



HAL
open science

L'ergonomie, la robotique collaborative et le génie industriel. Vers une conception pluridisciplinaire des systèmes Humains-Robots

Mouad Bounouar, Richard Béarée, Ali Siadat, Tahar-Hakim Benchekroun

► To cite this version:

Mouad Bounouar, Richard Béarée, Ali Siadat, Tahar-Hakim Benchekroun. L'ergonomie, la robotique collaborative et le génie industriel. Vers une conception pluridisciplinaire des systèmes Humains-Robots. 55e congrès de la SELF. L'activité et ses frontières – Penser et agir sur les transformations de nos sociétés, Revue @ctivités (SELF), Jan 2021, Paris (en ligne), France. hal-03184261

HAL Id: hal-03184261

<https://cnam.hal.science/hal-03184261>

Submitted on 29 Mar 2021

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.

L'ergonomie, la robotique collaborative et le génie industriel: Vers une conception pluridisciplinaire des systèmes Humains-Robots

Mouad Bounouar¹, Richard Béarée², Ali Siadat¹, Tahar-Hakim Benchekroun³

¹Arts et Metiers Institute of Technology, LCFC, HESAM Université, 4 Rue Augustin Fresnel, Metz (France)
Contact : mouad.bounouar@ensam.eu

²Arts et Metiers Institute of Technology, LISPEN, HESAM Université, 8 Bd Louis XIV, Lille (France)

³Conservatoire National des Arts et Métiers, CRTD-ergonomie, 41 Rue Gay-Lussac, Paris (France)

Résumé. Les robots collaboratifs (ou les cobots) ont acquis une grande importance en milieu industriel. Ils sont de plus en plus présentés comme une clé de compétitivité des entreprises en améliorant la flexibilité des systèmes de production tout en contribuant à l'amélioration des conditions de travail, voire même à la revalorisation de la place de l'opérateur en transformant son rôle à celui d'un superviseur. La place de l'humain dans ces futurs systèmes munis de robots collaboratifs, la prise en compte de sa santé, sa sécurité et du développement de ses compétences ainsi que la rentabilité de ces investissements sont des dimensions majeures à prendre en compte dès les premières phases de projets de cobotisation. De par la diversité de ces enjeux et la multidisciplinarité convoquée pour les tenir ensemble, la conduite de projets cobotiques est une excellente opportunité pour qu'ergonomes et ingénieurs discutent et croisent leurs points de vue et leurs méthodologies afin de co-élaborer ensemble de nouvelles approches de conduite de projet alliant santé, sécurité, conditions de travail, performance et faisabilité technologique. Cette communication discute l'importance de cette co-élaboration et présente une démarche pluridisciplinaire de conduite de projets cobotiques.

Mots-clés : Robotique collaborative, systèmes cobotiques, conception pluridisciplinaire, Interaction Humain-Machine

Ergonomics, Collaborative Robotics and Industrial Engineering: Towards a Multidisciplinary Design of Humans-Robots Systems

Abstract. Collaborative robots (or cobots) have acquired significant importance in industrial environments. They are increasingly presented as a key to business competitiveness by improving the flexibility of production systems while contributing to the improvement of working conditions, and even the upgrading of the operator's position by transforming his role into that of a supervisor. The place of humans in these future systems equipped with collaborative robots, their safety and the profitability of these investments are all important dimensions to be considered from the early stages of cobotization projects. Due to these multidisciplinary issues, the management of cobotic projects is an excellent opportunity for ergonomists and engineers to discuss and share their perspectives and methodologies in order to co-develop together new project management methodologies combining safety, working conditions, technological feasibility and profitability. This article discusses the importance of this multidisciplinary approach and presents a proposal for a multidisciplinary design approach of cobotic projects.

