

Étude expérimentale de robots de téléprésence et d'assistance aux personnes dépendantes : des performances attendues aux réalités.

J. VAREILLE, Y. AUTRET, D. ESPES, P. LE PARC

Lab-STICC, Université de Brest 29238, Brest cedex 3, France,
jean.vareille@univ-brest.fr, yvon.autret@univ-brest.fr, david.espes@univ-brest.fr,
philippe.le-parc@univ-brest.fr,

Résumé :

Depuis quelques années nous participons avec plusieurs équipes du Lab-STICC et des partenaires, comme le centre de rééducation fonctionnelle de Kerpape, au projet VITAAL, objet d'un CPER. Notre équipe étudie l'emploi de robots commandés à distance, disponibles dans le commerce pour l'assistance aux personnes dépendantes, afin d'en évaluer les performances. La question est de déterminer s'ils pourraient être utilisés pour l'assistance à des personnes dépendantes maintenues à domicile. Nous décrivons l'étude actuellement en cours, les expériences qui ont été menées, nos conclusions sur les différents robots acquis pour l'usage visé. D'autre part nous présentons des éléments du cahier des charges d'un robot qui y serait mieux adapté.

La comparaison entre les résultats observés et les objectifs opérationnels montre qu'aucun robot actuel en vente ne présente les performances voulues. L'augmentation des offres commerciales disponibles, la diminution des prix et l'extension du réseau FTTH laisse augurer que prochainement ces robots seront accessibles en prix au plus grand nombre, avec chacun des qualités indéniables. Cependant les architectures de commande, les interfaces utilisateur, les services, doivent tous être perfectionnés, car actuellement aucune solution n'est satisfaisante. Ces différents aspects doivent faire l'objet de recherches conceptuelles et expérimentales, ce d'autant plus que les éléments technologiques sont prêts, à l'exception du positionnement précis des robots à l'intérieur des logements.

Abstract:

For some years now, we have been working with several Lab-STICC's teams and partners, such as the Kerpape Functional Rehabilitation Center, in the VITAAL project, which is the subject of a CPER. Our team studies the use of remote-controlled robots, commercially available, to help dependent people in order to evaluate their performance. The issue is if they could be used for assistance to dependent persons maintained at home. We describe the study currently underway, the experiments that have been conducted, our conclusions on the different robots acquired for the intended use. On the other hand we present elements of the specifications of a robot that would be adapted.

The comparison between the observed results and the operational objectives shows that no current robot on sale has the desired performance. The increase in available commercial offers, the decrease in prices and the extension of the FTTH network augurs that soon these robots will be accessible in

price to the greatest number, with each undeniable qualities. However, the command architectures, the user interfaces, the services must all be improved, because currently no solution is satisfactory. These different aspects must be the subject of conceptual and experimental research, all the more so as the technological elements are ready, with the exception of the precise positioning of the robots inside the dwellings.

Mots clefs : robots de téléprésence ; robots d'assistance ; architecture de commande ; résilience ; maintenabilité.

1 Introduction

Depuis quelques années nous participons au projet VITAAL, objet d'un CPER, avec plusieurs équipes du Lab-STICC et des partenaires, comme le centre de rééducation fonctionnelle de Kerpape. Notre équipe étudie l'emploi de robots commandés à distance disponibles dans le commerce, pour assister des personnes dépendantes, afin d'en évaluer les performances. Notre objectif est de déterminer s'ils pourraient être employés pour l'assistance à des personnes dépendantes maintenues à domicile, et s'ils ne le sont pas, de proposer un cahier des charges de robot d'assistance adapté à cet usage.

Du fait du prix très élevé des robots spécifiquement conçus pour l'assistance aux personnes dépendantes, peu de personnes privées en ont acquis. Les robots utilisés aujourd'hui pour l'assistance de personnes dépendantes maintenues à domicile ont été conçus pour le télétravail, ou pour des missions de surveillance et de reconnaissance. La plupart des personnes dépendantes sont des personnes vieillissantes qui hésitent à faire de gros investissements en particulier pour acquérir des appareils très techniques qui nécessitent un apprentissage. Quitte à acheter un robot, elles préfèrent en acheter un plus facile à revendre s'il se révèle inemployable, plutôt qu'un appareil conçu spécifiquement qui risquerait de ne pas donner satisfaction et de terminer en rebut dont on ne peut pas se débarrasser. Ainsi nous avons acheté deux Beam+ de la société Suitable-Technologies (USA), deux robots PadBot (RPC), un robot WifiBot de Nexter (France) et un robot UBBO en kit d'Axyn Robotique (France), s'approchant du concept d'Open Source.

