



HAL
open science

ROBOTS DURABLES D'ASSISTANCE ET DE SURVEILLANCE À FAIBLE COÛT

David Espes, Yvon Autret, J. Vareille, E Le Corre, Philippe Le Parc

► **To cite this version:**

David Espes, Yvon Autret, J. Vareille, E Le Corre, Philippe Le Parc. ROBOTS DURABLES D'ASSISTANCE ET DE SURVEILLANCE À FAIBLE COÛT. 3ème Congrès National de la Recherche en IUT (CNRIUT2015), ADIUT, Mar 2015, Epinal, France. hal-01691633

HAL Id: hal-01691633

<https://hal.univ-brest.fr/hal-01691633v1>

Submitted on 25 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Robots durables d'assistance et de surveillance à faible coût.

D. Espes^a, Y. Autret^a, J. Vareille^{ab}, E. Le Corre^b, P. Le Parc^a

Disciplines des auteurs
Informatique (27), Mécanique (60)

Statuts et affiliations

a Université Européenne de Bretagne – Université de Brest, Lab-STICC – UMR CNRS 6285,

b. IUT de Brest, département GMP, Université de Brest

20 avenue Victor Le Gorgeu, 29285 BREST
rue de Kergoat - CS 93837 - 29238 Brest Cedex 3

Thème abordé
La robotique durable

5 mots clés au maximum

robots compagnons, méthodologie de conception, écoconception des robots.

Type de soumission : présentation - ~~posters~~ - ~~jeune chercheur~~

Robots compagnons durables à faible coût.

David Espes^{*1}, Yvon Autret^{*1}, Jean Vareille^{#*1}, Erwan Le Corre^{#2}, Philippe Le Parc^{*1}

[#] IUT de Brest, département GMP, Université de Brest

^{*} Université Européenne de Bretagne – Université de Brest, Lab-STICC – UMR CNRS 6285,

¹ <prenom.nom>@univ-brest.fr

² Erwan.Lecorre2@etudiant.univ-brest.fr

Résumé— En Europe le nombre de personnes âgées et de personnes handicapées dépendantes va augmenter dans les prochaines années. Pour éviter une dégradation de leur qualité de vie, celles-ci peuvent être assistées à domicile. Cette contribution a pour sujet les robots compagnons durables pour les personnes dépendantes. Nos robots sont contrôlés à distance afin d'assurer un monitoring et maintenir des relations sociales. Soignants ou parents peuvent contrôler chaque robot afin d'interagir avec la personne dépendante. Au cours de la phase de conception, nous visons un coût de robot aussi bas que possible, car c'est un facteur clé dans la généralisation de ceux-ci. Dans la perspective d'une production en grand nombre, afin de respecter les contraintes environnementales et de réduire la quantité de déchets, les robots doivent être conçus de façon appropriée. Nous proposons une méthodologie d'ingénierie, la méthode de développement en X, pour guider la conception de nouveaux produits de bout en bout. Notre but est de proposer une démarche de développement selon un ordonnancement des tâches qui permette d'orienter les choix vers la réduction des impacts environnementaux en vue d'un marché de masse.

I. INTRODUCTION

Le vieillissement de la population s'accompagne d'un accroissement du niveau de dépendance des personnes âgées. Selon les prévisions démographiques, la population de la Communauté Européenne (CE) atteindra 512 M d'habitants en 2060, 30 % aura plus de 65 ans, 12 % plus de 80. De surcroît, à tout âge, certaines personnes sont incapables de se déplacer librement, provisoirement ou définitivement, à cause d'un accident ou d'une maladie. Les personnes dépendantes font continuellement face à des difficultés dans le « monde normal », réaliser une action ordinaire peut leur être insurmontable. Elles peuvent aller jusqu'à renoncer aux interactions sociales. Pour maintenir le contact avec les personnes dépendantes à domicile, des systèmes appropriés sont nécessaires. Les appareils mobiles ubiquitaires (MoUD, Mobile Ubiquitous Device) tels que des robots télécommandés, représentent une approche intéressante pour les environnements de vie à

assistance ambiante (AAL, Ambient Assisted Living Environment).