Keywords: Collaborative robotics; cobotic systems; multidisciplinary design; Human-Machine Interaction

*Ce texte original a été produit dans le cadre du congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française qui s'est tenu à Paris, les 16, 17 et 18 septembre 2020. Il est permis d'en faire une copie papier ou digitale pour un usage pédagogique ou universitaire, en citant la source exacte du document, qui est la suivante :

Bounouar, M., Béarée, R., Siadat, A. & Benchekroun, Tahar-Hakim.(2020). L'ergonomie, la robotique collaborative et le génie industriel: Vers une méthodologie de conception pluridisciplinaire des systèmes Humains-Robots. Actes du 55ème Congrès de la SELF, L'activité et ses frontières. Penser et agir sur les transformations de nos sociétés. Paris, 16, 17 et 18 septembre 2020

Aucun usage commercial ne peut en être fait sans l'accord des éditeurs ou archiveurs électroniques. Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page.

INTRODUCTION

Dernièrement les robots collaboratifs (ou cobots) ont acquis une importance particulière en milieu industriel. Ils sont de plus en plus présentés comme une des clés de compétitivité des entreprises en améliorant la flexibilité des systèmes de production. La taille et la facilité relative de reprogrammation de ces nouveaux outils technologiques permettraient aux entreprises d'adapter ces outils à la fluctuation de la demande client (fluctuation en taille ou même en types de produits : les uns disparaissent, d'autres deviennent plus demandés, etc.). L'idée de base revient à combiner le savoir, le savoir-faire et le pouvoir décisionnel des opérateurs avec la force, l'endurance, la fiabilité et la précision du robot.

Toutefois, ce n'est pas parce qu'on a mis en place un moyen d'aide à la manutention qu'on va assurément réduire les risques des Troubles Musculosquelettiques (TMS). Dans ce sens, les problèmes et difficultés causés par l'utilisation des exosquelettes¹ sont sujets de beaucoup de discussions et de critiques (Theurel et al., 2018).

De même pour la rentabilité, la dégradation de production après la mise en place de robots collaboratifs a été mentionnée dans plusieurs retours d'expériences et études de cas (Cherubini et al. 2016, Jocelyn et al. 2017, Quenehen et al., 2019).

De par la multiplicité de ces enjeux, la conduite de projets cobotiques est une excellente opportunité pour qu'ergonomes et ingénieurs (roboticiens et industriels) discutent ensemble, croisent leurs points de vue et méthodologies afin de Co-élaborer de nouvelles approches de conduite de projet alliant santé, sécurité, conditions de travail, performance et faisabilité technologique.

Des contributions importantes traitant la conduite de projet pluridisciplinaire ont été proposées. Par exemple, dans le cadre des interactions Humain-Ordinateur, des modèles méthodologiques de conception visant à intégrer des dimensions humaines dans les projets de conception ont été développés (Boehm et al., 1984 ; Hartson et Boehm-Davis, 1993). Récemment, dans le contexte de la robotique collaborative, un indicateur de maturité du projet centré sur l'intégration de l'Humain « Human Integration Readiness Levels » afin de limiter les risques d'une mauvaise intégration des des facteurs humains dans les projets de conception a été développé (Moulières-Seban, 2017 ; Bitonneau, 2018). Ces contributions s'inspirent et se basent sur des travaux originaux en ergonomie (Theureau et Pinsky, 1984 ; Daniellou, 1987 ; Garrigou et al., 1995 ; Thibault, 2017), ou en gestion de projets (Boehm, 1984; Coutaz, 1987).

Cette communication s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche pluridisciplinaire alliant Sciences Humaines et Sociales (ergonomie, sociologie et

anthropologie) et Sciences de l'ingénieur (génie industriel et cobotique) visant à analyser les enjeux technologiques, humains et organisationnels de la cobotique dans les PME. Elle discute l'importance de la collaboration pluridisciplinaire dans les processus de conception pour une meilleure conduite de projet d'intégration des cellules robotiques collaboratives en milieu industriel, prenant en compte, au-delà de l'étude technique de collaboration humain-robot, l'importance cruciale de la valeur du travail humain pour gérer la variabilité industrielle au quotidien, la sécurité des futurs utilisateurs, et l'acceptabilité et la rentabilité de tels systèmes.