Parallèlement nous travaillons sur le cahier des charges de robots utilisables pour ce contexte d'application, ainsi que sur des petits robots assemblés à partir de composants standards à bas coût, complétés et personnalisés avec des pièces réalisées au Fab Lab de l'UBO.

Les qualités parmi les plus importantes des robots d'assistance aux personnes dépendantes seraient leur résilience, et une maintenabilité élevée.

Le reste de l'article est organisé comme suit. Dans la deuxième section, nous présentons les robots de téléprésence achetés dans le cadre de l'étude. La troisième section est quant à elle dédiée aux expérimentations menées et à l'analyse des systèmes de commande. Nous y présentons nos conclusions relatives à leur utilisation pour l'assistance aux personnes dépendantes. À la section suivante nous proposerons un cahier des charges d'un robot minimal d'assistance. L'article se termine en section cinq par des conclusions et perspectives.

2 Les robots de téléprésence choisis

Lors du montage de ce projet il n'existait que quelques robots d'assistance aux personnes dépendantes extrêmement coûteux, par exemple le robot Giraff [1] dont le prix est voisin de 10000€, ou Hector du projet européen CompanionAble [2], le robot Kompai [3] et quelques autres. Nous avons recherché

d'autres robots moins onéreux, dont nous pourrions détourner l'emploi pour l'adapter à l'assistance aux personnes dépendantes. Parallèlement nous avons travaillé sur l'intégration d'éléments à bas coût permettant d'assembler des robots modulaires pour lesquels les temps moyens de réparation (MTTR) seraient réduits et à la portée de personnes de niveau de formation 5 (DUT, DEUG, DEUST, BTS).

Mais entre le dépôt du projet, son acceptation et le moment de la notification des crédits permettant les achats, deux ans se sont écoulés. Pendant ce temps l'offre s'est considérablement étendue, les prix ont considérablement diminué et une offre de service d'assistance utilisant ces robots est apparue en France.

Dans la première phase nous avons les moyens d'acheter trois robots d'un coût unitaire de 3000€ à 4500€. Nous avons opté pour un robot de téléprésence Beam+ [4], un robot wifibot [5] portant un lidar et un robot spécifique proposé par la société R&DTech France [6]. Sur les trois nous n'avons pu nous procurer que les deux premiers, la société R&DTech France n'ayant pas donné suite à la commande passée.

En 2017 nous avons découvert que plusieurs constructeurs proposaient des produits concurrents au Beam+, par exemple PadBot [7] et la société française AXYN Robotique [8].



Figure 1 : de gauche à droite, un robot Beam+, un PadBot U1, un UBBO et deux robots modulaires.

En 2018 nous avons acheté un deuxième Beam+ du fait que des partenaires du projet, l'IMTA, l'équipe de l'ENSIBS en avaient également acheté, deux PadBots dont les prix sont les plus faibles du marché pour ce type de machine, et un robot UBBO en kit de la société AXYN Robotique, voir figure 1.

Nous présentons dans la partie suivante quelques expérimentations entreprises avec les robots achetés.

3 Expérimentations et analyse des systèmes de commande

La première installation de chaque robot a demandé plusieurs heures et exigé de nous des connaissances en informatique système et en réseau de niveau supérieur à celui de master. Dans les cas du PadBot et de l'UBBO il nous a fallu prendre contact avec les fabricants pour avoir des versions de logiciels manquants ou des mises à jour ou un code d'accès aux ressources en ligne. Dans le cas du Beam+ nous avons dû demander à la direction des systèmes informatiques de l'Université des

permissions d'ouverture de certains ports de communication jusqu'aux bornes wifi de proximité. Cela n'a pas été nécessaire pour les autres robots.

Le robot WifiBot est doté d'un système de commande qui présente une instabilité, il tombe en panne aléatoirement de façon trop fréquente dans sa configuration actuelle pour pouvoir être employé pour l'usage visé.

Le robot UBBO vendu en kit a nécessité le travail assidu d'un étudiant de master 1 en informatique pendant deux semaines pour être assemblé et rendu fonctionnel. Ses sous-ensembles ne sont pas suffisamment intégrés avant la livraison au client. L'avantage économique de son prix intermédiaire est largement perdu si l'on ajoute le coût du temps passé. D'autre part le grand nombre de fils individuels et les modes de fixation sont sources de mauvais contacts qui peuvent aller jusqu'à provoquer des pannes. Le montage d'un tel robot en kit est très intéressant pour l'enseignement ou la R&D, mais n'est probablement pas économiquement viable pour une entreprise offrant des services d'accompagnement à des personnes dépendantes.

