements montrent l'engagement dans l'interaction et sont important pour une bonne relation.

Ces comportements doivent être pris en compte pour construire un robot social. En effet, certains comportements déjà utilisés par des agents relationnels virtuels ont montré que l'utilisateur projette une conscience sur le robot et que les codes sociaux s'appliquent également dans le domaine du virtuel. Par exemple, la flatterie est appréciée par les utilisateurs, les ordinateurs qui complimentent les autres et non eux-mêmes sont préférés alors que ceux qui critiquent les autres et ne s'autocritiquent pas sont moins appréciés. On

remarque également que les utilisateurs préfèrent les ordinateurs qui leur ressemblent en personnalité (utilisation des mêmes mots).

Ainsi, le robot compagnon doit disposer de certaines caractéristiques indispensables : des capacités sociocognitives, une possibilité de communication avec l'homme dans un langage simple pour lui, ils doivent apprendre de nouvelles choses par l'imitation et comme élève de l'homme, mais également connaître les états psychologiques possibles de l'homme. Enfin, le comportement du robot ne doit pas être trop prévisible. Il doit donc pouvoir se faire une représentation interne des relations et des personnes et non pas exécuter des comportements préprogrammés

B. Composantes émotionnelles dans la relation homme-robot

Pour qu'une relation à long terme entre un robot et un humain soit possible, il faut que s'instaure un attachement de l'homme pour que le robot devienne « son » robot. Au-delà des caractéristiques formelles que doit posséder le robot pour pouvoir interagir avec l'humain, l'attachement, la construction d'une relation, s'établissent également –et surtout- par des composantes émotionnelles. Doter le robot de certains attributs facilitera cet effet d'attachement.

Sur le plan physique, Konrad Lorenz affirme que certains traits, notamment des traits enfantins ou de nourrisson, entraînent chez l'homme des réactions immédiates et innées de sympathie ou de tendresse. Konrad Lorenz parle de « déclencheurs automatiques » qui se manifestent généralement sous la forme d'« une tête relativement importante, un crâne disproportionné, de grands yeux placés bas, le devant des joues fortement bombé, les extrémités courtes et épaisses, une consistance ferme et élastique et des gestes gauches ». Ces déclencheurs automatiques ne correspondent donc pas nécessairement à des caractéristiques hautement réalistes ; au contraire, un robot qui ressemblerait trop à un être humain ou à un autre être vivant entraînerait plutôt une forme de répulsion. « En comparant la créature à son modèle, affirme Frédéric Kaplan, nous en verrons tout de suite les défauts et les limitations. Paradoxalement, il est sans doute nécessaire que la créature se présente explicitement comme artificielle pour susciter la sympathie. » Ainsi, des robots tels que Kismet, à l'apparence très artificielle mais riche dans l'expression des émotions incite à l'interaction et favorise un sentiment de sympathie à son égard.

En lien avec l'apparence physique, les gestes effectués par le robot sont importants pour renforcer les liens relationnels. L'intelligence humaine est avant tout sociale ; dans les situations d'interaction naturelles entre humains, les gestes, la position du corps et l'attitude physique sont constamment interprétés et apportent des renseignements de nature diverse qui ne sont pas nécessairement transmis dans le dialogue. Les gestes peuvent être révélateurs de la personnalité d'un individu et attirer ou non la sympathie des autres. La gestuelle du robot va donc être primordiale pour attribuer à ce dernier des caractéristiques extraverties ou introverties. Une gestuelle ample, tournée vers l'autre, des mouvements rapides et une