La communication est organisée en 5 sections : à travers les 3 premières sections, nous discuterons les impacts de la robotique collaborative sur la sécurité, la transformation du travail et sur la rentabilité des systèmes de production. Nous présenterons ensuite les apports d'approches pluridisciplinaires à la réussite des projets cobotiques. Par la suite, nous discuterons les étapes et caractéristiques d'une conception pluridisciplinaire des cellules cobotiques.

SÉCURITÉ ET ROBOTIQUE COLLABORATIVE

Les robots industriels ont toujours été conçus pour être isolés par des grilles et barrières physiques afin d'assurer la sécurité des travailleurs. Désormais, avec les robots dits collaboratifs, leur finalité d'usage et d'utilisation par les opérateurs humains se traduit par le partage physique d'un même espace de travail.

Selon le cas industriel, ces innovations technologiques impliquent différentes situations de travail interactives entre humains et robots (INRS, 2018):

- Coexistence ou partage d'espace de travail : L'homme et le robot concourent à la réalisation de tâches distinctes dans un même environnement spatio-temporel.
- Collaboration directe : L'homme et le robot travaillent simultanément à la réalisation d'une tâche commune.
- Collaboration indirecte : L'homme et le robot travaillent à tour de rôle à la réalisation d'une même tâche.
- Assistance physique : Dans ce cas, le robot procurerait une assistance physique au geste professionnel en soulageant l'opérateur dans l'exécution de ses mouvements.

Ces nouvelles situations de travail amènent à se poser différentes questions relatives à la performance selon le point de vue de l'organisation et celui des opérateurs, à leur sécurité et à la prévention des risques associés à ces interactions.

Malgré l'implémentation de différentes mesures de protection intrinsèques (fonctions de sécurité intégrées, capteurs de couple, etc.) et respect des exigences de sécurité normatives (ISO 10218-2, 2011) par les fabricants de cobots, les risques de ces nouveaux outils technologiques restent présents pour les utilisateurs. Il est important de faire la différence entre le robot, qui est considéré au sens de la directive machines² 2006/42/CE une quasi-machine qui ne peut

¹ Moyens d'aide à la manutention portés par les utilisateurs.

² Les Directives machines rapprochent les législations des États membres de l'union européenne relatives aux machines.

assurer à elle seule une application définie, et le système cobot comprenant le cobot, son effecteur (une pince, une visseuse, etc.), les axes ajoutés, les capteurs, l'espace et les dispositifs de protection, etc.

Le système cobot n'est pas sûr par définition. Mais sa sécurité doit être étudiée et assurée dans le contexte de l'utilisation prévue. A titre d'exemple, les préhenseurs (pince, visseuse, etc.), les pièces manipulées, la fréquence et l'environnement de travail, etc. peuvent être générateurs de risques graves de collision, de coincement, de pincement ou de coupure, etc.

A partir du moment où il y a une interaction entre l'humain et une partie du système cobot, le risque est présent. Selon le Ministère du Travail (Guide de prévention, 2017), trois types de risques liés à la robotique collaborative peuvent être distingués :

- Les risques liés au fonctionnement, à titre d'exemple :
 - En marche normale : l'apparition de surchauffe d'origine électrique ou mécanique, la modification d'une trajectoire, l'augmentation de la vitesse des éléments mobiles, ou le lâcher de charge manipulée, etc ;
 - En cas de défaillance matérielle ou logicielle : une perte de contrôle ou le fonctionnement erratique des éléments mobiles, le dysfonctionnement fugitif rendant possible l'exécution de séquences interdites, etc ;
- Les risques liés au poste de travail, comme par exemple : le contact physique avec les éléments mobiles entraînant des lésions, le risque de brûlure, d'écrasement, d'électrisation, etc ;
- Les risques liés à l'environnement du poste de travail, comme par exemple : les obstacles liés aux locaux de travail, la coactivité avec d'autres machines, la circulation des personnes et des équipements mobiles, etc.

TRANSFORMATION DE TRAVAIL PAR LA ROBOTIQUE COLLABORATIVE

Selon Garrigou et al. (2001), la bonne gestion des systèmes de production repose, entre autres, sur des compétences et des savoir-faire développés et déployés, en situation, par les opérateurs pour gérer différentes formes de variabilités rencontrées dans le quotidien de travail.