Nos principales expérimentations ont eu lieu à l'UBO, dans différents bâtiments. Nous avons essayé d'utiliser le Beam+ pour faire une séquence de cours à deux publics différents, l'un présent, l'autre distant, les étudiants étaient dans deux bâtiments différents de l'UBO. Nous avons aussi utilisé ce robot dans un domicile privé et l'avons fait utiliser par des néo-calédoniens lors d'événements comme la nuit de la science à l'Université de Nouvelle Calédonie voir figure 2, ou lors d'un événement sur les Fab Lab et la fabrication numérique qui a eu lieu dans l'hôtel Royal de Nouméa. L'efficacité du robot de téléprésence lors de ces deux événements nous est apparue éblouissante. Le but de ces expériences était d'évaluer si le contrôle d'un domicile à un autre situé aux antipodes en passant par des connexions au réseau Internet privées était possible. A Brest le robot communiquait en wifi avec une « box » reliée au réseau par fibre optique, réciproquement à Nouméa dans nos différentes expériences nous étions reliés soit au réseau de l'Université en wifi, soit à un réseau HAN (Home Area Network) privé.

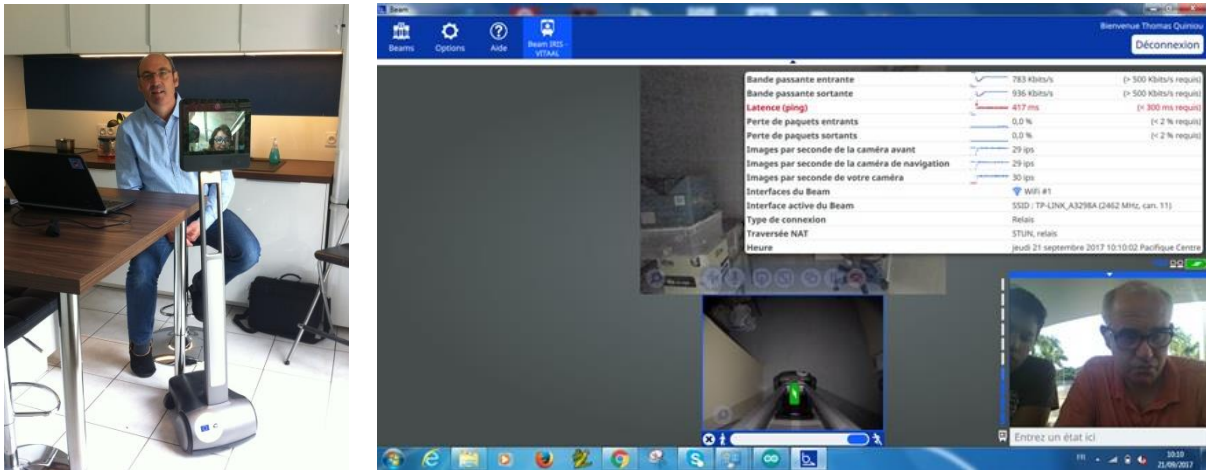


Figure 2 : expérience de télécontrôle entre un domicile brestois et l'Université de Nouvelle Calédonie

Lors d'expériences plus récentes nous avons commandé un Rov assemblé en kit situé à Nouméa d'un domicile brestois à un domicile situé à Nouméa, les deux étant connectés à l'Internet par FTTH. La stabilité du système de commande à distance fut remarquable.

Le système de contrôle à distance du robot Beam+ met en jeu une interaction ternaire. Le robot porte un système embarqué reposant sur un noyau Linux. Il est connecté en permanence avec le centre informatique de Suitable-Technologies qui l'authentifie et effectue des mises à jour. L'utilisateur distant installe un client lourd sur sa machine qui se connecte au centre de Suitable-Technologies. Le résultat est performant quand les connexions réseau de bout en bout fonctionnent. Après authentification du client les échanges de données se font de robot à la machine de l'utilisateur, sans

passer par les serveurs du constructeur (tout au moins selon ce qu'il fournit comme information). Mais des pannes de communication surviennent, nous en avons rencontré. Il nous est arrivé d'être dans la même pièce que le robot et de ne pas pouvoir le contrôler car l'authentification ne fonctionnait plus du fait d'un effondrement du réseau Internet aux USA. Le système n'est pas doté de télécommande à courte portée. Par conséquent cette architecture ne peut être employée pour assister des personnes dépendantes. Néanmoins la société Telegrafik [9] propose des solutions d'assistance faisant appel à ce type de robot.

