



HAL
open science

Robots collaboratifs dans l'industrie française en 2021 : acceptation des opérateurs et points de vue d'industriels

Sophie Lemonnier, Julie Simonin, J.-B. Lanfranchi

► To cite this version:

Sophie Lemonnier, Julie Simonin, J.-B. Lanfranchi. Robots collaboratifs dans l'industrie française en 2021 : acceptation des opérateurs et points de vue d'industriels. 2023. hal-04014990

HAL Id: hal-04014990

<https://hal.science/hal-04014990v1>

Preprint submitted on 5 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.

Robots collaboratifs dans l'industrie française en 2021 : acceptation des opérateurs et points de vue d'industriels.

Collaborative robots in French industry in 2021: operators' acceptance and industrialists' points of view.

SOPHIE LEMONNIER, Université de Lorraine, PErSEUs, F-57000 Metz, France

JULIE SIMONIN, Université de Lorraine, PErSEUs, F-57000 Metz, France

JEAN-BAPTISTE LANFRANCHI, Université Paris Cité and Univ Gustave Eiffel, LaPEA, F-92100 Boulogne-Billancourt, France

This study addresses different themes around the state of acceptance of cobotics in the French industrial world, notably through an online questionnaire with operators using cobots in their professional activity. In order to study the acceptance of this new technology, we were inspired by the META-UTAUT model to constitute the relevant network of variables (ease of use, performance expectation, facilitating conditions, social influence(s), attitudes, intention of use, felt emotions). The quantitative results obtained from a small sample of 20 operators suggest some significant relationships. In addition, 32 semi-directive interviews with industrialists and different field actors (integrator, peri-robotic suppliers, user companies) allow us to discuss in terms of costs and gains the insertion of the cobot at the organizational level.

CCS Concepts: • **Human-centered computing** → **Collaborative interaction**.

Additional Key Words and Phrases: Cobotics, Industry 4.0, Industry of the future, Operators, UTAUT, Acceptance, Intent to use.

Cette étude aborde différentes thématiques autour de l'état de l'acceptation de la cobotique dans le monde industriel français, notamment par le biais d'un questionnaire en ligne auprès des opérateurs utilisant des cobots dans leur activité professionnelle. Afin d'étudier l'acceptation de cette nouvelle technologie, nous nous sommes inspirés du modèle META-UTAUT pour constituer le réseau de variables pertinent (facilité d'utilisation, attente de performance, conditions facilitatrices, influence(s) sociale(s), attitudes, intention d'usage, émotions ressenties). Les résultats quantitatifs obtenus auprès d'un petit échantillon de 20 opérateurs laissent entrevoir quelques relations significatives. En complément, 32 entretiens semi-directifs avec les industriels et différents acteurs de terrain (intégrateur, fournisseurs péri-robotiques, entreprises utilisatrices) nous permet de discuter en termes de coûts et de gains de l'insertion du cobot au niveau organisationnel.

Mots-clés additionnels : Cobotique, Industrie 4.0, Industrie du futur, Opérateurs, UTAUT, Acceptation, Intention d'usage.

Reference:

This is the author's draft version of the work. It is posted here for your personal use. Not for distribution. The definitive version of record was published in IHM '23: Proceedings of the 34th Conference on l'Interaction Humain-Machine.

ISBN 978-1-4503-9825-1

<https://doi.org/10.1145/3583961.3583979>

1 INTRODUCTION

Les robots collaboratifs ou cobots s'inscrivent parmi les technologies au cœur de la 4e révolution industrielle. Cette "Industrie 4.0" est induite par les changements liés à la démocratisation du numérique et de l'internet des objets. Elle a pour objectif de renforcer l'efficacité des processus industriels et d'accroître la productivité en faisant communiquer les machines, les ressources et les humains à travers des espaces virtuels. La cobotique fait référence au travail de plusieurs

agents, humain et robot, dans la réalisation d'objectifs communs [17]. Cette possibilité donnée au cobot, en opposition au robot industriel classique, d'interagir, physiquement ou non, dans un espace de travail partagé, est au cœur même de la définition d'un cobot [16]. C'est dans cette logique d'interaction de haut niveau avec l'homme que la robotique collaborative souhaite se distinguer de la robotique industrielle classique : être plus légère, plus petite et plus facile à programmer pour être accessible aux non-roboticiens. Telle est la promesse des cobots sur la flexibilité apportée aux entreprises [7].

A ce jour, plusieurs constructeurs se positionnent sur ce marché émergent, estimé à 600 millions USD en 2020 [14]. Certains sont entièrement dédiés à la cobotique comme Universal Robots ou Techman Robo, d'autres sont issus de la robotique classique : ABB, FANUC, KUKA ou encore STÄUBLI [15]. La proportion de cobots dans les usines reste toutefois assez faible aujourd'hui. En effet, bien que le marché soit en rapide expansion (+11% par rapport à 2018), les cobots ne représentaient que 4.8% des robots vendus dans le monde en 2018 selon un rapport de l'IFR (International Federation of Robotics) publié en 2020 [8].

En 2020, le cabinet de conseil WaveStone [20] a réalisé un baromètre sur la mise en place de programmes 4.0 dans l'industrie française. Selon ce rapport, 86% des industriels sondés ont déjà lancé des projets autour de la transformation digitale (automatisation, internet des objets, nouveaux procédés, etc.). Dans ce rapport, les "freins humains" à l'insertion des programmes 4.0 sont aujourd'hui en recul (32% en 2020 contre 45% en 2019), mais les freins financiers restent importants : 43% des industriels interrogés considèrent le retour sur investissement trop faible à court ou moyen terme par rapport au besoin de résultats rapides, dans le contexte post COVID-19. Les aides financières mises en place par l'état en 2020 vont peut-être diminuer ce frein. Cependant, parmi les 66% des industriels ayant constaté des résultats en 2020 suite à la mise en place d'un dispositif "Industrie 4.0", 30% d'entre eux ont constaté des résultats en moins d'un an, 44% entre 1 et 2 ans et 26% ont mis plus de 2 ans à obtenir des résultats. Enfin, concernant la cobotique, WaveStone estime que les gains liés à l'introduction des cobots sont encore "difficilement tangibles" même si on anticipe une satisfaction accrue et moins de pénibilité.

