



HAL
open science

Imaginer et concevoir les interactions Humain-Robot du futur : une application à la robotisation du champ de bataille

Bruno Ricaud, Laurence Kujawa, Maxime Durandeau

► **To cite this version:**

Bruno Ricaud, Laurence Kujawa, Maxime Durandeau. Imaginer et concevoir les interactions Humain-Robot du futur : une application à la robotisation du champ de bataille. IHM'23 - 34e Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, AFIHM; Université de Technologie de Troyes, Apr 2023, Troyes, France. hal-04046418

HAL Id: hal-04046418

<https://hal.science/hal-04046418v1>

Submitted on 25 Mar 2023

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.

Imaginer et concevoir les interactions Humain-Robot du futur : une application à la robotisation du champ de bataille

Bruno Ricaud
Nexter Systems
Versailles, France
b.ricaud@nexter-group.fr

Maxime Durandeau
Nexter Systems
Versailles, France
m.durandeau@nexter-group.fr

Laurence Kujawa
Nexter Systems
Versailles, France
l.kujawa@nexter-group.fr

ABSTRACT

Nexter systems develops armored vehicles and weapon systems for the French and foreign armed forces. These increasingly sophisticated systems incorporate automated functions to assist operators on the battlefield. Simulation is essential in the design phases of these systems. In the context of designing future robotic vehicles, this article presents Nexter's exploitation of the Wizard of Oz technique in the simulation of use and its instrumentation for estimating the cognitive load on users.

CCS CONCEPTS

• Human-centered computing → HCI theory, concepts and models; Pointing; Visualization techniques.

KEYWORDS

Human-Robot Interaction; Multimodal; Wizard of Oz technics.

Bruno Ricaud, Maxime Durandeau, Laurence Kujawa. 2023. Imaginer et concevoir les interactions Humain-Robot du futur : une application à la robotisation du champ de bataille. IHM'23 : Actes étendus de la 34ème conférence Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, April 03–06, 2023, Troyes, France.

RÉSUMÉ

Nexter Systems développe des engins blindés et des systèmes d'armes pour les forces armées françaises et étrangères. Ces systèmes, de plus en plus performants, intègrent des fonctions automatisées afin d'aider les opérateurs sur le théâtre d'opération. La simulation est cruciale dans les phases de conception de ces systèmes. Dans un contexte d'aide à la conception des futurs engins robotisés, cet article présente l'utilisation par Nexter de la technique du magicien d'Oz dans la simulation d'emploi et son instrumentation pour l'estimation de la charge cognitive des utilisateurs.

MOTS CLÉS

Interactions Humain-Robots ; Multimodalité ; Technique du Magicien d'Oz.

INTRODUCTION

Dans une période d'accélération inédite des évolutions techniques, l'armée de Terre se prépare aux conflits de haute intensité. Plus durs et plus exigeants, ces conflits feront toujours plus de place à la technologie de pointe. La robotique est un maillon essentiel de la vision qu'a l'armée de Terre du champ de bataille du XXI^e siècle [2]. La collaboration Humain-Robot, facteur dimensionnant dans la réussite des concepts futurs envisagés, est donc au cœur des réflexions actuelles du groupe Nexter. Mais quelle méthodologie mettre en place pour imaginer et concevoir les Interactions Humain-Robot (IHR) de demain ? Après un état des lieux des problématiques actuelles liées aux IHR sur un théâtre d'opération militaire, la méthodologie et les résultats d'expérimentations basées sur de la simulation prospective sont présentés. Puis, l'article développe un retour d'expérience sur les avantages de ce type de simulation pour faciliter la projection et l'anticipation de besoins utilisateurs futurs.

LES PROBLEMATIQUES D'INTERACTION HUMAIN-ROBOT DU CHAMP DE BATAILLE DE DEMAIN

Actuellement les robots ont peu de fonctionnalités automatisées. Cela implique qu'un opérateur manipule en permanence, à distance, le ou les robots pour réaliser des actions. De plus, pour que des opérateurs en situation de combat utilisent en continu un robot, il est nécessaire qu'un autre soldat assure leur propre sécurité. C'est une des raisons pour laquelle les robots et les drones sont actuellement utilisés de manière limitée dans les forces. Leur utilisation est privilégiée pour réaliser des actions courtes à haute valeur ajoutée. En conséquence, les robots employés doivent être simples et légers, que ce soit pour des petits robots [12] ou des drones [11], ou alors employés par des unités spécialisées [13].

