

# Application de la robotique humanoïde au traitement de la douleur

## Application of humanoid robotics to pain management

Bretagne Estelle<sup>1</sup>, Fonséca Jérémy<sup>2</sup>, Serra Eric<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Modélisation, Information et Systèmes, Université de Picardie Jules Verne, 33 rue Saint Leu - 80039 Amiens Cedex 1 - France , +33 3 22 82 59 05 , estelle.bretagne@u-picardie.fr et david.durand@u-picardie.fr

<sup>2</sup>Laboratoire PSITEC (EA 4072), Université de Lille et Consultations de Psychiatrie et de Psychologie Médicale, CHU Amiens-Picardie, jeremy.fonsecadasneves@gmail.com

<sup>3</sup>Laboratoire PSITEC (EA 4072), Université de Lille, Centre d'Étude et de Traitement de la Douleur (CETD) au CHU Amiens, 03.22.66.88.20, serra.eric@chu-amiens.fr

**RÉSUMÉ.** La douleur chronique est un problème de santé majeur entraînant des répercussions émotionnelles et sociales importantes. Comment, à l'ère du numérique, un robot humanoïde peut-il aider à améliorer la qualité de vie des citoyens douloureux ? En fournissant des informations au patient, en permettant une évaluation et un suivi de la douleur, en détournant l'attention, en proposant des réponses thérapeutiques (INM) adaptées et sélectionnées au préalable par le patient et son médecin. L'objectif de notre recherche interdisciplinaire est d'étudier la collaboration entre l'homme et un robot humanoïde (social) d'assistance en améliorant l'évaluation de l'expérience douloureuse par le robot grâce à divers capteurs. Ces actions sont favorisées par l'aspect humanoïde du robot. L'objectif final serait d'identifier des interactions pertinentes et/ou préventives (interventions non médicamenteuses) en tenant compte du niveau de douleur subi par le patient, sous supervision d'un médecin.

**ABSTRACT.** Chronic pain is a major health problem with significant emotional and social implications. How, in the digital age, can a humanoid robot help improve the quality of life of painful? By providing information to the patient, by allowing an evaluation and a follow-up of the pain severity, by diverting the attention, by proposing therapeutic answers adapted and selected in advance by the patient and his doctor. The objective of our interdisciplinary research is to study the collaboration between humans and a humanoid (social) assistance robot by improving the robot's assessment of the pain experience through various sensors. These actions are facilitated by the humanoid aspect of the robot. The final objective would be to identify relevant and/or preventive interactions (non-drug interventions) taking into account the level of pain experienced by chronic pain patient, under the supervision of a physician.

**MOTS-CLÉS.** robotique humanoïde, douleur chronique, interventions non médicamenteuses.

**KEYWORDS.** humanoid robotics, chronic pain, non-drug interventions.

## Introduction

La douleur chronique est un problème de santé majeur entraînant des répercussions sociales importantes. Tout individu est confronté à la douleur au cours de sa vie. Expérience personnelle éprouvante, désagréable, c'est une préoccupation individuelle, existentielle, sanitaire, collective, prioritaire. D'après la Haute Autorité de Santé (30 janvier 2009, communiqué de presse), la chronicisation de la douleur, c'est-à-dire lorsqu'elle dure plus de trois mois, concerne 30% de la population. Elle est plus fréquente chez la femme que chez l'homme et augmente avec l'âge, surtout au-delà de 65 ans. La pandémie de COVID 19 augmentera le nombre de personnes concernées (Endstrasser et al., 2020 ; Drożdżal et al., 2020). La reconnaissance multi-modale est un enjeu d'évaluation de la douleur au quotidien, certes dans les structures de soins avec la douleur aiguë omniprésente, mais encore plus et dès à présent en ambulatoire, pour tous les citoyens français et européens concernés, via les outils informatiques.

Une collaboration transverse entre le laboratoire Modélisation, Information et Systèmes (MIS, Université de Picardie Jules Verne) et le Centre d'Étude et de Traitement de la Douleur (CETD) du CHU Amiens Picardie (financement Amiens Métropole en 2017) a commencé avec le robot humanoïde Pepper de la plateforme universitaire Matrics (UPJV). Le CETD est un service qui reçoit les patients douloureux chroniques, adressés par un médecin, pour une évaluation pluridimensionnelle et une orientation ou un suivi thérapeutique plurimodal(e) et interdisciplinaire.