Fort de ces constats, nous pouvons nous interroger sur les motivations qui ont poussé les entreprises françaises à s'équiper de cobot et quelles sont les applications actuelles en cobotique. Plus précisément nous nous intéresserons au ressenti des opérateurs, travaillant au contact de ces cobots, vis-à-vis de l'introduction de ces nouveaux outils. Ainsi, notre étude a pour but d'évaluer l'acceptation et l'usage des technologies cobotiques par des opérateurs utilisateurs.

Le modèle UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology [18]), qui repose notamment sur les dimensions d'utilité perçue, de facilité d'utilisation, d'influence sociale, ou de conditions facilitatrices, est un modèle classique de la littérature pour évaluer l'acceptation des technologies. Cependant, il n'est pas encore très utilisé pour évaluer l'acceptation des robots collaboratifs en production par les opérateurs. Certaines études projettent de le faire [11], mais n'ont pas encore collecté de données. D'autres recherches restent purement expérimentales et n'ont pas les contraintes de la production [5]. De manière générale, l'acceptation dans ces travaux semble très centrée sur l'effet de l'anthropomorphisme du cobot ou la problématique de la technophobie dans l'insertion du cobot ou robot [13]. Une étude évoque la question de l'acceptation de l'opérateur [3] comme un facteur qui influence les managers à l'adoption d'un cobot, mais s'intéresse plus aux organisations dans leur globalité qu'au niveau inter-individuel.

Une étude de l'INRS a cependant adaptée le modèle UTAUT à la question de l'acceptation plus spécifiquement des opérateurs et a développé un questionnaire associé [21]. Cette étude est d'autant plus pertinente pour notre travail

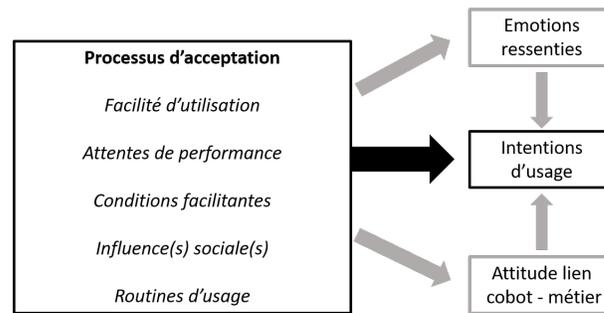


FIG. 1. Modèle des facteurs de l'étude sur l'acceptation des cobots par les opérateurs.

que les exosquelettes peuvent être considérés comme très proches des cobots, voire un sous-genre de ceux-ci, selon les spécificités de l'exosquelette en question (notamment le fait qu'il soit actif ou passif).

En nous inspirant du courant de recherche sur l'acceptation des nouvelles technologies et plus particulièrement, des variables endogènes du modèle META-UTAUT [4], qui est une extension du modèle UTAUT [18], et en nous appuyant sur le travail réalisé par l'INRS [21], nous avons donc proposé un modèle d'étude pour construire un questionnaire que nous détaillerons par la suite. Ce modèle est présenté dans la Figure 1, dans lequel nous proposons que les opérateurs seront plus enclins à utiliser un cobot (intention d'usage) :

- s'ils le perçoivent comme performant et facile à utiliser ;
- si son usage est valorisé par les pairs et la hiérarchie (influences sociales) ;
- si une aide existe dans l'entreprise en cas de problèmes avec le cobot (conditions facilitatrices) ;
- s'il y a des routines d'usage mises en place dans l'entreprise.

De plus, nous posons l'hypothèse complémentaire que la perception forte de ces cinq facteurs génère des émotions positives et participe au développement d'une attitude positive concernant l'inclusion des cobots au sein de leur métier (sens du travail, conditions de travail, sentiment de développer de nouvelles compétences). Les émotions et cette attitude positives sont ici des variables médiatrices du processus d'acceptation sur les intentions d'usage : voir sous un jour positif son travail et avoir des affects positifs, grâce à l'adjonction d'un cobot, soutiendront les intentions d'usage.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Participants

2.1.1 Stratégie de contact. Nous avons commencé par contacter les constructeurs de cobots, puis les intégrateurs et enfin les entreprises utilisatrices de cobots. Notre idée de départ était de demander aux constructeurs de cobots un carnet de contact d'entreprises qui nous permettrait d'accéder aux opérateurs de cobots. Nous avons également contacté des fournisseurs péri-robotiques (pinces, matériel de préhension pour bras cobotique, logiciels, etc.) qui nous ont redirigé vers les intégrateurs (Figure 2).

En raison de l'application du RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données), les constructeurs et intégrateurs ne pouvaient pas nous transmettre ces données sans l'accord de leurs clients. Certains ont toutefois accepté de diffuser notre questionnaire eux-même à leur base clients, d'autres ont demandé préalablement aux clients leur accord pour la diffusion de leurs coordonnées. Cette stratégie nous a permis d'être au contact de plusieurs acteurs du monde de la cobotique et d'avoir un panorama de cette industrie émergente.

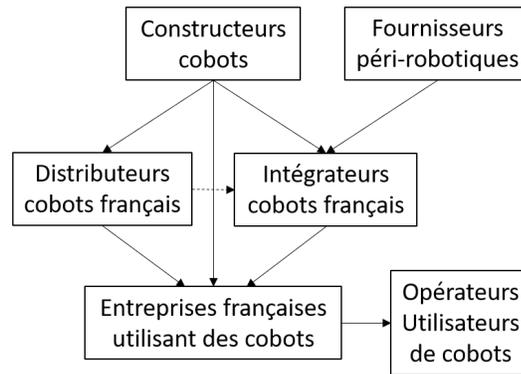


FIG. 2. Description du réseau de distribution des cobots en France, qui a servi d'appuis à notre stratégie de contact pour atteindre l'utilisateur final, l'opérateur qui travaille en contact avec un cobot.

Sur 64 intégrateurs contactés, sept ont accepté de nous mettre en contact avec au moins une entreprise cliente, six ont refusé, douze n'avaient pas d'entreprise cliente en production ou n'ont pas encore pu intégrer de cobot. Enfin, 39 intégrateurs n'ont pas répondu à nos sollicitations. Au total, nous avons contacté 25 entreprises utilisatrices de cobots : treize ont accepté de transmettre notre questionnaire à leurs salariés, quatre ont refusé, deux n'avaient pas de cobot en production au moment du contact et six sont restées sans réponse.