Afin d'offrir des capacités robotiques élargies, il est nécessaire de favoriser l'utilisation des robots faiblement consommateurs en ressource humaine. Pour cela, un grand nombre de travaux sont

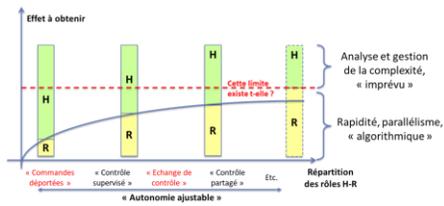


Figure 1 : Le principe de l'autonomie ajustable : Comment répartir les tâches entre un humain et un robot ?

La répartition des tâches entre humain et robot n'est pas uniquement technologique mais aussi contextuelle ; certaines phases de mission nécessiteront toujours un contrôle fin et d'autre une supervision macroscopique des robots.



Figure 2 : Salle OUISARD

OUISARD (OUtil d'évaluation de Systèmes Automatisés Robotisés Disruptifs) est une plateforme de simulation permettant d'évaluer, en situation tactique, des concepts d'organisation et d'interactions Humain-machine au sein d'un équipage de systèmes blindés futurs, ayant un niveau d'automatisation et de robotisation élevé. Il est question d'étudier les interactions entre les opérateurs et les plateformes robots automatisées (terrestres et/ou aériennes).

réalisés afin d'améliorer ces capacités à court terme [14], mais également à long terme [7]. Ces travaux tentent à la fois d'augmenter le niveau d'automatisation des robots, mais également d'améliorer la « collaboration » entre l'humain et ces machines [15]. L'objectif est de permettre une autonomie ajustable en fonction des phases de missions (figure 1).

Afin d'améliorer la collaboration Humain-Robot, plusieurs axes de recherches sont étudiés. Le premier est celui des interfaces et interactions Humain-Robot. Son objectif est de rendre les manipulations et les échanges d'informations plus instinctifs et moins impactants pour la mission principale de l'opérateur (servir son système de combat). Le second concerne l'optimisation du partage de tâches entre l'Humain et le Robot : identifier, ce qui doit être automatisé et ce qui doit rester dans les mains de l'Humain. Ces automatisations entraînent une augmentation des prises de décision et d'analyses par le système et impliquent un repositionnement de l'Humain au cœur de cette collaboration. Ainsi, il est nécessaire d'étudier les mécanismes permettant à l'Humain de rester maître de son système au sens de la compréhension des actions réalisées par celui-ci, mais également d'être en mesure de forcer sa reprise en main sur la machine. Ces mécanismes imposent alors d'avoir des processus décisionnels intelligibles par l'Humain et des capacités de compréhension au-delà de l'ordre d'exécution, c'est-à-dire « l'esprit de la mission » réalisée par le couple Humain-Robot [12].

Ce changement de paradigme apporté par la collaboration Humain-Robot nécessite d'étudier en amont la mise en œuvre de tels systèmes afin d'en comprendre l'impact sur tous ces axes et d'en préparer l'emploi potentiel.

LE MAGICIEN D'OZ POUR ETUDIER LES INTERACTIONS HUMAIN-ROBOT

La technique du magicien d'OZ [10] est couramment utilisée dans l'étude des interactions Humain-Machine. Elle repose sur le fait que les sujets interagissent avec un système informatisé qu'ils croient autonome, mais qui est en fait totalement ou partiellement contrôlé par un humain. La technique du Magicien d'Oz permet notamment d'étudier l'utilisabilité, l'efficacité et l'efficience.

La plus-value de cette technique réside dans le fait de pouvoir tester, très tôt dans le développement, des concepts d'interactions Humain-Robot, ou des scénarii d'emploi alors même que la maturité technique, technologique ou sociétale de la solution envisagée n'est pas encore acquise.

Application à la robotisation du champ de bataille

Pour simuler les futurs automatismes des systèmes robotisés, OUISARD (figure 2) se base sur la technique du magicien d'OZ. En particulier, les opérateurs utilisent la commande vocale pour interagir avec les robots et leur donner des ordres de haut niveau. La commande vocale est basée sur un dictionnaire volontairement restreint, limitant les capacités d'interprétation des ordres : « Démarrer moteur » ; « Avancer 50 mètres » ; « Observer entre Alpha et Bravo ».