Comment, à l'ère du numérique, un robot humanoïde peut-il aider à améliorer la qualité de vie des citoyens douloureux ? En apportant de l'information au patient, en permettant une évaluation et un suivi de la douleur, en proposant des solutions non médicamenteuses adaptées supervisée par un médecin (musique, méditation, activités physiques, jeux détournant l'attention). De nombreuses études détaillent les applications robotiques dans le domaine de la santé (Andrade *et al.*, 2014 ; Bhattarai et Philips, 2017 ; Dahl et Boulos, 2014 ; Keogh *et al.*, 2010 ; McGeary et Gatchel, 2012 ; Rosser et Eccleston, 2011). Quel est l'avantage d'un robot humanoïde sur l'ordinateur ? A l'exemple du robot Pepper, il s'agit d'un outil interactif et d'un compagnon synthétique pour la personne en difficulté.

Dans cet article, nous traitons plusieurs points : d'abord nous discutons de l'intérêt de choisir un robot humanoïde pour interagir avec des patients douloureux à partir d'une étude bibliographique. Puis nous présentons l'architecture utilisée permettant de faire communiquer un robot avec des capteurs placés sur le patient. Ensuite nous présentons différentes interactions déjà testées de manière exploratoire. Cela passe par l'évaluation d'un état douloureux et des propositions thérapeutiques : suivi de capteur (cardiofréquence-mètre par exemple), séance de méditation dictée par le robot, questionnaires sur l'évaluation de la douleur et utilisation d'un accéléromètre pour éviter les stations statiques prolongées. Enfin nous discutons des approches possibles pour la reconnaissance automatique multimodale de la douleur et nous présentons des perspectives de recherche futures.

## 1. Le choix d'un robot humanoïde

Nous considérons ici que le robot est une technologie récente mise à disposition des professionnels de santé et des patients. Elle ne remplace pas l'intervention humaine mais peut s'y associer dans le contexte de multiplication des outils numériques dans le domaine de la santé. Nous ne traitons donc pas ici de l'apport d'un robot par rapport à un agent humain. Néanmoins dans les perspectives et suivant les interactions prévues, une comparaison entre une tâche identique effectuée par un être humain ou par un robot auprès d'un patient pourra être effectuée.

Une des questions qui se pose dans la triade « médecin-patient-robot » est l'apport d'un robot humanoïde par rapport à d'autres technologies telles qu'une application sur tablette, sur téléphone, une montre connectée ou bien un assistant uniquement vocal. D'autant plus que le problème du coût reste central pour les robots de soin (Blackman, 2013). L'autonomie et la mobilité, parfois limitées, des robots sont aussi des inconvénients. Par exemple d'après Grekin *et al.* (Grekin *et al.*, 2019) on ne compte pas moins de 100 000 applications pour téléphones ou tablettes dédiées à la santé. Et toujours selon cet auteur, il y a peu d'études concernant les facteurs relationnels qui rendraient ces méthodes plus ou moins acceptables et/ou efficaces.

Les robots sociaux d'assistance peuvent être définis comme ceux qui fournissent une assistance par le biais d'une interaction sociale parallèlement ou à la place d'une aide physique. Des chercheurs anglais (Winkle *et al.*, 2018) ont étudié la possibilité d'utiliser des robots sociaux en rééducation par le biais de discussions avec des thérapeutes. Ces derniers estiment que le robot offre une assistance plus pro-active que les autres technologies seules, notamment si l'interaction est personnalisée pour chaque patient et si

le comportement du robot s'adapte en temps réel. L'autonomie et la mobilité, parfois limitée, des robots sont évidemment des désavantages par rapports aux autres technologies.

Dans la catégorie des robots sociaux, on parle de robots « persuasifs » : ce sont ceux qui doivent nous amener à changer un comportement, un sentiment ou une attitude. Par exemple des auteurs (Kidd et Breazeal, 2008) ont comparé 3 méthodes pour mesurer les calories : un mini-robot comme coach, un ordinateur et un carnet classique. Ils montrent que les participants au régime notent leurs calories deux fois plus longtemps avec le robot. La présence physique du robot peut donc avoir un effet plus engageant sur le long terme que d'autres technologies, même si cela reste à étudier plus précisément dans le cas, par exemple, de la kinésiophobie liée à une douleur chronique.