L'introduction d'une nouvelle technologie constitue un changement important au niveau de l'organisation et de l'activité des opérateurs, en ce sens, introduire une technologie, c'est aussi agir sur un système socio-organisationnel (Bobillier-Chaumon, 2016). Ceci peut influencer les résultats industriels et rendre plus difficile l'atteinte des objectifs de performance en termes de délais, de productivité et de qualité.

D'autres points de vigilance ont été soulignés dans des études sur la prévention dans le domaine de la robotique collaborative (Haeflinger, 2017). Par

exemple, le stress lié à la crainte d'un contact dangereux ou répété avec le robot peut pousser l'opérateur à rester attentif aux déplacements du robot, entraînant une surcharge d'informations et un effort de concentration supplémentaire. De même, la manipulation du cobot, si elle n'est pas adaptée à l'opérateur humain, elle pourra limiter ou contraindre ses mouvements ce qui peut constituer un risque à la fois sur sa performance et pour sa santé (risques TMS, par exemple).

L'ENJEU DE LA RENTABILITÉ DES SOLUTIONS DE LA ROBOTIQUE COLLABORATIVE

L'introduction d'une cellule robotisée collaborative, au même titre que tout autre moyen de production, est souvent conditionnée de façon prédominante par des critères techniques et économiques. Il est naturel que les dimensions liées aux coûts engendrés pour l'achat et la mise en fonction de la cellule robotique, l'impact sur la qualité et la productivité des postes concernés, le retour sur investissement et la prévision des opérations de maintenance engendrées soient discutées et prises en compte.

Comme mentionné précédemment, les premiers retours d'expériences annoncent une stagnation ou une dégradation de productivité après la mise en place de robots collaboratifs. Dans le cadre d'une étude de cas (en conditions de laboratoire) d'intégration d'un robot collaborative lors d'un processus d'assemblage manuel d'un cylindre pneumatique, Quenehen et al. (2019) ont relevé une stagnation du temps de cycle après les tests des deux systèmes (environ 44s lors du processus 100% manuel, contre 42s dans les meilleurs cas lors du processus collaboratif).

Lors d'un autre projet visant l'assemblage collaboratif humain-cobot d'un joint homocinétique³ de voiture dans le secteur automobile, (Cherubini et al., 2016) ont remonté une multiplication *4 du temps de montage (120s en mode collaboratif humain-cobot contre 30s en mode 100% manuel). Les raisons citées de cette augmentation portent sur :

- La configuration de la cellule robotique qui complique la tâche d'insertion des boules dans le joint (une des opérations de montage) par l'opérateur et engendre un temps supplémentaire de montage ;
- La faible vitesse d'opération de la cellule robotique délibérée par l'équipe de conception (0:1 m.s-1) représentant seulement 40 % de la vitesse maximale autorisée dans le cadre d'une interaction physique humain-robot (0:25 m.s-1). L'équipe compte augmenter la vitesse dans les futures versions de la solution, mais même si la cellule fonctionnerait à (0:25 m.s-1), la productivité

selon un angle variable, à une vitesse de rotation constante, tout en limitant le frottement et le jeu.

³ Les joints homocinétiques permettent à un arbre de transmission de transmettre la puissance à un second arbre

serait toujours inférieure à celle du processus manuel. Dans cet exemple, les auteurs ont, toutefois, noté une réduction des risques de lésions (le poste a été reclassé selon l'échelle d'ergonomie du groupe PSA du niveau "rouge" au niveau "moyen").

Dans le cadre d'un projet d'assistance d'opérateurs lors d'une opération de recyclage des boîtes de lessive dans un environnement chimique, des simulations au laboratoire (Bounouar et al., 2020) ont montré une augmentation d'environ 100% du temps de cycle. L'opérateur seul recycle environ 2 cartons (6 boîtes) chaque minute, alors que dans un scénario à caractère collaboratif, il recycle à l'aide du robot seulement 1 carton (3 boîtes) chaque minute. Cette différence est expliquée essentiellement par la faible vitesse du robot par rapport à l'opérateur humain et les difficultés à effectuer plusieurs opérations en même temps (actions manuelles, prise de décision, arbitrage, anticipation, etc.). En effet, sans cobot, l'opérateur arrache le packaging et effectue plusieurs opérations en même temps (ouverture de la boîte tout en s'approchant des bennes de déchets et produits recyclés pour l'étape suivante, etc.) ; avec le cobot, le temps de chaque opération a augmenté, ce qui a engendré les temps de cycle ci-dessus.