Aujourd'hui, le prix des robots télécommandés diminue beaucoup. Les robots low cost sont principalement des jouets, chaque jour, leur nombre augmente. Mais ils ne peuvent pas être utilisés dans notre contexte en raison de leurs services limités, leur faible sécurité et leur manque de fiabilité. Toutefois, ces jouets peuvent être fabriqués en grande série ce qui explique leur faible prix. Leur durée de vie est assez courte, ce qui leur confère un impact environnemental disproportionné par rapport aux services proposés.

Depuis la signature du protocole de Kyoto, les pays européens se sont engagés à limiter leurs émissions d'équivalent CO₂. En 2005 une charte environnementale a été annexée au préambule de la constitution française. Pour réduire l'impact environnemental d'un produit manufacturé, les considérations environnementales doivent être intégrées dans l'ensemble de son cycle de vie. Pour atteindre ces objectifs, la conception d'un produit doit prendre en compte trois paramètres principaux : la réutilisabilité du tout ou de ses parties, la recyclabilité des matériaux, et l'efficacité énergétique. Pour être éco-responsable, le MoUD doit être conçu en prenant en compte ces critères dès le début de l'étude. Nous proposons une méthodologie, la méthode de développement en X pour ordonnancer les étapes de conception des produits « intelligents » de façon à en réduire les impacts environnementaux. Elle facilite aussi le processus de choix des composants et matériaux les plus judicieux, en particulier en termes de coûts.

Le reste de l'article est organisé comme suit : une brève description de robots existants est donnée dans la section qui suit, la méthodologie de conception de produit est présentée dans la partie 3,

l'analyse de conception fait l'objet de la partie 4, notre architecture de robot est décrite dans la partie 5, et finalement, nous concluons par la partie 6.

II. ETAT DE L'ART

Beaucoup de robots ont été conçus pour offrir une assistance ambiante de vie. Ils sont souvent présentés comme « robot compagnon », tels ceux construits par l'Institut de recherche IRT à Tokyo et présenté dans [1]. Ces robots ressemblent à des humanoïdes, ils sont en mesure d'ouvrir des portes, de nettoyer les logements ou d'utiliser une machine à laver. Dans [2], un robot est utilisé pour entretenir une stimulation cognitive et gérer la thérapie. Beaucoup d'autres projets peuvent être trouvés dans la littérature. Ces robots ont généralement la taille d'un enfant, peuvent se déplacer à l'intérieur de leur environnement, si celui-ci n'est pas trop dense, ils sont capables d'attraper des objets ; ils portent des interfaces multimédias.

Les robots de compagnie sont généralement financés par les assurances en raison de leurs prix élevés. Les assurances doivent couvrir les risques liés au manque de fiabilité, en effet les pannes d'un robot peuvent mettre des vies en danger et engager la responsabilité de la firme qui les produit. Pour réduire les probabilités de dysfonctionnement, tous les composants sont redondants. Pour cette raison ils sont équipés de plusieurs dizaines de capteurs qu'il faut alimenter. Du coup, leur autonomie en énergie peut poser problème.

Dans un environnement AAL, le coût d'un MoUD doit être aussi faible que possible, surtout dans le cas des personnes âgées qui ont souvent des budgets limités. En outre, comme les défaillances mécaniques, électroniques, des logiciels ou du réseau, sont inévitables, la fiabilité est un autre enjeu majeur, ainsi que leur maintenabilité.

Mais avec des robots à faible coût, les personnes dépendantes pourraient acheter leur(s) propre(s) robot(s). L'assurance ne prendrait en charge que le monitoring de la personne. Certains produits commerciaux, telles que Rovio [3] ou Spykee [4], sont relativement appropriés pour être utilisés comme solution à faible coût. Mais ils ont des caractéristiques qui limitent leurs possibilités d'utilisation dans des environnements AAL. Leurs

plates-formes ne sont pas totalement ouvertes et il est donc difficile d'y intégrer de nouveaux services. En raison de la capacité limitée de leur batterie, ces robots doivent fréquemment retourner à leur station de rechargement. Peu protégés, ils ne peuvent préserver la vie privée. En effet les soignants, sans autorisation, ne doivent jamais prendre de photo du patient ou accéder à d'autres informations sensibles à leur sujet. Enfin, les ingénieurs qui ont conçu ces robots n'ont pas toujours fait des choix technologiques respectueux pour l'environnement.