Plusieurs études tendent à montrer que le robot a une présence reconnaissable au niveau neuronal par un être humain. Les processus cognitifs impliqués lors de l'expérience d'un état mental et lors de la perception d'un autre individu vivant le même état mental se chevauchent, tant au niveau comportemental que neuronal. On parle d'un phénomène de résonance. Chaminade et Cheng (Chaminade et Cheng, 2009) ont montré que cet effet à lieu à la vue d'un robot si on prévient préalablement la personne concernée de bien faire attention aux mouvements du robot. De leur côté, Rosenthal-von der Pütten *et al.* (Rosenthal-von der Pütten *et al.*, 2013) ont montré que nous éprouvons un sentiment d'empathie vis-à-vis d'un robot, même si cette empathie est moins marquée pour un être humain. Concernant le contact visuel, dans l'interaction homme-homme, on sait qu'il suscite des réponses psychophysiologiques liées à l'affectivité et à l'attention. Des recherches récentes ont cherché à savoir si le contact visuel avec un robot humanoïde suscitait ces mêmes réponses (Kiilavuori *et al.*, 2021). Les auteurs concluent que le contact visuel suscite des réactions affectives et attentionnelles automatiques, qu'il soit partagé avec un robot humanoïde ou avec un autre humain.

Une étude récente (Boumans *et al.*, 2019) effectuée avec le même robot que celui que nous utilisons montre que l'utilisation d'un robot social pour poser des questionnaires concernant le ressenti du patient peut être à la fois un outil précieux pour les professionnels de la santé et un interviewer acceptable pour des patients âgés. C'est l'une des raisons pour laquelle nous testons des questionnaires sur la douleur posés par le robot lui-même (section 2).

Power *et al.* (Power *et al.*, 2007) ont mené une étude comparative entre l'utilisation d'un robot et l'utilisation d'un agent informatique (image, « avatar » d'un robot). Ils montrent que le robot a à la fois des avantages et des inconvénients. D'une part les personnes impliquées préféreraient le robot à l'agent informatique. Mais elles ont moins communiqué de renseignements personnels au robot et surtout ces personnes ont mémorisé moins d'informations importantes lors de l'interaction avec le robot.

D'après les travaux de Power *et al.*, si la tâche réclame peu d'interaction sociale et la transmission de beaucoup d'informations, un agent informatique est suffisant. Au contraire une tâche orientée sur le lien et l'interaction sociale gagnera à être effectuée avec un robot humanoïde. La difficulté étant qu'un robot d'assistance devrait assurer un mélange de ces deux types de tâches. C'est pourquoi nous pensons qu'une étude approfondie et rigoureuse est intéressante dans le cas des patients douloureux puisque le robot peut intervenir à la fois pour l'éducation thérapeutique du patient et pour un accompagnement relationnel de celui-ci.

Ces auteurs insistent aussi sur le fait que, pour améliorer les interactions homme-robot, la machine doit être capable de comprendre les comportements humains, via le langage verbal et non-verbal. Par exemple les postures corporelles, les gestes et les émotions faciales sont pertinentes pour estimer partiellement l'état interne des êtres humains (Tapus *et al.*, 2019). Dans ce contexte, une meilleure

estimation par le robot de l'état douloureux d'une personne, permettrait évidemment d'améliorer la qualité de la relation homme-robot.

Wu *et al.* (Wu *et al.*, 2012), au travers de groupes de discussion, ont montré qu'au-delà de la question de l'apparence du robot, de nombreuses questions éthiques et sociales sont soulevées par les utilisateurs potentiels (ici des personnes âgées). Une étude portugaise (Piçarra *et al.*, 2016) montre que la représentation sociale du robot est liée avant tout à la notion d'outil pour la population étudiée (212 personnes) et qu'il y a des variations en fonction de l'âge, du genre et du niveau d'éducation. De plus la confiance dans la technologie utilisée est aussi un facteur subjectif favorisant l'usage d'un robot, aussi bien celle du praticien que celle du patient (Langer *et al.*, 2019). Il semblerait donc qu'il y ait des paramètres sociaux et cognitifs à prendre en compte pour obtenir l'adhésion du patient et l'efficacité cherchée.