L'APPORT D'APPROCHES PLURIDISCIPLINAIRES POUR LA RÉUSSITE DES PROJETS COBOTIQUES

Les constats concernant les difficultés rencontrées durant les projets de conception, incluant des nouveaux moyens ou outils de travail, amènent à souligner l'importance d'une analyse et d'une compréhension des activités individuelles et collectives développées et mises en œuvre par les opérateurs dans différentes situations de travail. Cette étape est essentielle pour alimenter le processus de conception et pour l'orienter vers des choix en capacité d'élargir les marges de manœuvre des futurs utilisateurs et de soutenir leur activité.

L'ergonomie de l'activité a développé d'intéressantes approches de conception dans l'objectif d'une meilleure prise en compte de l'activité réelle dans les processus de transformation et/ou de conception des situations de travail. Ces approches s'appuient sur une analyse stratégique des enjeux du projet, la construction de diagnostics opérants visant la compréhension des activités réelles de travail, la conduite de simulations du travail permettant de se projeter dans l'activité future probable, la formalisation des résultats des simulations et l'accompagnement du projet jusqu'à son démarrage. L'ensemble de cette démarche se fonde sur une mobilisation et une participation active de l'ensemble des acteurs concernés par le projet, y compris les opérateurs (Benchekroun, 2016 ; Bounouar et al., 2019).

Dans le cas de la robotique collaborative, l'ergonomie peut contribuer à définir ce qui est cobotisable du point de vue de l'organisation et des opérateurs. Elle peut contribuer également à la répartition des tâches

(qui ferait quoi ?), ainsi qu'à l'évaluation des apports potentiels de la cobotique au travail de l'opérateur, dans la perspective de l'amélioration de sa performance, de sa santé, sa sécurité et du développement de ses compétences.

Les compétences en ergonomie pourraient également contribuer à l'évaluation, après la mise en place du futur système, de l'acceptation et de l'appropriation du système par ces utilisateurs. Cette étape importante orientera vers les suites à donner au projet (modifications, formation, etc.).

Dans l'autre domaine, la veille technologique et les compétences en robotique sont primordiales pour contribuer à l'analyse du besoin et à traduire les résultats de l'analyse de l'activité des opérateurs concernés par le projet cobotique en éléments fonctionnels et implémentables. Sur cette base, elles permettraient également de proposer et de discuter des principes de solutions cobotiques (quel robot, quel effecteur, quelle vitesse, quels capteurs supplémentaires, etc.) et d'estimer leur enveloppe budgétaire. Sans oublier l'apport majeur pour la phase d'analyse des risques. Une étape obligatoire pour pouvoir certifier que la cellule ne présente pas de dangers pour les utilisateurs et qu'elle est conforme à la directive machine. Dans ce sens, l'analyse des risques consiste à étudier les besoins en sécurité de la cellule robotique en identifiant les phénomènes dangereux potentiels en rapport avec les utilisations probables de la cellule collaborative, et en déterminant quels risques nécessitent la mise en place de mesures de protection.

Les simulations fonctionnelles (avec des logiciels robotiques) projeteront une 1^{ère} version du futur système et permettront de vérifier le "Comportement " spatio-temporel du futur système et d'estimer sa productivité.

Après la validation du principe de solution et la validation de l'enveloppe budgétaire, une phase de prototypage industriel permettrait de mieux évaluer le futur système en conditions réelles, et questionner l'acceptabilité du nouvel environnement de travail par les futurs utilisateurs.