Le système de contrôle du robot UBBO est également ternaire, mais l'utilisateur utilise un client léger. Il se connecte via une page Web qui se trouve sur un serveur de la société, celui-ci établit la connexion entre l'utilisateur distant et le robot et organise la redirection des flux échangés entre les deux. De la même façon que précédemment cette architecture est inadaptée à l'assistance aux personnes dépendantes, bien qu'elle soit plus souple et performante que la précédente car les codes de contrôle commande de la base roulante sont ouverts et que l'on peut modifier ceux de la tablette sous Android qui sert de relai des données et des commandes. Notons que le robot UBBO peut être commandé directement avec la tablette ou un smartphone. Une personne dépendante pourrait avoir en main un genre de télécommande lui permettant de faire déplacer à volonté le robot, sans devoir se connecter à Internet. Ce mode peut être étendu à l'espace couvert par les ondes émises et reçues par la base.

L'architecture de commande des PadBot est modulable puisque la société propose un kit de développement qui permet de gérer les flux de données entre l'utilisateur et le robot.

Les robots UBBO et PadBot ont chacun une base roulante gérée par une tablette au travers de communication Bluetooth. Nous avons constaté qu'il était possible de connecter un simple smartphone à la base roulante de l'UBBO et d'en prendre de contrôle. Là aussi les architectures du système de contrôle-commande de ces robots sont inadaptées à l'assistance aux personnes dépendantes parce-que vulnérable aux intrusions.

Dans la partie suivante nous proposons les grandes lignes d'un cahier des charges de robot de téléprésence, tant pour la partie mobilité que pour le système de commande.

4 Proposition de cahier des charges de robot de téléprésence

L'objectif est d'offrir de nouveaux services aux personnes dépendantes maintenues à domicile. Nous tentons de les identifier et de les quantifier. Ensuite, nous définissons les fonctionnalités et les performances du robot de téléprésence. Puis nous terminons cette section en décrivant un résultat final idéal de robot, exprimé sous la forme d'une unité fonctionnelle au sens de l'analyse de cycle de vie (ACV). Cette proposition a déjà été en partie publiée dans un article précédent [11], nous lui ajoutons une partie sur le système de commande.

Nous définissons un « super-système » composé du robot, des personnes présentes et distantes, du réseau, et de l'environnement proche, voir figure 3.

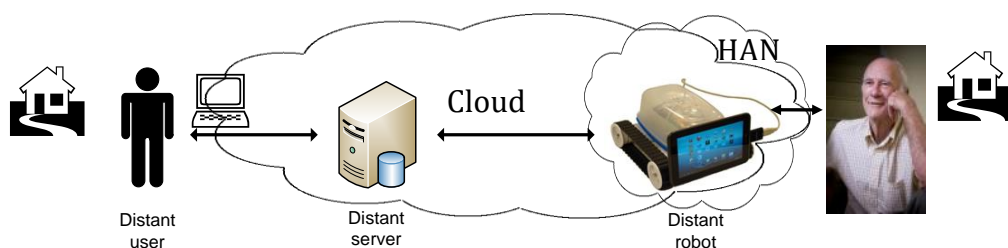


Figure 3 : Le « super-système » d'un robot d'assistance aux personnes dépendantes.

Les logements de personnes dépendantes ont rarement des escaliers, ou elles se limitent à vivre au même étage, donc le robot n'a pas besoin d'en monter ou d'en descendre, c'est le cas de la maison intelligente de l'IUT de Blagnac [10]. Dans les cas où différents étages seraient à surveiller, nous mettrions un robot à chaque étage (méthode TRIZ - principes 12, 26a, 1a).

Nous considérons que deux personnes au maximum utilisent le robot en même temps, l'une localement, l'autre à distance. Le robot est connecté à un fournisseur de télé-services, lié à l'assurance soins de santé et/ou aux services de secours et d'urgence et à la famille ou aux proches. Les gens communiquent par sons et gestes, la première fonction est de capter les sons et les images, et de les communiquer dans les deux sens.