Les actions demandées, censées être automatisées, sont ensuite réalisées par les magiciens. Ils exécutent des actions d'identification d'itinéraire, de déplacement, de positionnement, d'observation ou de tir sans prendre d'initiative. Les opérateurs peuvent, à tout moment, reprendre la main sur les véhicules automatisés pour les téléopérer en direct.

L'outil nous permet de jouer aisément sur plusieurs variables comme le nombre d'opérateurs attribués à chaque plateforme, le niveau d'automatisation des plateformes, le nombre de plateformes habitées ou inhabitées, la fréquence d'apparition d'impondérables (ex : perte de liaisons avec les plateformes automatisées) ou le niveau de difficulté des scénarii.

Cet outil est largement utilisé par les ergonomes au profit des études de concepts. Les travaux réalisés avec OUISARD s'intègrent dans une démarche de conception centrée utilisateurs [9], notamment par la sollicitation de représentants des utilisateurs finaux lors des évaluations. L'outil est instrumenté afin de recueillir un ensemble de données objectives et subjectives dont l'analyse permet de répondre aux problématiques des études telles que le nombre d'opérateurs nécessaires par plateforme ou le choix d'une organisation Humain-Robot pertinente. Par exemple, le suivi oculaire, avec des lunettes Tobii [16], permet d'identifier la stratégie oculaire et les points de focalisation du regard des opérateurs. L'objectif est d'identifier les informations importantes pour les opérateurs et à quel(s) moment(s) elles sont utilisées. Des observations instrumentées, des entretiens avec les utilisateurs et des questionnaires permettent de compléter ce recueil de données.

Principaux résultats

Les résultats de ces expérimentations permettent d'orienter très rapidement des choix relatifs à un type d'interaction ou à une organisation Humain-robot, et d'identifier des axes d'optimisation à privilégier. En particulier, les résultats obtenus ont permis de mettre en exergue et justifier les problématiques suivantes :

Identification des informations cruciales pour l'opérateur par l'analyse des données d'Eye Tracking (figure 3). Il ressort notamment que le drone aérien et la cartographie sont deux éléments essentiels sur la quasi-totalité de l'activité du chef de groupement.

Identification du moment et du pourquoi les opérateurs reprennent le contrôle de leur robot. Les principales raisons mises en exergue semblent être le manque de confiance vis-à-vis des robots pour la réalisation de tâches délicates (ou nécessitant une expertise opérationnelle) et le fait qu'il est parfois plus rapide de réaliser une action soi-même que de la verbaliser et de l'expliquer au robot pour qu'il la réalise.



Figure 3 : Carte de chaleur issue de l'analyse des données d'EyeTracking

Evaluation de la collaboration de l'humain avec des systèmes automatisés qui traduisent des ordres de haut niveau en actions élémentaires. Les résultats obtenus montrent l'importance d'intégrer un langage opératif (composé d'ordres complexes) au dictionnaire d'échange entre les opérateurs et les robots pour améliorer cette collaboration. Aussi, le délai entre la formulation de l'ordre vocal par l'opérateur et la réalisation de l'action par le robot constitue une variable importante qui rend difficile la réalisation d'actions complexes ou nécessitant une réactivité forte. Les résultats montrent la nécessité de ne pas considérer la commande vocale comme moyen unique d'interaction avec le système, mais qu'il est nécessaire de favoriser la multimodalité pour améliorer les performances opérationnelles et l'expérience utilisateur.

La charge de travail opérateur : ces tests ont permis d'identifier les situations générant des surcharges de travail, leurs raisons d'apparition et leurs conséquences sur le déroulement de la mission. Nous avons notamment testé une configuration où 1 ou 2 opérateurs sont en charge de la supervision d'un robot équivalent à un char d'assaut. Les résultats montrent qu'un seul opérateur pour superviser le robot peut suffire, mais uniquement pour certaines situations : lorsque la plateforme est fortement automatisée, qu'elle n'est pas le principal acteur de la manœuvre et que la situation opérationnelle est relativement simple (par exemple, lors d'un long déplacement sur route, sans présence ennemie). Deux opérateurs semblent nécessaires dès lors qu'il y a une reprise en main d'une fonction automatisée. Dans la condition à 1 opérateur, les surcharges, accentuées par la prise de décision sous stress, ont provoqué à plusieurs reprises un effet tunnel [17] focalisant les ressources attentionnelles de l'opérateur sur une partie de son activité. L'opérateur omet alors des informations importantes, au détriment de la conscience globale qu'il se fait de la situation. La conscience de la situation étant en lien direct avec la prise de décision [6], cette dernière est biaisée. C'est pourquoi, dans la conception du système futur, il sera important de s'assurer que les transformations de l'activité opérationnelle, liées à la supervision de fonctions en lieu et place d'actions directes, ne biaisent pas la compréhension de la situation de l'opérateur.