Il est également important de souligner que la grande majorité des projets visant l'automatisation ou l'assistance des postes de travail s'inscrivent souvent dans un contexte plus large d'amélioration continue et de "modernisation" des ateliers de production. Ils sont, dans la quasi-majorité des cas, initiés et gérés par des managers et des pilotes techniques ayant le Lean Manufacturing et le génie industriel comme principales sources méthodologiques. Comprendre les enjeux de cette discipline et la prendre en compte lors de développement de cadre méthodologique de conception des systèmes humains-cobots est une condition essentielle pour rendre possible une co-conception pluridisciplinaire qui tient compte de divers enjeux et d'une pluralité de points de vue, d'exigences et d'attentes.

Comme dans le cadre de nombreux types d'investissements industriels, les compétences en génie industriel auraient un apport important pour étudier la rentabilité de l'introduction de la cellule robotique collaborative dans le système industriel actuel. Cet apport englobe, entre autres, le suivi et le chiffrage des performances (qualité, productivité,

etc.) du système actuel, l'estimation des performances du futur système et le calcul du ROI (retour sur investissement). Ces étapes sont nécessaires pour aider à la prise de décision durant ce genre de projets.

VERS UNE CONCEPTION PLURIDISCIPLINAIRE: DISCUSSION ET MISE EN PERSPECTIVE

La dimension pluridisciplinaire est l'une des principales clés de réussite des projets de cobotisation, ayant des enjeux de sécurité et de développement technologique, des enjeux sur le travail et l'acceptabilité par les futurs utilisateurs et des enjeux de rentabilité. Dans ce sens, une équipe de projet pluridisciplinaire devrait être composée d'opérateurs concernés par le projet, des représentants de direction (pour la discussion de l'investissement), des managers (de production, de maintenance, de qualité), un ergonome et un intégrateur de robot.

Dans un premier temps, l'équipe serait amenée à se concentrer sur l'analyse des enjeux du projet de cobotisation, de l'organisation actuelle et future et de l'activité réelle des opérateurs. Ceci, en définissant les objectifs, en identifiant les postes à cobotiser, les personnes impactées, leurs attentes et les contraintes économiques et organisationnelles liées au projet (budget, importance du poste dans le processus de production, etc.) et en analysant l'activité des opérateurs à travers des observations en situation réelle, des entretiens de compréhension, et une analyse des données et documents liés aux situations de travail concernées (suivi de productivité, objectifs de performance, standards de production, fiches de poste, etc.), toujours dans un objectif de compréhension des sources de variabilités, des difficultés rencontrées et des stratégies mises en œuvre pour les gérer dans le quotidien du travail. *In fine*, la méthodologie est guidée non seulement par les objectifs stratégiques de l'entreprise mais également ceux des opérateurs concernés par la cobotisation.

Les étapes de conception sont conduites de manière participative et itérative, en se basant sur les éléments issus des phases de compréhension. En commençant par une étape d'idéation de scénarios de cobotisation, qui doivent être discutés, évalués et hiérarchisés à travers des simulations organisationnelles dans un objectif d'alimentation du cahier de charges qui, lui aussi, évoluera au fil des étapes.

Ensuite, les scénarios 'favorisés' doivent être étudiés dans un objectif de proposition de solutions technologiques accompagnées de leurs enveloppes budgétaires. Ces solutions, une fois acceptées par l'organisation et les opérateurs concernés, doivent être simulées dans un objectif d'évaluation de leurs fonctionnement spatial et temporel et de leurs impacts potentiels sur la performance du système.

Par la suite, une étape d'analyse des risques, d'évaluation de l'utilisabilité et de l'acceptabilité de la solution par les opérateurs déterminera si la solution est potentiellement convenable, et donc prête à être

prototypée, ou s'il y a une nécessité de faire évoluer des aspects de la solution.

Après chacune de ces étapes, des retours sont possibles vers la phase d'étude de faisabilité pour modifier la solution proposée, ou vers la phase d'idéation, pour revoir les scénarios de cobotisation. L'équipe de conception ne doit pas hésiter à revenir vers des étapes antérieures. Ceci évitera d'aller vite vers des investissements inutiles.

Après la validation finale de la solution, son implantation et sa mise en fonctionnement, des retours d'expériences permettront de faire évoluer la cellule cobotique selon son acceptation par les opérateurs et par l'organisation, pour éviter ainsi un rejet après investissement.