fréquence de mouvements élevée est associée à l'extraversion tandis que des gestes lents et peu nombreux seront perçus comme une personnalité introvertie. Les robots présentant une gestuelle extravertie sont généralement considérés comme plus agréables et plus propices à l'échange. Les mouvements du robot ne doivent donc pas être mécaniques ou répétitifs, mais au contraire les plus fluides possible pour augmenter l'effet de réel. Toutefois, Frédéric Kaplan insiste sur le fait que le comportement du robot doive « faire sens, être cohérent, pour qu'on puisse appréhender ses 'motivations' ; c'est dans cette optique qu'il définit le 'bon design' de l'androïde comme composant la possibilité d'exprimer des sentiments en réaction à quelque chose. » L'appareance naturalité des gestes du robot peut favoriser l'émergence de processus empathiques chez l'homme à l'égard du robot ; en identifiant l'image du corps humain au corps de la machine, l'homme peut attribuer des émotions et une intelligence à celle-ci. Joffrey Becker constate que « les humains ['non-initiés'] imputent à la machine [ici un robot humanoïde] des capacités qu'elle ne possède pas, ou donnent de certains comportements une interprétation qui va au-delà de ce que fait réellement la machine. Cette attribution de subjectivité à l'objet est en fait assez banale. Le plus étonnant est qu'elle concoure à compléter l'apparence humaine, généralement rudimentaire, des machines [...] l'autonomie de la machine peut être mise en relation avec l'utilisateur humain lui-même, qui peut reconnaître son image dans celle de l'objet au point de compléter ses imperfections et de projeter sur lui des croyances concernant sa nature et ses intentions. » Ce mécanisme empathique permet de favoriser l'engagement du sujet à interagir avec le robot.

Cependant, le sentiment d'attachement ne saurait s'épanouir simplement à partir d'attitudes physiques ; le robot doit également avoir un comportement favorisant cet attachement. En effet, le principe d'une relation est sa dualité ; or comment le robot pourrait-il en retour témoigner une forme d'attachement pour l'humain ? Pour envisager les mécanismes d'une relation homme-robot à long terme, il peut être intéressant de les comparer à ceux entrant en jeu dans la relation homme-animal de compagnie. Pour Dominique Lestel, « les interactions de l'homme et l'animal se transforment en lieu de *convivence*. La relation affective supplante la relation intellectuelle. L'animal n'est ni un objet ni une machine pour cette raison. » Pour qu'une relation et un sentiment d'attachement s'instaurent entre le robot et l'homme, il faudrait, à l'instar de l'animal, que le robot témoigne à la fois d'une certaine liberté dans ses gestes, ses comportements et d'un attachement pour l'humain, comme s'il savait la nécessité pour lui de rester en interaction avec l'homme. Apprivoiser, faire apprendre des choses à son robot peut également être facteur d'attachement : « l'attachement du maître à son robot n'ira que grandissant au fur et à mesure du temps qu'il passera à lui enseigner des choses nouvelles. Ce faisant le robot aura à sa disposition un nombre toujours plus important d'indices pour lui permettre de reconnaître son maître de façon spécifique : sa voix, son visage, etc. Autant d'indices qui lui permettront

de lui témoigner des réponses spécifiques similaires à celles qu'un chien peut montrer à son maître. Bref, tous les signes qui montrent qu'il existe bel et bien un lien réciproque entre le robot et son propriétaire, que le robot est apprivoisé. » A noter que cette remarque de Frédéric Kaplan n'abolit pas le rapport d'autorité maître/animal ou esclave. On est encore loin du robot considéré comme entité à part entière, comme ami au sens d'une forme de relation pouvant exister entre humains.

Enfin, l'analyse des mécanismes émotionnels chez l'homme est nécessaire pour améliorer les attitudes et compétences du robot dans l'identification et la transmission d'émotions nécessaires à la construction d'une relation durable. Les émotions apparaissent en premier lieu comme un processus visant à réagir de façon rapide et adéquate à une situation extérieure. Ce processus fait donc intervenir divers modules, de réaction, de réflexion, d'apprentissage et mémorisation. La réaction émotionnelle nécessite donc une évaluation cognitive et une adaptation, permettant de maintenir l'équilibre entre les buts et les croyances du sujet et les contraintes et les modifications de l'environnement. Pour avoir des émotions, il faudrait donc que le robot ait au départ une représentation du monde, des désirs et des croyances, construits et évoluant au fil de ses expériences du monde et de ses interactions avec l'humain.