L'amélioration de l'interaction sociale homme-robot est très onéreuse ; il faudra donc comme le conseille certains auteurs (Tapus *et al.*, 2019) travailler sur des algorithmes nécessitant peu de mémoire informatique et peu de temps de calcul, mais fournissant néanmoins des comportements robotiques suffisants pour la tâche visée et socialement acceptables pour le patient. Notre stratégie tient compte de ce fait avec, par exemple, l'utilisation d'objets connectés peu coûteux.

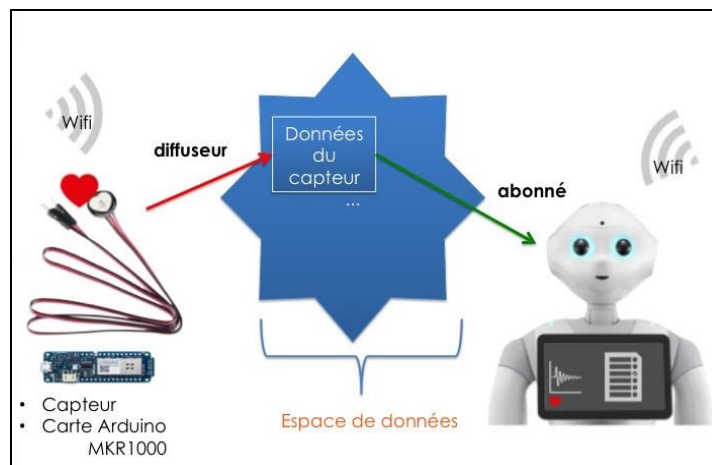
## 2. Solutions techniques choisies

Nous avons travaillé avec le robot humanoïde Pepper développé par la société SoftBank Robotics. Pepper est un robot humanoïde « émotionnel » : l'objectif de ce type de robot est d'avoir la réaction la plus appropriée pour une situation non définie lorsqu'il est en interaction avec les êtres humains, par exemple des patients. L'écran tactile sur son torse affiche du contenu pour renforcer les messages et seconder la parole.

De manière générique, le capteur utilisé par le patient (cardiofréquencemètre, accéléromètre, ...) est connecté à une carte Arduino MKR1000 qui offre la connectivité Wi-Fi. Cette carte est adaptée pour le développement d'applications IoT (objets connectés) avec un processeur 32 bits, plusieurs entrées / sorties et la gestion cryptée du Wifi.

D'après la CNIL, les données à caractère personnel concernant la santé sont les données relatives à la santé physique ou mentale, passée, présente ou future, d'une personne physique (y compris la prestation de services de soins de santé) qui révèlent des informations sur l'état de santé de cette personne. Le responsable du traitement de ces données doit assurer la confidentialité et la sécurité des informations des utilisateurs. Nous avons donc choisi d'utiliser une technologie peu onéreuse permettant une maîtrise complète des différentes données et de la communication de ces dernières. Cela rend possible ensuite la mise en place de protocoles de sécurité adaptés et connus.

Afin de traiter les données du capteur, nous avons dans un premier temps programmé un serveur python sur le robot. Dans ce cas, le serveur se charge de récupérer les données envoyées par le capteur. Dans un second temps, il est apparu plus pratique d'utiliser le protocole MQTT pour faire communiquer le robot et les différents capteurs. Il s'agit d'un protocole de messagerie « publish-subscribe » basé sur le protocole TCP/IP. Cela nécessite une connexion wifi et un serveur indépendant du robot qui sert d'espace de données (voir figure 1). Un processus MQTT se divise en quatre étapes : connexion, authentification, communication, terminaison. Il est conçu pour être léger et n'utilise qu'une bande passante réseau faible ; le chiffrement via TLS/SSL est une de ses caractéristiques.



**Figure 1.** schématisation du protocole utilisé (MQTT).

### 3. Interactions possibles

Dans un tout premier temps, nous avons expérimenté une séance de méditation dictée par le robot. La technique de méditation laïque, utilisée dans le traitement de la douleur chronique, est la thérapie de pleine conscience. Elle vise à réduire le stress et à prévenir les rechutes dépressives et les douleurs chroniques (Monestès *et al.*, 2007).

Son apprentissage a été formalisé, dans le cadre du soin, sous la forme de deux protocoles appelés :

- MBSR (Mindfulness-Based Stress Reduction) pour la réduction du stress et la régulation des émotions,
- MBCT (Mindfulness Based Cognitive Therapy) pour le traitement de la rechute dépressive.