III. METHODOLOGIE DE DEVELOPPEMENT

Un MoUD associe une plate-forme mobile à de l'électronique et aux technologies de l'information et de la communication. Pour concevoir et intégrer des robots il faut coordonner plusieurs branches de métiers, l'ingénierie mécanique, l'électronique, l'informatique, etc. Mais chacune utilise des méthodologies de conception spécifiques comme TRIZ [5] en génie mécanique, le cycle en V [6] en génie logiciel, etc.

Depuis l'introduction des systèmes embarqués, des fonctions assurées à l'origine par l'assemblage mécanique leurs sont transférées. Il faut donc en arbitrer la répartition. Le cahier des charges initial devrait pouvoir être exprimé en un système formel qui permettrait d'opérer ce genre de transfert, en évaluant globalement leurs conséquences.

Notre méthodologie met en œuvre un raisonnement basé sur les ressources matérielles, financières, et humaines, le temps, et les connaissances. Elle requiert une définition quantitative des périmètres et contenus des tâches.

Afin d'évaluer la maintenabilité du robot par des non-spécialistes, nous avons associé au projet un étudiant de deuxième année de DUT GMP. Il a monté un robot complet, rédigé une notice de montage, mesuré les temps de montage/démontage, et conçu un capot s'adaptant sur la base mobile.

A. La méthode de développement en X

La formulation actuelle de la méthode de développement en X a été conçue par des membres de notre équipe [6].

Le schéma général est présenté sur la figure 1 où l'axe horizontal représente le temps. Elle a déjà fait

l'objet d'une communication dans un congrès précédent [7], que nous résumons ci-après.

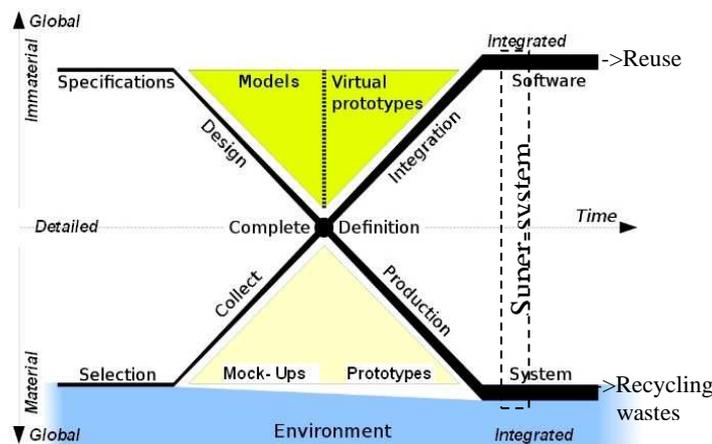


Fig 1. Schéma général de la méthode de développement en X

L'ensemble du schéma peut être compris comme un PERT, chaque ligne comme une tâche, et chaque nœud comme une transition entre des tâches. Le nœud crucial du graphique est le point central où les tâches se synchronisent. Au-dessus de l'axe passant par ce point, se trouve le domaine de l'information, des données, des logiciels et autres, alors qu'en dessous se trouve le domaine matériel. L'environnement physique est symbolisé en bas par un rectangle débordant à gauche et à droite, afin de représenter le caractère conservatif des ressources matérielles : la masse, l'énergie, etc.

Le processus de conception commence sur la branche supérieure gauche par la définition du cahier des charges. Tôt au cours de cette étape, le concepteur doit spécifier l'environnement dans lequel le système fonctionnera et les frontières entre les deux. Le super-système, ou milieu associé au produit [8], est l'ensemble constitué par le système et les éléments de son environnement qui interagissent avec lui. Il est symbolisé par un rectangle vertical tracé en pointillés. Il peut être considéré comme une fenêtre temporelle qui suit le produit tout au long de son cycle de vie et même après la fin de vie. Les échanges entre le système et son environnement sont pour la plupart connus et donc les géométries des frontières d'interaction. Cette connaissance est suffisante pour le choix des ressources (matériaux, composants, etc.) qui doivent être utilisées pour construire la structure du