OUISARD COMME OUTIL D'AIDE A LA PROJECTION ET A L'ANTICIPATION DES BESOINS FUTURS

L'ensemble de ces résultats permettent d'identifier et de justifier les axes d'efforts nécessaires pour assurer la viabilité des concepts d'organisation Humain-Robot envisagés (exemples : le niveau d'automatisation des plateformes, les informations nécessaires au maintien de la conscience de situation ou l'acceptabilité de la délégation aux robots). Ils montrent aussi que la réussite de la collaboration Humain-Robot ne peut se limiter à la capacité technique liée à l'atteinte d'un haut niveau d'automatisation, mais qu'elle va essentiellement reposer sur la qualité du binôme Humain-Système. En effet, la technique du magicien d'Oz et des outils tels que OUISARD permettent d'identifier, outre les problématiques techniques, quels sont les facteurs limitant l'humain dans son appropriation et dans la mise à profit des systèmes hautement automatisés.

De plus, la robotisation du champ de bataille et l'intégration d'automatismes dans les plateformes militaires terrestres induisent nécessairement une transformation profonde de l'activité des opérationnels. Cette transformation doit être pensée et soutenue par une démarche appropriée. Ainsi, la simulation de l'activité permet de préparer et d'accompagner ces changements. L'outil OUISARD nous a permis d'identifier, et ainsi d'anticiper de futurs besoins utilisateurs. Plus encore, il nous permet de construire, pas à pas, l'Activité Future Probable (AFP) des opérateurs de véhicules blindés du futur. L'AFP correspond à « une forme possible de la future activité réelle qui résulte à la fois des propriétés et capacités des opérateurs impliqués, des objectifs, moyens et ressources de travail dont ils bénéficieront, et des caractéristiques de l'environnement physique, organisationnel et technologique » [5]. OUISARD est donc un outil de simulation prédictive adapté à une démarche d'Ergonomie prospective. La simulation prédictive « vise, à partir de la compréhension du travail réel actuel, à “faire jouer” par les personnes concernées le travail futur probable dans les conditions imposées par les nouveaux scénarios de prescriptions proposés par les prescripteurs. » [1]. Elle permet à un opérateur de confronter les « invariants » qui guident son activité aux nouvelles circonstances dans lesquelles son action pourrait s'inscrire (la future activité simulée). C'est ce travail de réélaboration à la fois de ses pratiques et de ses représentations, qui va permettre aux opérateurs d'apprécier assez concrètement ce que les évolutions techniques et technologiques pourraient changer dans leur activité [3]. Les opérateurs peuvent ainsi mesurer les incidences qu'aura le nouveau système dans le déroulement de leur activité : ce qu'il permet, autorise, force ou empêche de faire, mais aussi ce qu'il permet de mieux faire, moins bien ou différemment. Ces questions d'efficacité et de sens de l'activité s'avèrent cruciales dans l'acceptation de toute innovation [4].

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La technique du magicien d'Oz est exploitable dans le cadre de la conception et de la prospection industrielle. Couplée avec une approche facteur humain instrumentée et méthodique, des résultats semblables à ceux obtenus dans la littérature [3,4,5] sont exploitables dans l'industrie (cf. §Principaux résultats). Nous avons montré que son application sur de l'évaluation de concept intégrant un haut niveau d'autonomie est éclairant à la fois pour les aspects techniques robotiques (que dois-je développer comme fonction), ergonomique (comment dois-je faire le lien Humain-Robot), et aidant les utilisateurs à se projeter dans l'emploi de ces futures technologies.