2.1.2 Échantillon observé. A l'issue de la diffusion de notre questionnaire, nous avons comptabilisé 20 réponses exploitables pour l'analyse de données. Dix-huit questionnaires ont été intégralement remplis et deux étaient quasi-complets (absence de résultats sur les questions socio-démographiques). Parmi les 18 participants qui ont complété notre questionnaire, nous avons compté une femme et 17 hommes. Leur âge varie de 29 à 57 ans avec une moyenne d'âge des répondants de 43 ans et un écart-type de 7.8 ans.

Dix-sept participants à notre enquête sont en CDI, un est en CTT (Contrat de Travail Temporaire) / Interim. En ce qui concerne leur ancienneté en mois dans leur entreprise et au poste qu'ils occupent actuellement, nous obtenons : 95 mois en moyenne dans leur entreprise (ET = 54, Min = 28, Max = 234) et 53 mois au poste (ET = 34, Min = 4, Max = 121).

Nous avons également interrogé les participants sur le secteur d'activité de l'entreprise dans laquelle ils travaillent (Figure 3) ainsi que leur taille (Figure 4).

En résumé, malgré un très faible échantillon, nous avons tout de même une certaine hétérogénéité de celui-ci en termes d'âge, d'ancienneté, de secteur d'activité et de taille d'entreprise.

2.1.3 Échantillon pour les entretiens semi-directifs. Tout le processus de recrutement des participants, donc des opérateurs, a nécessité de très nombreux échanges avec différents acteurs, responsables ou ingénieurs des entreprises où un cobot a été préalablement installé. Nous avons également eu l'opportunité d'échanger avec des intégrateurs de robots collaboratifs à propos de leur activité et de l'intérêt pour cette nouvelle technologie. Ces échanges ont pris la forme d'entretien semi-directif et abordaient toujours les mêmes points, avec une distinction selon si notre interlocuteur étaient une entreprise ou bien un intégrateur. Au final, c'est avec trente-deux personnes (2 femmes et 30 hommes ; 14 Intégrateurs / Distributeurs et 18 Entreprises) que nous avons pu échanger en détail sur l'ensemble de ces points. Plus précisément, concernant les entreprises, leur effectif était inférieur à 100 pour 6 d'entre elles, entre 100 et 2000 pour 5 autres, et les 7 dernières avaient un effectif supérieur à 2000. Leur domaine d'activité était varié, 4 dans la

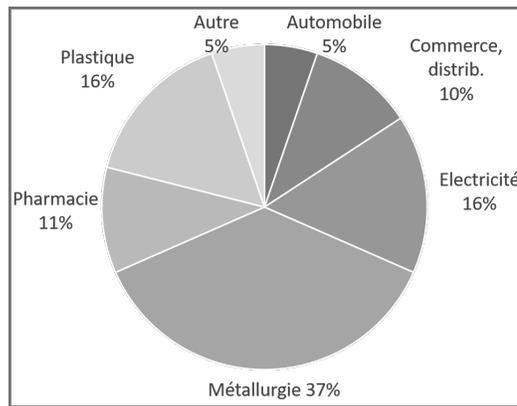


FIG. 3. Secteur d'activité de l'entreprise des participants.

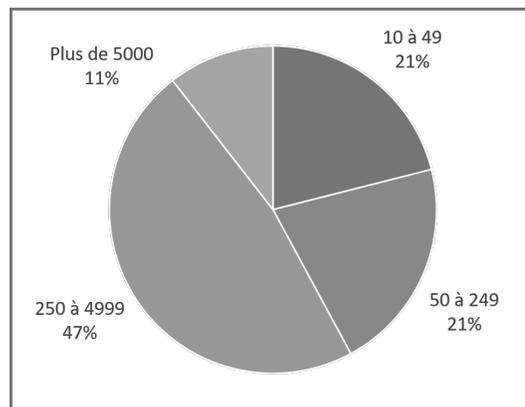


FIG. 4. Nombre de salariés dans l'entreprise des participants.

manufacture de pièces métalliques, 3 dans l'automobile, 2 dans l'aéronautique, 2 dans l'aérospatial, et puis une pour chacun des domaines suivants : l'électricité, la communication, le médical, le nettoyage, la pharmaceutique, le plastique et le thermique.

2.2 Structure du questionnaire

Le questionnaire est construit en sept parties et comporte 66 questions au total, dont sept conditionnelles. Le dictionnaire des questions est consultable sur OSF¹. Pour son élaboration, nous nous sommes inspirés d'une échelle pré-existante sur les émotions au travail [19], ainsi que d'une étude de l'INRS [21] utilisant le modèle UTAUT appliqué aux exosquelettes. Nous détaillons ci-après les huit parties du questionnaire en spécifiant toutes les inspirations utilisées pour sa construction :