système [9]. Il est alors possible de commencer la tâche de la sélection des matériaux et des éléments réels à utiliser, parallèlement à la conception. Des flèches verticales, correspondant à des échanges d'informations entre ces tâches parallèles, ne sont pas tracées sur la figure 1 afin de ne pas en brouiller la lecture. Les informations échangées concernent des quantités dimensionnées physiquement au-dessous de la ligne horizontale médiane, qui peuvent être transformées au-dessus en variables et paramètres sans dimension, e.g. des pourcentages (%). Les deux tâches de conception et de collecte des ressources se terminent au nœud central du X. À droite de celui-ci commence le processus de production des pièces et leur assemblage en dessous de la ligne médiane, alors qu'au-dessus, se déroulent simultanément le processus d'intégration du logiciel, la rédaction des documentations, etc. À droite du X, aux deux extrémités haute et basse, chaque résultat forme un ensemble intégré. Cependant le logiciel est incorporé à l'intérieur de l'ensemble du système, le produit final est la réunion des deux ensembles intégrés, l'un matériel (hard), l'autre immatériel (soft).

B. De la méthode au système.

Nous écrivons les interactions dans le super-système et les caractéristiques du système tel que présenté dans l'expression (1), dont le second membre s'inspire du langage Lisp :

$$\{P\} := (\{S\}, \{F\}, \{G\}, \{M(p)\}) \quad (1)$$

Où $\{P\}$ est l'ensemble des performances, $\{S\}$ les fonctions, $\{F\}$ la température de contraintes, pression, etc., $\{G\}$ la géométrie du dispositif et de ses composants, $\{M(p)\}$ les propriétés des matériaux ou des combinaisons de celles-ci. Le symbole $:=$ signifie que les performances découlent des contraintes $\{F\}$ et des choix de conception portant sur $\{S\}$, $\{G\}$, et $\{M(p)\}$. Du point de vue du concepteur, les constantes du problème sont l'environnement et les exigences. Il les traduit en performances $\{P\}$, contraintes $\{F\}$ et fonctions $\{S\}$. En regard de ces données il choisit les composants, les matériaux et, éventuellement, ajoute des fonctions à $\{S\}$ qui accroissent la valeur et les services, sans surcoût ou impacts. Mais nous ne pouvons pas raisonner en amalgamant

fonctionnalités, longueurs, temps, masses, énergies, etc. Il faut un espace métrique où toutes les variables et les paramètres sont sans dimension. En appliquant l'analyse dimensionnelle aux variables et paramètres identifiés précédemment, de nombreux rapports adimensionnels peuvent être forgés. Pour l'écoconception d'autres paramètres sans dimension peuvent être trouvés dans la documentation sur les indices environnementaux de la Global Reporting Initiative (GRI)[10], comme l'indicateur EN2 «Pourcentage de matières consommées provenant de matières recyclées». Les indicateurs ENx ayant une dimension physique peuvent être adimensionnés.

Notre méthode est une approche globale qui comprend à la fois les développements logiciels et matériels. Les méthodes traditionnelles usitées par les branches sont compatibles avec elle, e.g. le concepteur de la partie mécanique pourrait utiliser la méthode TRIZ pour rechercher un principe de solution innovante. Dans les sections suivantes les principes de TRIZ invocables seront signalés.

IV. CHALLENGES DE CONCEPTION ET ANALYSE,

L'objectif est d'offrir de nouveaux services aux personnes dépendantes vivant à leur domicile. Nous tentons d'identifier et de quantifier les services qui constituent l'ensemble {S}. Ensuite, nous définissons les fonctionnalités et les performances du MoUD. Puis nous terminons cette section en décrivant un résultat final idéal de MoUD, exprimé sous la forme d'une unité fonctionnelle au sens de l'analyse de cycle de vie (ACV).

Dans notre cas, le super-système est composé par le robot, les personnes présentes et distantes, le réseau, et l'environnement proche. Les logements de personnes dépendantes ont rarement des escaliers, ou elles se limitent à vivre au même étage, donc le MoUD n'a pas besoin d'en monter ou d'en descendre. Dans les cas où différents étages seraient à surveiller, nous mettrions un robot à chaque étage (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. 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 MoUDs 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 filaire et sans fil (Home Area Network, HAN). Les gens sont censés se déplacer, le MoUD 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 MoUD doit être plus petite que celle d'un déambulateur, soit moins de 3 kg. La vitesse maximale d'un MoUD est normalisée ($V < 1\text{m/s}$). La taille du robot, s'il est sur le sol, ne doit pas dépasser la taille 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 ne sont pas en mesure d'accepter 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. 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 quotidiennement des visites de soignants. La conception doit aboutir à une solution permettant un entretien facile, effectué par eux. Le robot doit pouvoir être démonté très rapidement, chaque élément remplacé, reconfiguré et testé au cours de la visite quotidienne en peu de temps. L'autonomie en énergie est une grave question. 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 micro-électroniques, 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 $MTTR_i$ ($MTTR$ idéal) de quelques minutes, un $MTBF_m$ ($MTBF$ 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, etc. Nous partageons ces données en deux ensembles, le premier des performances {P} et l'autre, les contraintes {F}.