Rapidement une question s’est posée : comment le robot peut-il adapter son comportement s’il ne sait pas évaluer l’état douloureux d’une personne ? Nous nous sommes donc concentrés sur les capacités du robot à estimer l’état douloureux d’un patient.

La douleur est un phénomène complexe (Monestes et Serra, 2005 ; Karunakaran et al., 2020), subjectif et très variable d’un individu à l’autre pour une même « sollicitation ». L’Association internationale d’étude de la douleur (International Association for the Study of Pain) la définit comme « une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable en réponse à une atteinte tissulaire réelle ou potentielle ou décrites en ces termes ». On ne peut donc pas évaluer la douleur comme on mesure une donnée biométrique classique telle la température corporelle.

Pour une première approche, nous avons implémenté le Questionnaire Douleur de Saint Antoine (forme abrégée) sur la tablette tactile du robot. Il s’agit d’une liste de 16 qualificatifs sensoriels ou affectifs, devant être évalués par une note de 0 (absent) à 4 (extrêmement intense). Ces qualificatifs reflètent l’importance de la douleur ressentie. Ils ont une valeur d’orientation diagnostique pour faciliter la reconnaissance de certaines douleurs (par exemple les douleurs neurogènes), et apprécier le retentissement affectif (la tolérance) de la douleur. Parmi ces qualificatifs, on distingue deux catégories de descripteurs, à savoir les descripteurs affectifs et les descripteurs sensoriels, amenant au calcul de deux sous-scores : un score sensoriel et un score affectif

Nous avons codé le questionnaire en HTML5/CSS3 et Javascript, Pepper disposant d’une tablette qui permet l’affichage d’images, de vidéos ainsi que de pages web, notre application s’exécute naturellement. Le robot peut également déterminer le temps mis pour répondre, ce qui est aussi un

paramètre intéressant pour les médecins (Craddock *et al.*, 2012). Nous avons également le même questionnaire sur tablette simple pour comparaison.

Puis nous nous sommes intéressés à la fréquence cardiaque instantanée du patient afin d'évaluer son niveau de stress en temps réel. En effet le stress peut être induit par la douleur et, même si ce n'est pas un marqueur spécifique de la douleur, c'est un paramètre facile à suivre qui affine la perception qu'a le robot de l'état douloureux du patient. Il s'agit alors de mettre en place un capteur positionné sur le patient et communiquant par wifi avec le robot. Concrètement, le capteur mesure l'intensité de la lumière réfléctée par la surface de peau et les cellules sanguines ou globules rouges circulant dessous afin de déterminer le rythme cardiaque. Il est connecté à un dispositif qui offre la connectivité Wi-Fi.

Enfin nous avons utilisé, toujours en Wi-Fi, un capteur de type accéléromètre (ADXL335 3 axes) afin de contrôler le mouvement de la cuisse de la personne. En cas d'inactivité prolongée, le robot peut conseiller à la personne un type de mouvement adapté, sélectionné au préalable par le patient et son médecin (exemple : la marche). En effet la douleur chronique peut provoquer une phobie du mouvement (Keogh *et al.*, 2010 ; Meulders *et al.*, 2011) puis un déconditionnement à l'effort et les encouragements à bouger sont bénéfiques. En cas d'inactivité prolongée, le robot pourrait donc conseiller à la personne un type de mouvement adapté, choisi au préalable par le patient et son médecin.

Des travaux exploratoires rendent donc déjà possibles la communication du robot avec des capteurs placés sur le patient (protocole MQTT). Une meilleure estimation par le robot de l'état douloureux d'un adulte, permettrait d'améliorer la qualité de la relation. L'objectif futur est d'étudier la collaboration entre un adulte et un robot social d'assistance, humanoïde, en améliorant dans un premier temps l'évaluation de l'expérience douloureuse par le robot (vidéo et divers capteurs). Dans un second temps, le but sera d'identifier des interactions non médicamenteuses pertinentes et/ou préventives en tenant compte du niveau de douleur subi par le patient, sous supervision d'un médecin.

#### **4. Perspectives de recherche : la reconnaissance multi-modale de la douleur**

Dans cette partie, après un tour d'horizon rapide sur la reconnaissance de la douleur, nous proposons une stratégie adaptée au cas du robot humanoïde. Bien que constituant encore une perspective de recherche, cette approche nous semble intéressante à décrire.