¹https://osf.io/587rx/?view_only=27c03739aa254a6593e6bd115948825f

- une partie sur le **type de cobot** (six items) vise à identifier le type de cobot utilisé le plus souvent par le salarié et les cas d'utilisation (travail sur la même pièce chacun son tour, au même moment, chargement/déchargement de pièces, etc.) et la tâche effectuée (perçage, soudage, vissage, ébavurage, etc.);
- une partie sur la **fréquence d'usage** (six items) du cobot permet de récupérer la marque du cobot et des informations sur la fréquence d'utilisation du cobot sur les 12 derniers mois. Le répondant a plusieurs choix d'échelles (jours par semaine, jours par mois, semaines par mois, etc.);
- une partie sur les **attentes de performance** (quatre items, dont trois inspirés par [21]) vise à étudier la perception d'efficacité du salarié lorsqu'il travaille avec le cobot, selon différents critères : vitesse, productivité, qualité du travail, efficacité ressentie sur une échelle en six points allant de "Très mauvaise (1)" à "Très bonne (6)";
- une partie sur l'opinion sur la **facilité d'usage du cobot** (dix items, dont sept inspirés par [21]) cherche à identifier les aspects du cobots qui rendent son utilisation facile (mise en place, programmation, réglage, mouvements, etc.). Le répondant doit évaluer plusieurs affirmations sur une échelle en sept points allant de "Pas du tout d'accord (1)" à "Tout à fait d'accord (7)" avec la possibilité d'être "Ni d'accord, ni pas d'accord (4)";
- une partie sur les **relations aux autres et usage du cobot** (huit items inspirés de [21]) comporte à la fois des questions sur les conditions facilitatrices (suivi, soutien des collègues ou d'une personne dans l'entreprise, accès à de la documentation, etc.) et les influences sociales qui poussent ou non à l'utilisation du cobot au sein de l'activité professionnelle;
- une partie sur les **attitudes et émotions ressenties** en présence du cobot (dix-sept items, dont trois inspirés de [6], huit par [19] et cinq par [21]) évalue dans quelle mesure le cobot participe à une valorisation ou une dévalorisation de leur profession ainsi que les émotions ressenties (positives et négatives);
- une partie sur l'utilisation à venir évalue **l'intention d'usage** (5 items) du cobot qui renvoie à la motivation d'usage;
- enfin une partie avec diverses questions **socio-démographiques** (dix items) comme l'âge, l'ancienneté dans l'entreprise et sur le poste, le type de contrat, la taille et le secteur d'activité de l'entreprise.

Le système de facteurs de la Figure 1 propose que plus les opérateurs considéreront que le cobot est facile d'utilisation, qu'il permet des gains de productivité et un travail de qualité (Attentes de performance), qu'ils se sentent soutenus et incités à un usage routinier de celui-ci (Conditions facilitantes, Influence(s) sociale(s) et Routines d'usage), plus les opérateurs ressentiront d'émotions positives à son contact, que c'est un "plus" pour leur profession et non une menace (Attitude cobot - métier plus positive) et qu'enfin ils seront plus motivés à l'utiliser (Intentions d'usage).

2.3 Analyse des données

La première partie des résultats est descriptive et porte sur les deux premières parties de notre questionnaire, à savoir le type de cobot et la fréquence d'usage.

Nous nous intéressons ensuite aux données des dimensions du modèle UTAUT : attentes de performance du salarié, opinion sur la facilité d'usage du cobot, relations aux autres et usages du cobot, attitudes et émotions en présence du cobot, intention d'usage. Des scores ont été construits à partir des réponses aux échelles sur les items appartenant à une même variable. Afin de conserver une fiabilité interne satisfaisante, nous avons choisi de ne pas retenir tous les items pour les dimensions relatives à la facilité d'usage, de l'attitude sur les cobots, des émotions positives et de l'intention d'usage. Nous ajoutons à ces variables le temps d'utilisation du cobot par le salarié, standardisé en semaines par an. Pour tester le modèle, nous avons prévu un objectif minimal de 150 participants. Cet objectif n'ayant pas été atteint

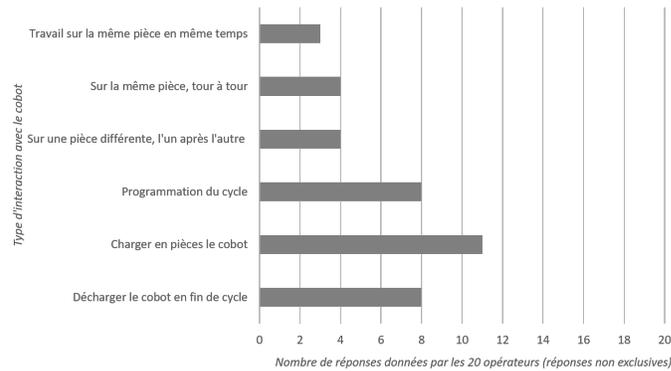


Fig. 5. Partage de l'espace de travail entre le cobot et l'opérateur.

en 10 mois de diffusion, nous avons donc adapté nos analyses à notre échantillon. Nous nous sommes limités à une analyse bivariée à travers une matrice de corrélations. Seules les corrélations testées comme significatives grâce un t de Student (test réalisé sur 20 participants, considéré comme robuste) et ayant une taille d'effet fort (proche ou supérieure à $r = .50$; Cohen, 1992) ont été commentées.

Pour compléter ces analyses, les résultats obtenus suite à 32 entretiens semi-directifs auprès d'industriels durant la phase de recrutement seront présentés. Malgré le côté très exploratoire de cette démarche, nous avons trouvé le contenu extrêmement riche, et il donne de nombreuses pistes de réflexion pour expliquer nos résultats, ainsi que nos difficultés à recruter des participants.

3 RÉSULTATS

3.1 Pratiques et activités avec le cobot

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'activité du salarié avec le cobot : comment se partagent-ils l'espace de travail avec le cobot (Figure 5) et quelle(s) tâche(s) réalisent-t-ils avec l'aide du cobot (Figure 6)? Le cobot étant un dispositif mobile pouvant être programmé pour plusieurs applications, il était possible de choisir plusieurs réponses parmi les modalités proposées.

Concernant le type de cobot majoritairement utilisé par les opérateur ayant répondu au questionnaire, une seule catégorie a été représenté dans les données. Elle avait été ainsi formulée : "assiste l'opérateur de manière autonome sans un contact manuel prolongé". Nos résultats seront donc en rapport à cette définition de ce qu'est un cobot, sans réponse pour les deux définitions suivantes, qui couvraient respectivement la terminologie de cobot permettant une comanipulation parallèle et sérielle [10] : "Dispositif de levage de charge intelligent qui suit le mouvement de l'opérateur grâce à une poignée sensitive et/ou un système d'auto-équilibrage. Ils fonctionnent avec un système électrique ou hybride pneumatique/électrique."; "Dispositif d'assistance au port d'outil qui libère l'opérateur de la charge de son outil (meuleuse, perceuse...) tout en garantissant un suivi du mouvement fidèle au geste de l'opérateur."

Les résultats montrent que l'opérateur intervient le plus souvent dans des tâches en amont ou en aval de l'activité du cobot (programmer, charger, décharger). La co-activité semble plus rare. Parmi les réponses "Autre" figurent les résultats suivants : dépose de colle (x2), assistance rivetage, trempage dans un bain d'étain (x2), caméra de contrôle.