Les résultats d'algorithmes étant dépendants des magiciens, les temps de réaction, les comportements ou erreurs du système ne sont pas pleinement représentatifs de la réalité. L'homme est donc l'une des principales limites de la technique puisque l'on ne peut simuler que ce que l'homme peut jouer : en fonction de ses connaissances, de ses compétences et de ses capacités. Ainsi, l'augmentation des actions à réaliser par le magicien (en matière de volume, de simultanéité,

de complexité et de retour opérateur) est nécessairement corrélée à une augmentation du besoin en nombre de magiciens, en entraînements supplémentaires et en matériel associé.

OUISARD ayant montré son intérêt tant sur l'évaluation des nouveaux usages que sur la charge cognitive, nous développons son utilisation à d'autres cas d'usage, notamment dans le cadre de concepts moins automatisés tels que les robots tactiques polyvalents [8], afin d'évaluer la répartition des tâches sur des robots contemporains intégrant de la multimodalité.

RÉFÉRENCES

- [1] Flore Barcellini, Laurent Van Belleghem, and François Daniellou. 2013. Les projets de conception comme opportunité de développement des activités. In *Ergonomie constructive*. Paris : PUF, 191-206.
- [2] Général Charles Baudoin. 2018. L'impact des systèmes robotiques militaires pour l'armée de Terre et les enjeux liés à leur autonomie. In *Autonomie et létalité en robotique militaire*, Les Cahiers de la Revue Défense Nationale.
- [3] Marc-Eric Bobillier Chaumon, Sabrina Rouat, Elsa Laneyrie and Bruno Cuvillier. 2018. De l'activité DE simulation à l'activité EN simulation : simuler pour stimuler. In *Activités*, 15(15-1).
- [4] Marc-Eric Bobillier Chaumon. 2016. L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : premiers étayages pour une clinique de l'usage. In *Psychologie du Travail et des Organisations*, 22(1), 4-21.
- [5] Eric Brangier and Jean-Marc Robert. 2010. Manifeste pour l'ergonomie prospective : anticiper de futures activités humaines en vue de concevoir de nouveaux artefacts. In *Proceedings of the 22nd Conference on l'Interaction Homme-Machine*, 57–64.
- [6] Mica R Endsley. 2017. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. In *Situation awareness*, Routledge, 9-42.
- [7] Nathan Gain and Florent de Saint Victor. 2021. MGCS : derrière l'armure, la poursuite d'un système de combat terrestre complet – Partie 1. En ligne <https://www.forcesoperations.com/amp/mgcs-derriere-larmure-la-poursuite-dun-systeme-de-combat-terrestre-complet-partie-1/>.
- [8] Cécile Jourdas and Bruno Ricaud. 2022. Robots Tactiques Polyvalents, vers la réalisation de missions complexes en autonomie. In *PFIA, APIA 2021*, 6-24. <https://pfia2021.fr/conferences/apia/> Session 1.
- [9] ISO 9241-210, 2019 : Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs. (2019).
- [10] John F. Kelley. 1984. An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 2(1), 26–41.
- [11] MinArm. 2022. PD 100 - Black Hornet. En ligne <https://www.defense.gouv.fr/terre/nos-materiels-nos-innovations/nos-equipements-terre/nos-vehicules/pd-100-black-hornet>.
- [12] MinArm. 2022. Plateformes robotisées multifonctions. En ligne <https://www.defense.gouv.fr/terre/nos-materiels-nos-innovations/nos-equipements-terre/nos-vehicules/plateformes-robotisees-multifonctions>.
- [13] MinArm. 2022. MINIROGEN - mini robot du génie. En ligne <https://www.defense.gouv.fr/terre/nos-materiels-nos-innovations/nos-equipements-terre/nos-vehicules/minirogen-mini-robot-du-genie>.
- [14] MinArm. 2022. CoHoMa - coopération homme-machine. En ligne <https://www.defense.gouv.fr/terre/actualites/cohoma-cooperation-homme-machine>.
- [15] Pierre Santoni. 2018. Les robots, nouveaux partenaires du combattant dans les environnements dangereux et difficiles. In *Autonomie et létalité en robotique militaire*, Les Cahiers de la Revue Défense Nationale.

[16] Tobii. 2022. *Eye trackers*. En ligne <https://www.tobii.com/products/eye-trackers>

[17] Christopher D. Wickens and Amy L. Alexander. 2009. Attentional tunneling and task management in synthetic vision displays. In *the International Journal of Aviation Psychology*, 19(2), 182-199.