IV. LIMITES ET ENJEUX DE LA RELATION HOMME-ROBOT A LONG TERME

Les avancées en robotique ont permis de perfectionner le robot pour le rendre de plus en plus autonome, expressif, enclin à la communication avec les humains. Le robot n'est plus exclusivement un outil de réalisation de tâches industrielles ou domotiques ; il entre peu à peu dans le quotidien et se fait assistant aussi bien dans l'enseignement que dans l'aide à la personne par exemple. Sa capacité à analyser son environnement, la voix et les gestes des humains et à exprimer des émotions peut créer chez les utilisateurs un attachement qui pourrait transformer radicalement les paradigmes relationnels entre l'homme et la machine. Cependant, à l'heure actuelle, la robotique se heurte à quelques limites freinant la relation à long terme avec le robot. Enfin, en perspective d'un degré élevé de perfectionnement du robot, il est possible de s'interroger sur les fondements d'une relation à long terme avec un robot voire d'une relation « amicale ».

A. Limites actuelles à la relation à long terme entre l'homme et le robot

Sans évoquer les robots androïdes et l'effet de « vallée de l'étrange » qu'ils procurent chez les humains, grand nombre de personnes non initiées à la robotique restent frileuses à l'idée d'une interaction entre l'homme et la machine. Ce scepticisme voire ce rejet se manifestent par une attitude négative du sujet face à la machine qui peut aller jusqu'à l'anxiété. Ce type de comportement induit le refus de l'interaction avec le robot ou l'évitement et est problématique dans le cas où le robot est intégré dans une institution où il doit communiquer ou aider les personnes, écoles, établissements spécialisés, etc. Une échelle de mesure, Negative Attitude toward Robots Scale (NARS) a été développée en 2003 pour évaluer et comprendre les

réactions négatives du sujet à l'égard du robot, sans qu'il y ait eu nécessairement interaction avec la machine. Ce test est un questionnaire comprenant quarante items classés en trois sous-items : « attitude négative lors d'une situation d'interaction avec les robots » ; « attitude négative envers l'influence sociale des robots » et « attitude négative envers les émotions exprimées lors de l'interaction avec le robot ». Plusieurs études réalisées en 2003 par Tatsuya Nomura et son équipe montrent que les attitudes envers les robots varient non seulement selon le genre mais aussi selon l'âge, ces attitudes pouvant évoluer au fil du temps. Il y a bien évidemment une différence de résultats entre les personnes ayant déjà réellement interagis avec un robot et les autres. L'équipe a parallèlement réalisé une échelle de mesure de l'anxiété face au robot – Robot Anxiety Scale – pour comprendre pourquoi certains individus éprouvent de l'anxiété ou de la peur lorsqu'ils communiquent avec un robot. Les résultats de cette étude mettent en exergue le fait que l'anxiété est surtout liée à l'imprévisibilité des actions du robot. Le fait que les robots semblent posséder une personnalité, des émotions, et, par extension, une existence peut être un facteur d'anxiété car rendant possible l'égalité des robots et des humains. Il est intéressant de noter que la crainte de l'homme par rapport au robot est souvent forgée sur les récits de fiction où les robots finissent par dominer les hommes. Enfin, l'anxiété peut résulter d'une peur de l'inconnu, qui souvent se résorbe lorsque l'interaction a lieu.

Une autre limite à la relation à long terme avec un robot concerne sa capacité à identifier, traiter les émotions de l'utilisateur et de répondre émotionnellement aux stimuli. Si les progrès réalisés dans ce domaine ouvrent la voie à une certaine forme d'intelligence émotionnelle chez le robot, ces réponses n'en restent pas moins artificielles, dépendantes d'algorithmes qui ne sauraient avoir toute la riche flexibilité, la pluralité et la finesse des émotions humaines qui souvent se chevauchent, s'affinent mutuellement face à une même situation et évoluent au fil du temps. En ce sens, la relation sociale escomptée entre l'homme et la machine ne peut être qu'un artefact, fondé sur une appréciation de comparaison et de similitude ; l'humain agirait alors avec le robot « comme si » il était son ami, « comme si » il était une personne. Pour Grimaud, ce « comme si » permet cependant d'ancrer progressivement le robot dans le lien social naturel : « Ce « comme si » est également fondamental en ce qu'il informe ici la qualité de la réponse du sujet. En effet, face à un artefact ontologiquement « confus », il permet aux acteurs d'intégrer ce dernier dans des échelles de plus en plus graduées de traitement des objets, des êtres, des machines et de leurs hybrides. »