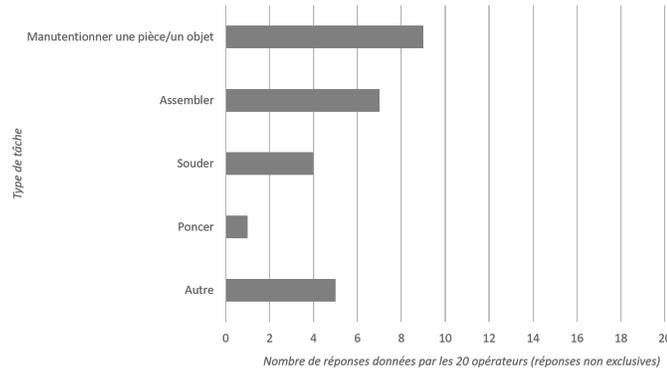


FIG. 6. Usage du cobot.

TABLE 1. Résultats au questionnaire détaillés pour chacun des 9 facteurs. Moyennes, écart-types, α = Alpha de Cronbach. Temps d'utilisation du cobot calculé en semaines par an.

Facteurs	Moy.	ET	α
1. Attentes de performance	4.9/6	0.6	0.88
2. Facilité d'usage	5.0/7	1.0	0.89
3. Conditions facilitatrices	6.1/7	0.9	0.84
4. Influences sociales	5.5/7	1.3	0.91
5. Attitudes	5.6/7	1.3	0.73
6. Émotions négatives	2.4/7	1.0	0.84
7. Émotions positives	4.9/7	1.3	0.88
8. Intention d'usage	4.5/6	1.3	0.73
9. Temps d'utilisation	28.0/52	19.0	–

Nous avons recensé trois marques de cobots utilisées par les participants dans leur activité professionnelle, dont une largement majoritaire (17 répondants). Seul un participant utilise un cobot double-bras dans son atelier.

Nous nous sommes également intéressés aux durées d'utilisation du cobot par les opérateurs. Pour cela, nous avons défini plusieurs échelles, et nous en détaillons les résultats ci-dessous :

- la fréquence d'usage générale en semaines par an, avec une médiane à 31.4 semaines (Min = 2.4, Q0.25 = 9, Q0.75 = 49, Max = 52);
- le nombre de mois écoulés depuis le 1er usage du cobot, avec une médiane à 27 mois (Min = 1, Q0.25 = 22, Q0.75 = 36, Max = 121);
- la durée d'utilisation les jours où le cobot est utilisé par le salarié, avec une médiane à 6.25 heures (Min = 0.25, Q0.25 = 3, Q0.75 = 7.62, Max = 20).

Dans notre échantillon, l'usage du cobot est donc assez intense pour la moitié des opérateurs avec plus de 31 semaines d'usage ou plus de 6 heures par jour.

TABLE 2. Matrice de corrélation sur les variables UTAUT et temps d'utilisation calculé en semaines par an. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$. 1. Attentes de performance, 2. Facilité d'usage, 3. Conditions facilitatrices, 4. Influences sociales, 5. Attitudes, 6. Émotions négatives, 7. Émotions positives, 8. Intention d'usage, 9. Temps d'utilisation.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	–								
2	0.56*	–							
3	0.06	0.25	–						
4	0.48*	0.34	-0.20	–					
5	0.08	0.28	0.17	-0.09	–				
6	-0.40	0.04	-0.06	-0.25	0.04	–			
7	0.00	0.07	0.12	-0.03	-0.30	-0.05	–		
8	0.28	0.32	0.15	0.03	0.72***	0.02	-0.12	–	
9	0.28	0.05	-0.12	-0.36	0.28	-0.21	0.02	0.28	–

3.2 Acceptation et intention d'usage

Les résultats obtenus à partir du questionnaire en ligne sont décrits dans la Table 1, et les résultats des corrélations entre les différents facteurs sont consultables dans la Table 2. Outre que les moyennes des facteurs indiquent un contexte plutôt positif de co-évolution de l'opérateur et du cobot, on peut aussi remarquer quelques liens significatifs entre ces variables, formulées ci-dessous :

- plus l'opérateur pense que le cobot est une source de développement de sa professionnalité (attitude positive envers le cobot), plus il a l'intention de l'utiliser ($r = 0.72$, $p < .001$);
- un cobot perçu comme efficace est aussi un cobot perçu comme simple à utiliser ($r = 0.56$, $p < .05$);
- l'attentes de performance du cobot semble dépendre en partie de l'opinion d'autres personnes influentes (direction, responsable direct, collègues, personnes que le salarié apprécie dans l'entreprise), ainsi plus l'opérateur ressent que d'autres personnes le poussent à l'utiliser, plus il perçoit ce cobot comme efficace ($r = 0.48$, $p < .05$).

3.3 Avantages et freins à la démocratisation de la cobotique du point de vue des entreprises et des intégrateurs

Les thèmes abordés avec les entreprises étaient les suivants :

- applications, usages du cobot et état actuel;
- durée d'installation du cobot, rôle de l'interlocuteur dans l'insertion du cobot;
- travail des opérateurs avec le cobots (nombre d'opérateurs / techniciens concernés, types d'opération, changement de compétences / d'activités liées à l'introduction du cobot);
- mesures de sécurité mises en place;
- avantages, inconvénients, freins à l'installation du cobot;
- perspectives.

Les thèmes abordés avec les intégrateurs étaient les suivants :

- intérêt pour la cobotique (pour l'intégrateur si non dédié, pour le client);
- applications et secteurs d'activité privilégiés des cobots;
- dynamique actuelle autour de la cobotique;
- freins à l'installation du cobot.

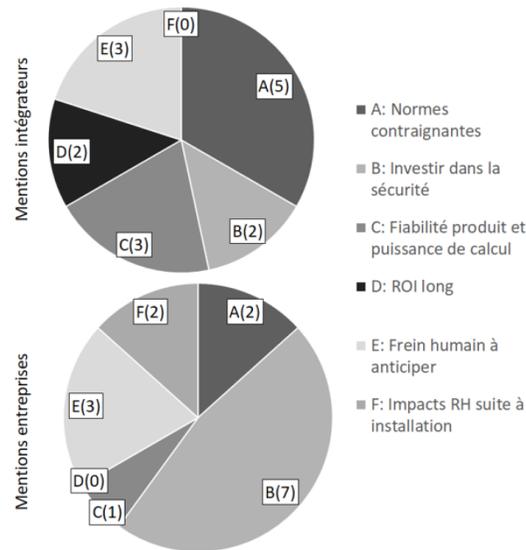


FIG. 7. Freins à l'installation d'un cobot (entre parenthèse, est indiqué le nombre de mentions).