Nous rappelons que la douleur est un phénomène complexe, subjectif et variable d'un individu à l'autre pour une même sollicitation nociceptive qui ne peut pas être évaluée comme une mesure biométrique conventionnelle (Karunakaran *et al.*, 2020 ; Monestès et Serra, 2006). La reconnaissance multimodale de la douleur via les outils informatiques est un enjeu d'évaluation de la douleur au quotidien dans les structures de soins et en ambulatoire. Cette mesure est forcément multi-dimensionnelle et comporte plusieurs composantes.

La détection automatique de la douleur est un domaine d'investigation émergent avec des applications pratiques dans les soins de santé (Thevenot *et al.*, 2017). La douleur est le plus souvent exprimée oralement et sous forme d'expressions faciales. Des recherches psychologiques (Ruiz *et al.*, 2016) suggèrent que l'expression faciale de la douleur est un indice fiable de l'expérience de la douleur. Néanmoins il faut que les bases d'images disponibles soient accompagnées de l'auto-évaluation (multi-dimensionnelle) de la douleur par le patient, ce qui n'est pas toujours le cas. C'est une vraie difficulté pour les méthodes basées sur l'apprentissage profond très en vogue (Chen *et al.*, 2018), forçant certains auteurs à l'utilisation de méthodes multi-modales (Egede *et al.*, 2017). Dans le cas de la douleur chronique, une étude basée sur les données multi-modales EmoPain (Aung *et al.*, 2016) montre que dans 70% des cas, l'expression faciale de douleur s'accompagne d'une attitude de protection.

Dans le cas du robot Pepper, nous proposons d'adapter une méthode de reconnaissance des expressions faciales (Oterdout et al., 2020 ; Alashkar et al., 2016 ; Szczapa et al., 2020) en utilisant les caméras du robot (dont une caméra de profondeur). Elle permet de reconnaître des émotions et nous semble adaptée à l'évaluation complexe de l'état douloureux s'associant à divers expressions et sentiments. En croisant les résultats obtenus par traitement d'images avec ceux issus de capteurs non invasifs (fusion de données avec fréquence cardiaque, timbre de la voix, mouvements), il est possible d'obtenir une évaluation plus complète, en temps réel à un moindre coût de calcul, de l'expérience douloureuse. A notre connaissance, cela n'a pas encore été traité de manière multimodale en robotique humanoïde pour des adultes dans la littérature (Cifuentes et al., 2020).

Pour consolider la modélisation puis étudier ses performances, il faudra établir la reconnaissance de la douleur par robot humanoïde, selon l'expérience de nos laboratoires, sur volontaires sains en douleur expérimentale avec un système de quantification de la douleur et des seuils de sensibilité. La perspective de cette recherche est de préparer le robot à s'adapter au cas de patients douloureux aigus, en établissements de santé, et douloureux chroniques, dans leurs lieux de vie.

## 5. Conclusion et perspectives

Ce travail (toujours en cours) est un exemple de collaboration transverse. Il illustre les défis inhérents à la e-santé pour laquelle, outre les aspects techniques (robotique, internet, objets connectés), les aspects humains et médicaux sont très prépondérants. Ce type d'étude est importante afin de savoir si l'utilisation d'un robot humanoïde présente un avantage pour le praticien et/ou pour le médecin par rapport à d'autres technologies existantes moins onéreuses. Il est aussi intéressant de mettre en lumière la composante sociale et relationnelle liée à la douleur chronique lors d'interactions humain-humain et robot-humain. Un autre aspect complexe qui reste à prendre en compte est la confidentialité des données médicales personnelles afin de choisir la technologie la plus sécurisée possible pour le médecin et son patient.

Pour aller plus avant dans ce projet, il est aussi nécessaire d'aller à la rencontre des usagers : professionnels de santé, patients experts volontaires, entourage. Cela se réaliserait au mieux dans un lieu de simulation (hôpital, pharmacie, domicile) mis à disposition pour des expérimentations. L'adoption d'une technologie s'inscrit dans un processus partant de son acceptabilité pour aboutir à son acceptation effective. Une approche possible sera de se baser sur des interviews, vidéos et questionnaires d'après une théorie, récente et souvent utilisée, dite « unifiée d'acceptation et d'utilisation de la technologie » (UTAUT, Venkatesh et al., 2003). L'avis de l'utilisateur, sa satisfaction, sa confiance seront étudiés dans ce cadre.