B. L'homme artificiel : un rêve eugéniste à la frontière entre dystopie et utopie ?

Dans son article « Un robot peut-il être notre ami ? », Frédéric Kaplan reprend la question posée par le philosophe Daniel Dennet : un robot peut-il et doit-il être l'ami de l'homme ? Si leur autonomie de plus en plus perfectionnée et leur apparente liberté confèrent au robot leur personnalité et leur possible mise en comparaison avec l'humain, « rien dans leur mécanismes internes ne spécifie qu'ils doivent spécifiquement faire ce qu'on leur dit. [...] Qu'est-ce qu'un

humain? Qu'est-ce que faire du mal ? Un robot ne sait pas aujourd'hui répondre à ces questions. » Dans une tonalité dystopique, Frédéric Kaplan ajoute : « Voilà pourquoi les robots en vente aujourd'hui sont petits et dotés de mécanismes de sécurité coupant leur moteur dès que la résistance devient trop forte. » Cet avis est cependant à nuancer, car très ancré dans une certaine vision occidentale. D'autres cultures n'établissent pas des frontières aussi fortes entre l'homme, l'animal et la machine et acceptent plus aisément l'intégration du robot dans la vie sociale. Quant à savoir si les enfants élevés parmi des robots évolués et intelligents parviendraient toujours à faire la différence entre les êtres vivants et les êtres artificiels, Serge Tisseron explique que « les enfants sont beaucoup mieux placés [que les parents] pour intégrer ces nouveaux objets dans leur monde. Ils sont capables de réversibilité : ils peuvent prétendre qu'un objet est animé pendant le temps qu'ils jouent avec lui et le considérer comme totalement inerte dès l'instant où le jeu est fini. » Beaucoup d'enfants finissent souvent par ailleurs par se détourner complètement des jouets électroniques et robotisés pour passer à d'autres jeux. Si les réflexions soulevées par Frédéric Kaplan font parfois écho au sentiment d'anxiété que témoignent certaines personnes face à l'inconnu que représente le robot, elles soulèvent toutefois la question de savoir ce qu'il pourrait se passer si les robots pouvaient atteindre un degré perfectionné de liberté et d'autonomie. Sans projeter un scénario menaçant, cette interrogation invite à ce questionner sur la nature-même de l'homme. La peur du robot, ne masquerait-elle pas la crainte que le robot change ou dévoile notre vision de nous-mêmes ?

Un début de réponse peut être apporté en cherchant à comprendre pourquoi l'homme créé des machines lui ressemblant toujours plus. L'évolution robotique, mue par une forte anthropologisation de la machine, fait du robot un véritable continuum de l'être humain, un double de lui-même. L'homme demiurge n'est toutefois pas une attitude nouvelle ; en témoignent les récits mythologiques tels que celui de Pygmalion et sa Galatée, incarnant la naissance de l'être parfait, absolu. En créant des êtres artificiels à son image, voire plus perfectionné que lui, il est possible que de manière plus ou moins conscientisée et volontaire, l'homme cherche à se penser en tant que tel et à défier les lois naturelles qui le limitent inexorablement. La machine deviendrait alors une nouvelle étape de l'évolution. « Le motif initial de la créature artificielle, le rejet de la filiation est poussé à l'extrême : le vivant n'est plus défini par la génération, puisque l'« espèce » artificielle n'est pas issue d'une espèce biologique antérieure » ; « [l'homme aspire] à une humanité 'plus qu'humaine', un homme nouveau libéré des chaînes biologiques et des contingences de l'histoire » explique Michel de Pracontal. En défiant les limites naturelles – et donc la mort – et en rompant avec les caractéristiques du vivant par un être artificiel non faillible, l'être humain affirme et recrée son identité culturelle. Les travaux et les avancées en médecine, biologie et intelligence artificielle tendent à avoir une forme de vocation eugéniste. « L'eugénisme veut orienter l'évolution. Il instrumentalise la sélection pour en faire le moyen pratique d'améliorer l'espèce humaine. L'homme artificiel devient un

homme sélectionné » écrit Michel de Pracontal. Pour reprendre le mythe de Pygmalion et Galatée, les Lovotics et les évolutions possibles de ces robots dont le fonctionnement reposant sur des émotions artificielles et des hormones biologiques exploitent les liens amoureux possibles entre l'homme et le robot suggèrent cet affranchissement de la biologie et du processus naturel des lois de l'évolution et de la génération.