Selon plusieurs intégrateurs, les cobots travaillent surtout en autonomie sur des applications de *pick and place* et/ou de palettisation. Il s'agit d'applications facilement duplicables sur d'autres lignes et où le retour sur investissement (ROI) est acceptable (< 1 an). Elles représenteraient environ 80% des applications en cobotique aujourd'hui. Les applications où la dimension collaborative est présente restent à ce jour marginales, les cobots sont effectivement plutôt en coexistence (i.e., simple partage d'espace) ou en coopération (i.e., partage d'espace avec un objectif commun sans interaction directe) avec l'opérateur [7].

L'analyse de contenu des entretiens a permis de mettre à jour six grands thèmes pour les freins liés à l'installation d'un cobot (voir Figure 7), ainsi que six grands thèmes également pour les avantages liés à l'installation d'un cobot (voir Figure 8). Les pourcentages rendent compte de l'apparition au moins une fois d'un des six thèmes dans chacun des 32 entretiens. Les principaux freins et inconvénients à la cobotique cités par les entreprises et intégrateurs sont les investissements à faire dans la sécurité, les contraintes liées aux normes ISO/C et les freins humains à anticiper (Figure 7). Parmi les investissements dans la sécurité à réaliser, on peut citer l'achat de scrutateurs laser ou des barrières de sécurité. Concernant les freins humains, il s'agit de la résistance des salariés à l'usage du cobot, surtout s'il n'y a pas eu de formation ou de sensibilisation avant l'installation. En effet, cela peut aller jusqu'au sabotage du cobot pour le retirer de la ligne de production. Les impacts RH (Ressources Humaines) rencontrés par les entreprises comprennent les licenciements liés à l'installation du cobot ou encore le renouvellement de compétences à apporter au sein de l'entreprise (besoin d'embaucher du personnel plus qualifié et donc plus coûteux) pour faire fonctionner le cobot sur le long terme. Enfin, en ce qui concerne les observations liées la fiabilité du produit, on retrouve ce qui est relié à l'aspect technique comme les pannes ou bien la puissance de calcul insuffisante.

D'autres inconvénients ont été cités une seule fois : 1/ le dialogue machine à anticiper lors d'un couplage avec une machine spéciale, la vitesse trop faible du cobot et la charge utile/amplitude trop faible ; 2/ le prix global qui peut

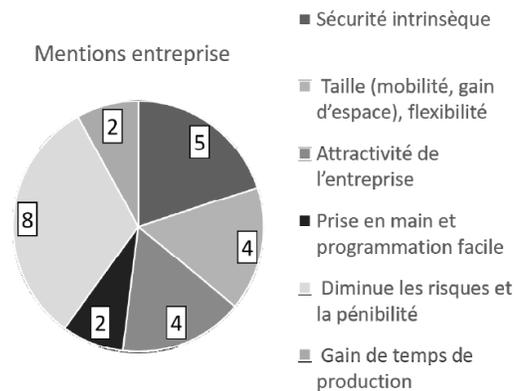


FIG. 8. Avantages à l'installation d'un cobot. Les valeurs correspondent au nombre de mentions.

mener à l'abandon du projet avant la mise en production, le prix comprenant l'achat du robot et du matériel associé (accessoires, sécurité), ainsi que les heures de bureau d'étude pour son installation et son suivi.

Concernant les avantages introduits par l'installation d'un cobot, les entreprises citent en premier lieu la réduction des risques et de la pénibilité, puis la sécurité intrinsèque du robot collaboratif (Figure 8). Viennent ensuite l'augmentation de l'attractivité de l'entreprise/du poste et la taille du robot, sa flexibilité. Le cobot est en effet souvent mobile, déplacé grâce à un chariot, et peut ainsi être couplé à différentes machines. A noter que certaines modalités comme la sécurité intrinsèque et la taille sont cités en avantage par rapport à un robot industriel classique, alors que le gain de temps est plutôt comparé à une production "artisanale" ou "manuelle".

4 DISCUSSION

Nous tenons à rappeler avant toute chose que cette étude était principalement axée sur une enquête quantitative par questionnaire auprès d'opérateurs travaillant dans une dynamique plus ou moins coopérative avec un cobot. Il s'est avéré qu'au vu des formes d'usage des cobots, de la rareté des opérateurs en dyade réelle avec ceux-ci et de l'impossibilité de s'adresser directement aux opérateurs, les résultats quantitatifs doivent être interprétés avec d'extrêmes précautions. Il est probable que nous ayons obtenu un échantillon biaisé d'opérateurs, c'est-à-dire les plus motivés et positifs sur le sujet, les autres n'ayant pas répondu ou bien n'ayant même pas été enrôlés par leur hiérarchie. Enfin, les échelles utilisées n'ont pas pu être analysées en termes de validité de structure grâce à des analyses factorielles.

Les retours des différents acteurs, obtenus grâce aux entretiens menés, amènent à penser que la cobotique semble être une technologie largement minoritaire au sein du parc robotique des industries françaises en 2021. Nos difficultés de recrutement sont également explicables, en partie, à partir de cette rareté d'usage. Au-delà de l'achat et de l'installation du cobot, son introduction dans un atelier peut être un processus long qui s'inscrit dans une démarche itérative (analyse du besoin, preuve de concept, prototypes, tests, mise en production). Les abandons précoces d'installation en interne, sans recours à une expertise extérieure, reflète également l'image d'une technologie qui n'a pas encore atteint la maturité des usages.

Les résultats que nous obtenons pour notre échantillon semblent confirmer que la dimension collaborative n'est pas systématiquement présente lorsque le salarié travaille avec le cobot : la plupart des tâches réalisées en activité avec le cobot concernent en effet son chargement/déchargement ou la programmation de son cycle. Son usage ressemble plus à celui d'un robot industriel qui serait néanmoins plus facilement transportable et modulable.