Le système doit être interactif : les robots ne sont pas autonomes, mais connectés à l'Internet par des liaisons sans fil, à travers un nuage local composé de capteurs, d'actionneurs et d'un réseau de communication domestique HAN filaire et sans fil.

Les gens sont censés se déplacer, le robot doit être en mesure de les suivre. Ils sont censés être éveillés durant les deux tiers de la journée et se reposer le reste du temps, les services doivent donc être disponibles au moins 16 heures par jour en mode mobilité, et 8 heures par jour en mode statique. Les gens peuvent utiliser des cannes ou des déambulateurs ou transporter de petits objets. La masse M du robot doit être plus petite que celle d'un déambulateur, soit moins de 3 kg pour pouvoir être déplacé en cas de nécessité par la personne assistée. La vitesse maximale d'un robot est normalisée ($V < 1\text{m/s}$). Vu de dessus, le robot ne doit pas avoir une taille supérieure à celle de deux chaussures, parce que le robot doit suivre les gens en mouvement, ainsi il pourra passer là où ils peuvent passer. Au minimum, le robot doit être en mesure d'avancer, reculer, tourner à droite et à gauche, tourner sur place, et bien évidemment s'arrêter.

La durée de vie du robot doit être longue, parce que nous supposons que les personnes concernées acceptent mal de fréquents changements. Le besoin est compris entre une année et vingt ans, car un an est la période typique d'un contrat avec un fournisseur de télé-services, et vingt ans est la durée de vie maximale d'un animal de compagnie. Nous supposons que les robots d'assistance seront individués par les personnes assistées. Ils seraient mieux acceptés si leurs comportements étaient assimilables à ceux d'animaux domestiques placides et obéissants.

Le cheptel escompté de robots compagnons dans la CE sera compris de 50M à 100M d'unités à l'horizon 2060.

Nous considérons que les pannes sont inévitables, même si le système est très redondant. Nous prenons en compte le MTBF (temps moyen entre pannes) et le MTTR (temps moyen de réparation). Le MTBF doit être égal à la période de garantie, selon un argument psychologique portant sur l'acceptabilité d'une panne. Il semble qu'un MTBF d'un an au moins, ou deux ans soit acceptable. La distance D parcourue devrait atteindre 4 km par jour, cela représente environ 3000 km au cours d'une période de MTBF de 2 ans. La question du MTTR est très différente, car il est inacceptable d'être privé de l'aide d'un robot compagnon plus de quelques heures. Mais les personnes dépendantes reçoivent en général quotidiennement des visites de soignants. Elles peuvent aussi recevoir la visite quotidienne d'un facteur qui leur apporte du courrier. La conception doit aboutir à une solution d'entretien facile, effectué par eux. Le robot doit pouvoir être démonté très rapidement, chaque élément remplacé, reconfiguré et testé en peu de temps au cours de la visite quotidienne.

L'autonomie en énergie est une question essentielle. On peut considérer que le robot se déplace moins de 70 mn par jour, mais le système de communication doit être actif 24 heures par jour. Le robot peut être rechargé quand les gens sont au repos. Nous considérons que le robot va interagir avec eux, il doit les informer sur son niveau d'énergie. Mais la décision de le recharger reste confiée aux personnes présentes, ou celles éloignées. Un rôle important du robot est de stimuler les personnes dépendantes pour accomplir des actes courants, comme nourrir leurs animaux, arroser les plantes, ou recharger les batteries des appareils. Enfin il y a les aspects écologiques, par exemple utiliser du cuivre et des

plastiques recyclés, réduire les déchets microélectroniques, l'empreinte carbone, l'emploi de terres rares, etc.

Tous ces aspects nous donnent une «unité fonctionnelle» minimale d'un an d'utilisation, 1500 km parcourus, un contrôle permanent, une masse d'environ 3 kg, la taille de deux chaussures sur le sol, un MTTRi (MTTR idéal) de quelques minutes, un MTBFm (MTBF minimum) de 1 an, la capacité de communiquer images et sons par le biais d'une connexion sans fil avec une largeur de bande supérieure à 1Mbits/s.

La partie commande devrait permettre un contrôle à distance en ligne. L'utilisation d'un client léger est à préférer. L'utilisateur distant doit passer par un système d'identification. Les flux audio et vidéo doivent être cryptés et peuvent faire l'objet d'un water-marking pour éviter les détournements. Le système devrait être équipé d'au moins deux caméras, l'une permettant de voir ce qui est au sol autour de la base roulante, l'autre permettant de voir ce qui est devant, dans la direction d'avancement. La marche arrière doit être rendue très difficile, sinon impossible.