La complémentarité multidisciplinaire représente l'axe fort de cette proposition méthodologique. Cette proposition intègre différents enjeux industriels et technologiques ainsi que la prise en compte des utilisateurs finaux, les opérateurs du système industriel. Ces étapes sont inspirées de l'ergonomie de l'activité (analyse du projet et de ses enjeux, analyse de l'activité des opérateurs concernés, simulations organisationnelles, etc.) et du Design Thinking (phase d'idéation collective des scénarios d'assistance). Elle intègre également les étapes essentielles de la conception des cellules robotiques (étude de faisabilité, simulation fonctionnelle, analyse des risques, prototypage industriel, certification, etc.).

Actuellement, cette démarche méthodologique est en train d'être mise en œuvre dans le cadre d'un projet d'intégration de cellules robotiques collaboratives visant l'assistance des opérateurs humains sur les postes de finition d'une PME industrielle française, fabricant des pièces mécaniques fragiles et requérant une très grande fiabilité pour le secteur aéronautique.

Notre objectif dans cette intervention est de contribuer à l'étude de la pertinence de ce projet du point de vue des conditions de travail, de ses impacts potentiels sur la santé et la sécurité des opératrices concernées, de l'efficacité (productivité et qualité) et de la faisabilité technologique et organisationnelle. Pour l'instant, nous avons réalisé un ensemble d'entretiens exploratoires avec les dirigeants (directeur général, directeur industriel, responsable de production, responsable technique et opérateurs de finition) qui nous ont permis de mieux identifier et de comprendre les objectifs et les enjeux liés à ce projet, de rencontrer et d'échanger avec les opératrices à leur poste de travail et de se mettre d'accord avec l'ensemble des acteurs sur le déploiement de la méthodologie présentée. Parmi les questions qui guideront nos analyses et discussions avec l'ensemble des acteurs du projet y compris les opératrices :

- Les activités de finition sont-elles cobotisables en totalité ou en partie ? si oui, quelles sont les opérations susceptibles d'être portées par une solution cobotique ? quelles incidences potentielles sur le travail des opératrices, quelles technologies cobotiques existantes ou à concevoir faudrait-il mobiliser ?
- Ou alors, les activités de finition, étant donné leur complexité et le savoir-faire mobilisé pour les réaliser, ne sont pas cobotisables, dans ce cas, quelles autres formes d'assistances

techniques et organisationnelles susceptibles d'assister le travail à ces postes ?

En fin de cette étape, une présentation des résultats de l'analyse de l'activité de finition est prévue. Si l'assistance sur ces postes se révèle pertinente, les pistes technologiques (technologie, intervenants, scénarios potentiels, etc.) seront discutées.

Cette mise en pratique en contexte industriel permettra d'enrichir et d'adapter cette démarche méthodologique aux contraintes et difficultés de terrain. Un retour d'expérience "complet" sera bien évidemment partagé avec la communauté.

Dans le contexte actuel du confinement et déconfinement lié à la crise sanitaire du Covid-19, notre intervention est interrompue temporairement, une reprise de contact est prévue par la PME dès que la mobilité entre régions sera autorisée et l'accord des opératrices renouvelé.

REMERCIEMENT

Ce travail a été soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du projet de recherche HECTOR : L'Humain Engagé par la Robotisation dans les Transformations du Travail et des Organisations dans les usines du futur. (ANR-17-CE10-0011).