Au niveau des temps d'usage du cobot, nous avons constaté une forte disparité des réponses parmi les répondants : certains répondants utilisent le cobot très occasionnellement (2.4 à 9 semaines par an) tandis que d'autres l'utilisent tous les jours dans leur activité professionnelle. Le nombre d'heures par jour d'utilisation du cobot, les jours où le salarié s'en sert, est également très variable selon le répondant. Il peut aller d'une courte opération (0.25h) à toute la journée de travail, soit plus de 7h par jour, avec un temps médian d'utilisation de 6.25h. Toutefois, malgré cette variabilité dans les temps d'usage, ce facteur n'apparaît pas corrélé significativement à l'un des facteurs d'acceptation et d'intention d'usage que nous avons défini.

Si nous aurions apprécié avoir d'avantage de répondants pour pousser notre analyse plus en profondeur, nous pouvons déjà commenter les tendances qui se dégagent de notre modèle : on trouve que l'attentes de performance du salarié au travail est corrélé positivement (0.48) aux influences sociales. Il y aurait donc un lien entre l'encouragement des autres (hiérarchie, collègues, personnes appréciées dans l'entreprise) à utiliser le cobot et l'attentes de performance de l'opérateur lorsqu'il utilise le cobot. En revanche, la corrélation de 0.72 entre le facteur "intention d'usage" et "attitude" envers le cobot nous apprend que, dans notre échantillon, la volonté du salarié de renforcer son usage du cobot est corrélée à l'intérêt pour l'évolution de son métier (développement de nouvelles compétences et sentiment que le cobot valorise son métier).

Cependant, selon les entretiens que nous avons pu avoir par ailleurs avec des personnes ayant un rôle d'encadrement des opérateurs, l'introduction d'un cobot sur une ligne de production ne va pas toujours enclencher une évolution des compétences chez les opérateurs. Cela va dépendre du type d'application du cobot (travail en autonomie ou en coactivité avec l'humain) et de la formation du personnel (volonté de l'entreprise et des salariés d'être formés à l'usage du cobot). En effet, certaines entreprises proposent aux salariés de bénéficier d'une formation au cobot sur la base du volontariat, ils peuvent ainsi apprendre à (re)lancer le cycle ou changer sa trajectoire par exemple. Dans d'autres organisations, seuls les techniciens sont autorisés à toucher le cobot, ce qui peut amener à un renouvellement du personnel sur le long terme (suppression de postes d'opérateurs, recrutement d'employés avec plus de qualifications).

Les résultats observés tendent à y montrer une faible présence de situation collaborative étroite avec partage d'une même activité, que ce soit avec les données quantitatives ("Travailler sur les mêmes pièces en même temps" seulement pour 3 répondants sur 20, voir Figure 5), ou avec les données qualitatives qui relatent une utilisation des cobots principalement pour du *pick and place* (i.e., de la saisie et du déplacement d'objet) et/ou de palettisation. Pour aller plus loin, il serait donc intéressant de prendre en compte les différentes interactions possibles entre humains et cobots [22]. De la même manière, le type d'assistance [7], le type de comanipulation [10] et le rôle de l'humain [12] peuvent varier et aboutir à des catégorisations différentes des interactions humain/cobot. Tous ces facteurs ont probablement un impact sur l'acceptation, ne serait-ce qu'en termes de performance et d'usage par rapport au travail effectué par l'opérateur avant l'arrivée du cobot.

Nous avons également pu remarquer que les intérêts varient entre les différentes parties. En effet, les freins les plus évoqués par les entreprises et les intégrateurs sont rarement les mêmes. Les problématiques des entreprises sont plutôt liées aux investissements et à la gestion des équipes suite à l'installation du cobot (frein humain, impacts RH). Les intégrateurs sont quant à eux plus préoccupés par la difficulté de mettre en œuvre une application collaborative respectant les normes en vigueur et les contraintes techniques. La norme ISO/TS 15066 [9], souvent citée par les

intégrateurs, est jugée à la fois “trop exigeante” ou “trop vague”. Elle gâcherait alors le véritable potentiel du cobot en compliquant les interactions humain-robot. Par ailleurs, cette norme est limitée, car elle ne prend notamment pas en compte les contacts répétés. Or ceux-ci pourraient générer de la souffrance chez l'opérateur, même si chaque contact unique se place sous les seuils de douleur autorisés par la norme.

Une grande partie des entreprises utilisatrices de cobots reconnaît toutefois que l'installation d'un robot collaboratif sur une ligne de production a permis une diminution des risques et de la pénibilité. De plus elles apprécient sa sécurité intrinsèque ainsi que sa flexibilité. Par ailleurs, les gains obtenus avec la mise en place d'une ligne de production ayant intégré un cobot ne sont pas toujours observables de front selon le type d'application. Le cobot n'aura peut-être finalement que peu d'impact directement sur la productivité, mais certains espèrent que la réduction des troubles musculo-squelettiques (TMS) constituera alors un réel bénéfice indirect en générant moins d'arrêts maladie. L'arrivée du cobot peut également redonner de l'attractivité à un poste autrefois pénible et ainsi faciliter les recrutements. Enfin, le cobot peut aussi participer au rayonnement de l'entreprise et l'aider à renvoyer une image moderne, ou encore lui permettre de créer une vitrine technologique.

Les freins humains évoqués par les entreprises et intégrateurs peuvent également être limités en intégrant au plus tôt les opérateurs dans les échanges [1]. Au-delà du rapport de confiance entre l'humain et la machine, il arrive que des opérateurs réalisent des tâches dont leurs responsables ne sont pas au courant (travail prescrit *versus* travail réel [2]), d'où l'importance de leur témoignage pour bien comprendre l'intégralité du process en amont de l'installation du cobot. Pour les intégrateurs de robots collaboratifs, il est donc nécessaire d'accompagner avec pédagogie les entreprises et futurs utilisateurs de cobots, car l'acceptabilité de ce nouvel outil sera un facteur déterminant dans son émergence et sa démocratisation.