V. ARCHITECTURE DU ROBOT

L'idée principale derrière l'architecture du robot est de construire un robot modulaire dont les composants peuvent être réutilisés lorsque le MoUD atteint sa fin de vie. Par exemple, le rapport sans dimension $D/(V*MTBF_m)$ correspond au taux d'utilisation de la plate-forme mobile, ce rapport est inférieur au taux d'utilisation de l'unité centrale. D , V et le $MTBF$ sont des caractéristiques de composants, pour chacun de ceux présents sur le

marché, nous calculons le ratio $D/(V*MTBF_m)$ et $MTBF/MTBF_m$ afin de les comparer. Les composants peuvent avoir une seconde vie pour reconstruire un autre robot ou réaliser d'autres tâches (TRIZ-pr. 1b, 25b). Cela réduit considérablement l'indicateur EN22 [10] «Masse totale de déchets, par type et par mode d'élimination», pour l'utiliser, nous introduisons le rapport (masse totale des déchets)/M Nous avons décidé de séparer le robot en sous-ensembles facilement dissociables pour réduire le rapport $MTTR/MTTR_i$. Nous pouvons espérer que dans un proche avenir, tous les matériaux composants le robot seront près de 100 % recyclables, et que le marché des plates-formes mobiles fonctionnera en économie circulaire.

A. Les entités du robot

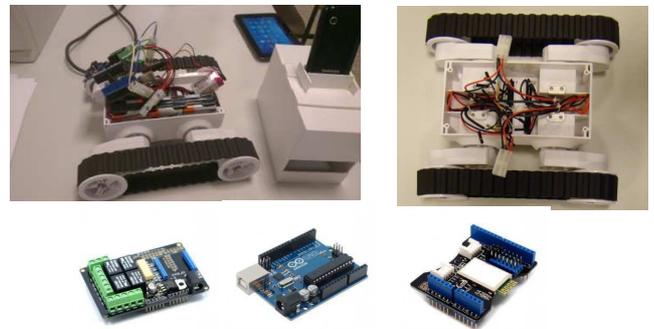


Fig. 2 - Le robot et ses entités, la plate-forme mobile, les batteries, le smartphone, l'unité centrale, les cartes Arduino, bluetooth, relais.

L'architecture du système est composée de plusieurs entités, chacune joue un rôle spécifique dans le super-système. Dans le but d'augmenter la fiabilité et de réduire les prix, le robot (figure 2) est construit avec des composants « pris sur étagère » : une plate-forme robotique chenillée (Rover 5), des cartes électroniques (Arduino, Bluetooth, et relais) et un Smartphone sous Android avec caméra(s), microphone(s), haut-parleur(s), GPS, boussole, composants de communication sans fil, etc. (TRIZ-pr. 5, 6). Les cartes relient les moteurs du Rover 5 au smartphone. En cas de défaillance d'un composant, celui-ci peut être remplacé très facilement. Ce système est presque « plug and play ». Le robot peut être commandé à distance par un utilisateur éloigné ou par la personne dépendante elle-même. L'utilisateur distant peut contrôler le

robot avec son navigateur Internet et la personne dépendante peut prendre le smartphone pour donner des ordres. L'interface est conçue pour les personnes âgées qui peuvent contrôler le robot très aisément en appuyant sur les grands boutons virtuels. Le coût total est estimé à environ 250 € (TRIZ-pr27).