BIBLIOGRAPHIE

- Benchekroun, T.H. (2016). Intervenir en ergonomie : analyser le travail pour le comprendre et transformer le travail pour le concevoir. Actes du 51ème Congrès de la SELF, Marseille.
- Bitonneau D. (2018). "Conception de systèmes cobotiques industriels: approche robotique avec prise en compte des facteurs humains: application à l'industrie manufacturière au sein de safran et ariane group". Thèse de doctorat : automatique / robotique. Université de Bordeaux, Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01897527>
- Bobillier-Chaumon M-E. (2016). "L'acceptation située des technologies dans et par l'activité: premiers étayages pour une clinique de l'usage". Psychologie du travail et des organisations, Elsevier Masson, 2016, 22 (1), ff10.1016/j.pto.2016.01.001ff. ffa1shs-01425813f.
- Boehm BW. (1984). "Software Engineering Economics," in IEEE Transactions on Software Engineering, vol. SE-10, no. 1, pp. 4-21, Jan 1984. doi: 10.1109/TSE.1984.5010193
- Boehm BW, Gray te, Seewaldt t. (1984). "Pototyping versus specifying: a multiproject experiment". IEEE trans. Software eng., se-10(3):290-303, may.
- Bounouar M, Bearee R, Benchekroun T-H, Siadat A. (2019) "Etat des lieux de la cobotique industrielle et de la conduite de projet associée" acte de : 16ème édition S-mart colloque (AIP-Primeca), Les Karellis-France, 2019. <https://smart2019.event.univ-lorraine.fr/243184>
- Bounouar M, Bearee R, Siadat A, Klement N, Benchekroun (2020 accepté et présenté) "User centered design of a collaborative robotic system for an industrial recycling operation", dans IEEE Explore, actes de la 1^{ère} édition de la conférence IRASET, Meknes (Maroc).
- Cherubini A, Passama R, Crosnier A, Lasnier A, Fraise P (2016) Collaborative manufacturing with physical human-robot interaction. Robot Comput Integr Manuf 40:1-13.
- Coutaz J. (1987). "PAC an implementation model for the user interface". IFIP TC13 human-computer interaction (interact'87). Stuttgart. North-Holland. Pp. 431-436.
- Daniellou F. (1987). "Les modalités d'une ergonomie de conception, son introduction dans la conduite des projets industriels", Note documentaire ND 1647-129-87, Paris 1987 : INRS.
- Garrigou A, Daniellou F, Carballeda G, Ruaud S. (1995). "Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity. International Journal of Industrial Ergonomics", 15, 1995, 311-327.
- Garrigou A, Thibault J-F, Jackson M, Mascia F. (2001). "Contributions et démarche de l'ergonomie dans les processus de conception" in Pistes, 3(2), 1-20, 2001. <https://journals.openedition.org/pistes/3725>
- Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs Pour la mise en oeuvre des applications collaboratives robotisées, Edition 2017, Ministère du travail
- Haeflinger R. (2017). "Prévention dans le domaine de la robotique collaborative Synthèse de travaux réalisés à l'international". EUROGIP - Paris Réf. Eurogip-129/F novembre 2017. ISBN : 979-10-91290-89-0
- Hartson HR, Boehm-Davis D. (1993). User interface development processes and methodologies. Behav info technol 12(2):98-114. <https://doi.org/10.1080/01449299308924371>
- INRS. (2018). "Robots collaboratifs- Risques". <http://www.inrs.fr/risques/robots-collaboratifs/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- ISO 10218-2:2011. "Robots et dispositifs robotiques exigences de sécurité pour les robots industriels: partie 2: systèmes robots et intégration".
- Jocelyn, F., Buret-Vienney D., Giraud L., Sghaier A. (2017). "Robotique collaborative : Évaluation des fonctions de sécurité et retour d'expérience des travailleurs, utilisateurs et intégrateurs au Québec", Rapport scientifique.
- Moulières-Seban T. (2017). "Conception de systèmes cobotiques industriels: approche cognitive: application à la production pyrotechnique au sein d'ariane group". Université de Bordeaux. Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01697610>
- Quenehen A, Pocachard J, Klement N. (2019) "Process optimisation using collaborative robots - comparative case study", IFAC-PapersOnLine, Volume 52, Issue 13, Pages 60-65, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.131>
- Theurel J, Atain-Kouadio J-J, Desbrosses K, Kerangueven L, Duva C. (2018). "10 idées reçues sur les exosquelettes", (INRS).
- Theureau J, Pinsky P. (1984). "Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique. Revue des Conditions de Travail", 9, 1984, 25-31.
- Thibault J-F. (2017). "Guide pratique d'ergonomie en conception industrielle (Safran)". Octarès, 2017.