5 CONCLUSION

Bien qu'aucune statistique officielle ne soit connue à ce jour pour le marché français, nous avons pu constater que les cobots restent minoritaires par rapport à l'insertion des robots industriels classiques. Il semble y avoir un certain écart entre l'image du cobot vendu comme une solution “clé en main” et la réalité du terrain qui fait état d'une facilité d'intégration plus nuancée. Contraints par les différents freins que nous avons pu citer dans les résultats (sécurité, normes, etc.), l'usage actuel des cobots n'exploite pas au maximum ses fonctions collaboratives. Les gains obtenus par le biais de l'installation d'un cobot sont, pour les entreprises, plutôt discrets et cette technologie reste encore émergente dans les industries françaises. Parmi les *early adopters*, des déceptions ont pu faire renoncer à l'utilisation du cobot car ses spécificités ne correspondaient pas au besoin de l'entreprise en matière de vitesse, cadence ou productivité.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet C-SHIFT (Cobots in the Service of Human activity at work In consistence with the challenges of Industry of the FuTure, financement : IMPACT LUE). Merci aux membres de ce projet, et tout particulièrement à Sébastien Borraccino, Benoît Grasser et Thierry Colin. Nous remercions également Lièn Wioland de l'INRS, avec qui nous avons eu l'occasion d'échanger sur nos problématiques communes. Nous tenons pour finir à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont pris le temps de diffuser notre enquête, de répondre à nos questions ou à notre questionnaire.

RÉFÉRENCES

- [1] Susanne Bødker, Christian Dindler, Ole S Iversen, and Rachel C Smith. 2022. What Is Participatory Design? In *Participatory Design*. Springer, 5–13.

- [2] Eric Brangier and Gerard Vallery. 2021. Tâche et activité. In *Ergonomie : 150 notions clés*. Dunod, Paris, 485–491.
- [3] Ana Correia Simões, António Lucas Soares, and Ana Cristina Barros. 2020. Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations. *Journal of Engineering and Technology Management* 57 (2020), 101574. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2020.101574>
- [4] Yogesh Dwivedi et al. 2020. A Meta-Analysis Based Modified Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (Meta-UTAUT) : A Review of Emerging Literature. *Current Opinion in Psychology* 36 (04 2020). <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2020.03.008>
- [5] Shirley Elprama, Ilias El Makrini, Bram Vanderborght, and An Jacobs. 2016. Acceptance of collaborative robots by factory workers : a pilot study on the role of social cues of anthropomorphic robots.
- [6] Nicolas Gillet, Evelyne Fouquereau, Jasmine Lequeur, Leslie Bigot, and René Mokoukolo. 2012. Validation d'une Échelle de Frustration des Besoins Psychologiques au Travail (EFBPT). *Psychologie du Travail et des Organisations* 18 (12 2012), 328–344. [https://doi.org/10.1016/S1420-2530\(16\)30074-7](https://doi.org/10.1016/S1420-2530(16)30074-7)
- [7] Abdelfetah Hentout, Aouache Mustapha, Abderraouf Maoudj, and Akli Isma. 2019. Human-robot interaction in industrial collaborative robotics : a literature review of the decade 2008-2017. *Advanced Robotics* 33 (07 2019), 764–799. <https://doi.org/10.1080/01691864.2019.1636714>
- [8] IFR. 2020. World Robotics Report 2020. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>
- [9] ISO. 2016. *Robots et dispositifs robotiques — Robots coopératifs*. Standard. AFNOR - Association française de normalisation, La Plaine Saint-Denis, FR.
- [10] Xavier Lamy. 2011. *Conception d'une interface de pilotage d'un Cobot*. Ph.D. Dissertation. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
- [11] Grandys Frieska Prassida and Ully Asfari. 2022. A conceptual model for the acceptance of collaborative robots in industry 5.0. *Procedia Computer Science* 197 (2022), 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.118> Sixth Information Systems International Conference (ISICO 2021).
- [12] Jean-Marc Salotti, Eric Ferreri, Olivier Ly, and David Daney. 2018. Classification des systèmes cobotiques. *Ingénierie cognitive* 1, 1 (2018).
- [13] Neena Sinha, Pragati Singh, Manali Gupta, and Pratibha Singh. 2020. Robotics at workplace : An integrated Twitter analytics – SEM based approach for behavioral intention to accept. *International Journal of Information Management* 55 (2020), 102210. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102210> Impact of COVID-19 Pandemic on Information Management Research and Practice : Editorial Perspectives.
- [14] Statista. 2021. Rapport Statista Collaborative Robots Worldwide. https://www-statista-com.bases-doc.univ-lorraine.fr/topics/8062/collaborative-robots-worldwide/#dossierSummary__chapter2
- [15] Staubli. 2021. Gamme Stäubli. <https://www.staubli.com/fr-fr/robotics/gamme-produits/cobots/power-cobot/tx2touch-90/>
- [16] Khalid Hasan Tantawi, Alexandr Sokolov, and Omar Tantawi. 2019. Advances in industrial robotics : From industry 3.0 automation to industry 4.0 collaboration. In *2019 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON)*. IEEE, 1–4.
- [17] Loren G Terveen. 1995. Overview of human-computer collaboration. *Knowledge-Based Systems* 8, 2-3 (1995), 67–81.
- [18] V. Venkatesh et al. 2003. User Acceptance of Information Technology : Toward a Unified View. *MIS Quarterly* 27, 3 (2003), 425–78. <https://doi.org/10.2307/30036540>.
- [19] Peter Warr, Uta Bindl, Sharon Parker, and Inceoglu Ilke. 2013. Four-quadrant investigation of job-related affects and behaviors. *European Journal of Work and Organizational Psychology* 23 (01 2013), 342–363. <https://doi.org/10.1080/1359432X.2012.744449>
- [20] Wavestone. 2020. L'industrie 4.0 à l'heure du plan de relance : espoirs ou désillusions ? <https://www.wavestone.com/app/uploads/2020/11/Barometre-Industrie-2020.pdf>
- [21] Lièn Wioland, Latifa Debay, and Jean-Jacques Atain Kouadio. 2019. Acceptation des exosquelettes par les opérateurs : étude exploratoire. (03 2019). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03079985>
- [22] Holly A Yanco and Jill Drury. 2004. Classifying human-robot interaction : an updated taxonomy. In *2004 IEEE international conference on systems, man and cybernetics (IEEE Cat. No. 04CH37583)*, Vol. 3. IEEE, 2841–2846.