La volonté de créer des robots toujours plus performants et plus aptes à vivre avec l'homme est un moyen incontestablement efficace et intéressant pour comprendre et appréhender les mécanismes de communication, d'interaction et les processus émotionnels de l'être humain. En somme, les robots intelligents tendent à devenir les miroirs de notre vie intérieure-même.

V. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons décrit quelques applications possibles du robot social dans la vie quotidienne, nous avons ensuite exposé les différentes caractéristiques comportementales du robot social ainsi que la composante émotionnelle de la relation homme-robot. Enfin, nous avons mis en évidence les limites actuelles qui s'opposent à la construction d'une véritable amitié entre un robot et un humain.

REFERENCES

- [1] Alexandre Dit Sandretto, Julien et Nicolas, Cyprien. *Cable-Driven Robots with Wireless Control Capability for Pedagogical Illustration in Science CAR* – 8th National Conference on "Control Architecture of Robots", Jun 2013, Angers, France.
- [2] Baxter, Paul; Belpaeme, Tony; Canamero, Lola; Cosi, Piero; Demiris, Yiannis et Enescu, Valentin *Long-Term Human-Robot Interaction with Young Users*
- [3] Becker, Joeffrey. *Le robot-chimère : ambiguïtés et continuités ontologiques chez les humanoïdes.*
- [4] Dautenhahn, Kerstin. "Methodology and Themes of Human-Robot Interaction : A growing Research Field " in *International Journal of Advanced Robotic System* n°4, Hertfordshire, 2007
- [5] Kanda, Takayuki ; Hirano, Takayuki et al. *A practical experiment with interactive humanoid robots in a human society.* ATR, Tokyo
- [6] Kaplan, Frédéric. *Un robot, peu-il être notre ami ?* CSL, Paris
- [7] Marpot, Stéphane. « Tête-à-tête avec un androïde : Perception des corps et troubles ontologiques dans une expérience d'interaction homme-robot » in *Parcours anthropologiques* n°9, CREA, Lyon, 2014
- [8] Minsky, Marvin. *The emotion machine, Commonsens thinking, artificial intelligence and the future of the human mind.* Simon & Schuster, New-York, 2006
- [9] Nomura, Tatsuya; Kanda, Takayuki et al. *Psychology in Human-Robot Communication : An attempt through Investigation of Negative attitudes and Anxiety toward Robots.* Tokyo, 2003
- [10] Pesty, Sylvie et Duhaut, Dominique *Artificial Companion : building an impacting relation* Robotics and Biomimetics IEEE-Robio, Dec 2011, Thailand.
- [11] Picard, Rosalind W. et Bickmore, Timothy W. *Establishing and Maintaining Long-Term Human-Computer Relationships.* MIT
- [12] Pracontal (de) Michel. *L'Homme artificiel.* Ed. Denoël, Paris, 2002
- [13] Roy, Didier. *Usage d'un robot pour la remédiation en mathématiques.* 2012
- [14] Saint-Aimé, Sébastien ; Grandgeorge, Marine ; Le Pevedic, Brigitte et Duhaut, Dominique. *Evaluation of Emi interaction with non-disabled children in nursery school usin wizard of Oz technique* IEEE Robio-

2011, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Dec 2011, Thailand.

- [15] Taggart, Will; Turkle, Sherril and Kidd, Cory D. *An Interactive Robot in a Nursing Home: Preliminary Remarks*.
- [16] Tapus, Adriana; Maja, Mataric and Scassellati Brian. *The Grand Challenges in Socially Assistive Robotics* IEEE Robotics and Automation Magazine, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2007.

Remerciements

Les enseignants tiennent à remercier l'ensemble des étudiants pour leur travail et l'équipe de gestion du master, notamment Nathalie Guyader, responsable de la spécialité du M2R Sciences Cognitives.



Année universitaire 2004-2015

Grenoble, France