L'entreprise SoftBank a annoncé, par l'intermédiaire de Reuters, l'arrêt de la production de son humanoïde robotique, en juin 2021. Elle a tout de même annoncé sa volonté de continuer le développement de Pepper et le maintien du support et du service client. Cela illustre les difficultés de la robotique sociale à trouver son marché et la nécessité d'étudier de manière très précise l'apport réel d'un robot humanoïde par rapport à d'autres technologies moins onéreuses et d'utilisation plus simple.

Pour conclure il s'agit avant tout de fournir des solutions qui répondent, non pas aux avancées technologiques en robotique, mais bien aux besoins réels du patient et des professionnels de la santé dans un contexte médical.

## Références

- Alashkar, T., Ben Amor, B., Daoudi, M. and Berretti S. 2016. Spontaneous expression detection from 3D dynamic sequences by analyzing trajectories on Grassmann manifolds. *IEEE Transactions on Affective Computing* 9, 2 (2016), 271–284.
- Andrade, A. O., A. A. Pereira, S. Walter, R. Almeida, R. Loureiro, D. Compagna et P. J. Kyberd (2014). Bridging the gap between robotic technology and health care. *Biomedical Signal Processing and Control*, 10, 65-78.
- Aung, M. H., Kaltwang, S., Romera-Paredes, B., Martinez, B., Singh, A., Cella, M., ... & Bianchi-Berthouze, N. (2016). The Automatic Detection of Chronic Pain-Related Expression: Requirements, Challenges and the Multimodal EmoPain Dataset. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 7(4), 435-451.
- Bhattacharai, P. et J. L. Phillips (2017). The role of digital health technologies in management of pain in older people: An integrative review. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 68, 14-24.
- Blackman, T. (2013). Care robots for the supermarket shelf: a product gap in assistive technologies. *Ageing & Society*, 33(5), 763-781.
- Boumans, R., van Meulen, F., Hindriks, K., Neerincx, M., & Rikkert, M. G. O. (2019). Robot for health data acquisition among older adults: a pilot randomised controlled cross-over trial. *BMJ quality & safety*, 28(10), 793-799.
- Chaminade, T., & Cheng, G. (2009). Social cognitive neuroscience and humanoid robotics. *Journal of Physiology-Paris*, 103(3-5), 286-295.
- Chen, Z., Ansari, R., & Wilkie, D. (2018). Automated pain detection from facial expressions using facs: A review. arXiv preprint arXiv:1811.07988.
- Cifuentes, C. A., Pinto, M. J., Céspedes, N., & Múnera, M. (2020). Social Robots in Therapy and Care. *Current Robotics Reports*, 1-16
- Craddock, M., P. Molet, et R. Miller (2012). Reaction time as a measure of human associative learning. *Behavioural processes*, 90, 189-197.
- Dahl, T. S., & Boulos, M. N. K. (2014). Robots in health and social care: A complementary technology to home care and telehealthcare?. *Robotics*, 3(1), 1-21.
- Drożdżal S, Rosik J, Lechowicz K, Machaj F, Szostak B, Majewski P, et al. COVID-19: Pain Management in Patients with SARS-CoV-2 Infection—Molecular Mechanisms, Challenges, and Perspectives. *Brain Sciences*. 2020; 10(7):465.
- Egede, J., Valstar, M., & Martinez, B. (2017, May). Fusing deep learned and hand-crafted features of appearance, shape, and dynamics for automatic pain estimation. In 2017 12th IEEE international conference on automatic face & gesture recognition (FG 2017) (pp. 689-696). IEEE.
- Endstrasser, F., Braitto, M., Linser, M., Spicher, A., Wagner, M., & Brunner, A. (2020). The negative impact of the COVID-19 lockdown on pain and physical function in patients with end-stage hip or knee osteoarthritis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(8), 2435-2443.
- Grekin, E. R., Beatty, J. R., & Ondersma, S. J. (2019). Mobile health interventions: Exploring the use of common relationship factors. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(4), e11245.
- Karunakaran, K. D., Peng, K., Berry, D., Green, S., Labadie, R., Kussman, B., & Borsook, D. (2020). NIRS Measures in Pain and Analgesia: Fundamentals, Features, and Function. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*.
- Keogh, E., B. A. Rosser et C. Eccleston (2010). e-Health and chronic pain management: Current status and developments. *PAIN the Journal of the International Association for the Study of Pain, Topical review*, 151(1), 18–21.
- Kidd, C. D., & Breazeal, C. (2008, September). Robots at home: Understanding long-term human-robot interaction. In *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 3230-3235). IEEE.
- Kiilavuori, H., Sariola, V., Peltola, M. J., & Hietanen, J. K. (2021). Making eye contact with a robot: Psychophysiological responses to eye contact with a human and with a humanoid robot. *Biological Psychology*, 158, 107989.
- McGeary, D. D., McGeary C. A. et R. J. Gatchel (2012). A comprehensive review of telehealth for pain management: where we are and the way ahead. *Pain Practice*, 12(7), 570-577.