Un serveur domestique fait l'interface entre l'utilisateur distant et le robot. Le système est modulaire du fait du serveur. Celui-ci peut traduire les commandes envoyées par l'utilisateur distant (respectivement les retours du robot), être compris par le robot (respectivement par l'utilisateur distant). Les modifications de l'interface du robot ou du navigateur Web n'interfèrent pas. Le dernier rôle du serveur distant est d'assurer certains contrôles de sécurité. Il n'y a pas d'accès direct au robot, chaque commande passe par le serveur. L'utilisateur final est parfois un membre de la famille, un intervenant, ou la personne dépendante elle-même. Celui-ci donne des ordres au robot, qui les exécute. Dans le même temps, il reçoit des images prises par le robot, qui en envoie périodiquement. Celles-ci aident l'utilisateur à distance à contrôler le robot et à savoir où il se situe.

B. Communication

Dans les environnements AAL, l'architecture (figure 3) doit être facile à déployer et à sécuriser. Nous prenons également en compte le fait que les personnes âgées n'ont pas à configurer le MoUD.

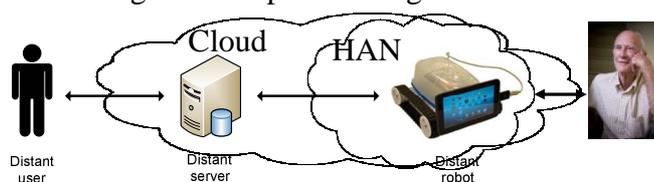


Fig. 3 – Architecture

Celui-ci doit être un système « plug and play », capable de communiquer avec un serveur distant, en utilisant une connexion Internet classique. Le robot utilise la carte Wifi ou 3G du smartphone embarqué pour communiquer avec Internet. Dans notre proposition, notre robot envoie des requêtes http à un serveur distant et en attend les réponses. La seule configuration nécessaire est la configuration de l'accès Wifi (ou la configuration de l'accès 3G si nécessaire). Du côté de l'utilisateur

distant, celui-ci envoie des requêtes http et attend des réponses http. La seule chose nécessaire de son côté est un navigateur Web, fonctionnant par exemple sur un autre smartphone, une tablette PC ou un ordinateur classique. Aucune configuration ne doit être faite. Pour faire fonctionner l'ensemble du système, le serveur distant est dans l'info-nuage local (HAN) mais peut être au besoin dans un info-nuage global (cloud).

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous décrivons notre travail sur les robots de compagnie à bas coût pour les personnes. Nos robots dont les composants peuvent être largement réutilisés, sont conçus et réalisés en suivant la méthode de développement en X. En ce moment, des partenaires français, finlandais et autrichiens sont en train d'en construire des répliques pour les tester dans les laboratoires et dans des habitats AAL. Nous allons augmenter la finesse de détail de l'analyse afin de faire de meilleurs choix de composants. Nous allons évaluer l'impact environnemental des solutions utilisables lorsque nous aurons suffisamment de données sur la durée de vie, le MTBF et le MTTR. Des questions importantes demeurent, comme le positionnement en intérieur, la consommation d'énergie, et la fiabilité de la commande à distance.

REFERENCES

- [1] Yamazaki K., Ueda R. et al., Home-Assistant Robot for an Aging Society. Proceedings of the IEEE - Special Issue on Quality of Life Technology, 8, 2429 – 2441, 2012
- [2] Badii A., Huijnen C. et al., CompanionAble: An integrated cognitive-assistive smart home and companion robot for proactive lifestyle support. 11, Gerontechnology, 2012
- [3] Wowee, Rovio from Wowee, <http://www.wowwee.com/en/support/rovio>, 2013
- [4] Meccano, Spykee from Meccano, <http://www.spykeeworld.com/spykee/UK/index.html>, 2013
- [5] Altshuller, G., Inventive Problem Solving Algorithm: ARIZ-85C. GS, 1956-1985.
- [6] Tahan M., Vareille J., Touil A., Le Parc P., The X development method, a new viewpoint about the Product Lifecycle Management. CRECOS, Helsinki Aalto University, 2010.
- [7] Tahan M., Vareille J., Le Parc P., La méthode de développement en X et éco-conception, principes de mise en œuvre et exemples. 1er Congrès National de la Recherche en IUT, Tours : France (2012)
- [8] Simondon G., Du mode d'existence des objets techniques. Editions Aubier. 1958, édition 2012.
- [9] Vareille J., Tahan M., Le Parc P., Application du développement en X : l'exemple du régulateur de pression revisité. 20ème Congrès Français de Mécanique. Besançon, 2011.
- [10] Global Reporting Initiative, IP – Indicateurs & Protocoles : Environnement: (EN). Version 3.0, 2010.