Le système doit pouvoir être commandé en présence grâce à un mode hors ligne. La communication entre le système embarqué qui gère la communication et les transmissions des commandes doit communiquer de façon sécurisée avec la base mobile. Le système embarqué matériel doit être constitué de façon à ce que l'ensemble de son système d'exploitation, de ses logiciels et des données soit extractible en une seule opération afin de pouvoir être inséré dans un autre système embarqué matériel. La mémoire portant le système d'exploitation, les logiciels et les données doit être copiés sur une ressource sécurisée bien accessible, de préférence en ligne. Elle peut faire l'objet de deux copies, l'une physique, l'autre en ligne. Un robot idéal pourrait être commandé à la voix et par les gestes, comme un animal domestique bien éduqué.

Le système de commande doit avoir deux modes de fonctionnement, un mode interactif et un mode programmé, afin de faire des tours de garde par exemple, ou bien pour accomplir des tâches répétitives. Mais pour pouvoir être programmé efficacement il faut doter le robot d'un système de mesure de position d'une précision compatible avec celle nécessaire pour se déplacer dans un intérieur sans heurter les encadrements de portes. Une précision de positionnement de +/-10 cm semble juste suffisante.

L'interface de commande à distance et l'affichage du robot doivent afficher visiblement et continuellement l'état de connexion du robot et lorsque le robot est contrôlé à distance, la latence de communication en fenêtre glissante, et afficher un horizon temporel de contrôlabilité future.

Le système doit être doté d'un système de pointage permettant désigner une zone d'intérêt. Ce pourrait être un faisceau lumineux.

La hauteur de l'affichage doit pouvoir être réglée en fonction de la taille de la personne et de la position dans laquelle elle se trouve, debout ou assise. Ce réglage doit être au minimum manuel, et facile à opérer lorsque le robot fonctionne.

Au terme de la description des spécifications d'un robot idéal d'assistance aux personnes dépendantes maintenues à domicile, force est de constater que tout existe aujourd'hui sauf un système de positionnement en intérieur suffisamment précis et fiable ainsi que des batteries capables de stocker l'énergie nécessaire dans une masse de matière compatible avec l'objectif visé. Cependant des solutions existent dans tous les domaines qui permettent d'expérimenter des prototypes à faible coût.

5 Conclusion et perspectives :

Nous proposons de faire la démonstration d'un robot de télétravail acquis depuis le début de ce projet au sein des locaux de l'UFR Sciences et Techniques. Si l'opportunité se présente, des partenaires situés à très grande distance en prendront le contrôle. Il nous paraît important que chacun et chacune puissent

bien percevoir les enjeux et le potentiel des technologies de téléprésence et l'imminence de leur application à grande échelle.

Nous travaillons actuellement sur le positionnement, les services, les aspects durables des choix des composants, la sécurisation du système, la latence de communication en vue d'évaluer l'horizon temporel de contrôlabilité d'un robot.

Remerciements

Nous remercions Thomas Quiniou, ingénieur de recherche à l'ISEA de l'Université de Nouvelle Calédonie pour sa disponibilité qui a permis d'effectuer des essais et ses conseils. Nous remercions également Mohamed Khelf docteur de l'Université des Sciences et Technologies d'Oran, qui est venu en stage au Lab-STICC lorsqu'il était doctorant au LARESI et qui a effectué ensuite des expériences de télécontrôle de robots depuis Oran.

Références

- [1] Suitable-Technologies, <https://suitabletech.com>.
- [2] Giraff, <http://giraff.org>.
- [3] CompanionAble, <https://www.smart-homes.nl/en/project/companionable-1/>.
- [4] Kompaï, <http://kompairobotics.com>.
- [5] Wifibot, <http://www.wifibot.com>.
- [6] R&DTech France, <http://www.retdtechfrance.fr>.
- [7] PadBot, <http://www.padbot.com>.
- [8] AXYN Robotique, <http://www.axyn.fr>.
- [9] Telegrafik, <https://www.telegrafik.fr/>
- [10] Maison Intelligente, IUT de Blagnac, <http://mi.iut-blagnac.fr/?lang=fr>
- [11] D. Espes, Y. Autret, J. Varelle, E. Le Corre, P. Le Parc. 2014. Robots durables d'assistance et de surveillance à faible coût. CNRIUT2014, Toulouse. <https://hal.univ-brest.fr/hal-01691633/document>