- Meulders, A., D. Vantsteenwegen et J. Vlayen (2011). The acquisition of fear of movement-related pain and associative learning: a novel pain-relevant human fear conditioning paradigm. *Pain*, 152, 2460-2469.
- Monestès, J. L. et E. Serra (2005). Modèles cognitifs et comportementaux dans la compréhension du phénomène de douleur chronique. *Douleurs: Evaluation-Diagnostic-Traitement*, 6(3), 122-129.
- Monestès, J. L., P. Vuille et E. Serra (2007). Thérapie de pleine conscience, thérapie d'acceptation et d'engagement et douleur chronique. *Douleurs: Evaluation-Diagnostic-Traitement*, 8(2), 73-79.
- Monestès, J-L, Serra, E. (2006) Modèles cognitifs et comportementaux dans la compréhension du phénomène de douleur chronique, *Douleurs* 2005 ; 6: 122-9.
- Otberdout, N., Daoudi, M., Kacem, A., Ballihi, L., & Berretti, S. (2020). Dynamic facial expression generation on hilbert hypersphere with conditional wasserstein generative adversarial nets. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*.
- Piçarra, N., Giger, J. C., Pochwatko, G., & Gonçalves, G. (2016). Making sense of social robots: A structural analysis of the layperson's social representation of robots. *European Review of Applied Psychology*, 66(6), 277-289.
- Powers, A., Kiesler, S., Fussell, S., & Torrey, C. (2007, March). Comparing a computer agent with a humanoid robot. In *Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction* (pp. 145-152).
- Rosenthal-von der Pütten, A. M., Schulte, F. P., Eimler, S. C., Hoffmann, L., Sobieraj, S., Maderwald, S., ... & Brand, M. (2013, March). Neural correlates of empathy towards robots. In *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 215-216). IEEE.
- Rosser, B. A. et Eccleston, C. (2011). Smartphone applications for pain management. *Journal of telemedicine and telecare*, 17(6), 308-312.
- Ruiz, A., Rudovic, O., Binefa, X., & Pantic, M. (2016, November). Multi-instance dynamic ordinal random fields for weakly-supervised pain intensity estimation. In *Asian Conference on Computer Vision* (pp. 171-186). Springer, Cham.
- Szczapa, B., Daoudi, M., Berretti, S. Pala, P. Del Bimbo, A. and Hammal, Z. 2020. Automatic Estimation of Self-Reported Pain by Interpretable Representations of Motion Dynamics. arXiv preprint arXiv:2006.13882 (2020).
- Tapus, A., Bandera, A., Vazquez-Martin, R., & Calderita, L. V. (2019). Perceiving the person and their interactions with the others for social robotics—a review. *Pattern Recognition Letters*, 118, 3-13.
- Thevenot, J., López, M. B., & Hadid, A. (2017). A survey on computer vision for assistive medical diagnosis from faces. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 22(5), 1497-1511. (17) Ruiz, A., Rudovic, O., Binefa, X., & Pantic, M. (2016, November). Multi-instance dynamic ordinal random fields for weakly-supervised pain intensity estimation. In *Asian Conference on Computer Vision* (pp. 171-186). Springer, Cham.
- Venkatesh V., Michael. G. M., Gordon. B. Davis., Fred D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*: vol.27, n°3, INFORM Global, p.425-478.
- Winkle, K., Caleb-Solly, P., Turton, A., & Bremner, P. (2018, February). Social robots for engagement in rehabilitative therapies: Design implications from a study with therapists. In *Proceedings of the 2018 acm/ieee international conference on human-robot interaction* (pp. 289-297).
- Wu, Y. H., Fassert, C., & Rigaud, A. S. (2012). Designing robots for the elderly: appearance issue and beyond. *Archives of gerontology and geriatrics*, 54(1), 121-126.