



HAL
open science

Etat des lieux de la cobotique industrielle et de la conduite de projet associée

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

► To cite this version:

Mouad Bounouar, Richard Béarée, Tahar Hakim Benchekroun, Ali Siadat. Etat des lieux de la cobotique industrielle et de la conduite de projet associée. 16ème Colloque National S-mart. “ L’Industrie du Futur, une révolution pour l’humain? ”, AIP-Primeca, Apr 2019, Les Karellis, France. hal-04089502

HAL Id: hal-04089502

<https://cnam.hal.science/hal-04089502v1>

Submitted on 27 Oct 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.

Etat des lieux de la cobotique industrielle et de la conduite de projet associée

Mouad Bounouar
Arts et Métiers, LCFC
4, Rue Augustin Fresnel
Metz – France
mouad.bounouar@ensam.eu

Richard Béarée
Arts et Métiers, LISPEN
8, Bd Louis XIV
Lille – France
richard.bearee@ensam.eu

Tahar Hakim Benchekroun
Crted - CNAM, équipe ergonomie
41, Rue Gay-Lussac
Paris – France
tahar-hakim.benchekroun@lecnam.net

Ali Siadat
Arts et Métiers, LCFC
4, Rue Augustin Fresnel
Metz – France
ali.siadat@ensam.eu

Résumé

La cobotique industrielle est présentée comme une voie de compétitivité des entreprises, en combinant les compétences et le savoir-faire décisionnel humains avec les avantages robotiques. La place et la sécurité de l'Homme dans les systèmes cobotiques suscitent beaucoup de discussions. Cet article présente un état des lieux de la cobotique industrielle en termes de modalités de collaboration Hommes-Robots, et de raisons et critères de conception et s'intéresse à la place des opérateurs dans ce contexte dès la phase de conception des systèmes cobotiques.

Mots-clés : *Cobotique ; IHR ; Conduite de projet*

Abstract

Industrial cobotics is presented as a way of business competitiveness, combining decision-making and human skills with robotic advantages. The place and safety of humans in cobotic systems are the subjects of much discussion. This article presents an inventory of industrial cobotics in terms of modalities of Human-robot collaboration, reasons and criteria of design, and the place of operators in this context since the design phase of cobotic systems.

.Keywords : *Cobotique ; IHR ; Conduite de projet*

I. INTRODUCTION

Dans le milieu industriel, les robots collaboratifs sont présentés comme une clé de compétitivité des entreprises d'une manière générale, et de croissance et survie des PME en particulier, en combinant le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la force, l'endurance et la précision du robot. Cette combinaison semble être une solution potentielle pour répondre aux besoins de flexibilité et d'agilité liée à la demande fluctuante et à la mondialisation de la concurrence. Si le déploiement de ces technologies reste encore limité, leur futur semble très prometteur.

La place de l'Homme dans ce contexte suscite beaucoup de discussions, englobant la vigilance vis-à-vis de sa sécurité, les questions liées à sa santé, à la suppression de la pénibilité de son travail, à la réduction des risques de Troubles Musculosquelettiques, et à la revalorisation de sa place en transformant son rôle d'un opérateur à celui de pilote.

Afin de participer à la réflexion sur le sujet, nous proposons un état des lieux de la cobotique industrielle et de la conduite de projet associée. Dans un premier temps, nous aborderons le sujet par un angle technologique, en présentant une classification de la robotique industrielle, les modalités d'interaction Homme-robot et une brève présentation des raisons et critères de conception. Par la suite, nous présenterons les aspects de conduite de projets cobotiques, en insistant particulièrement sur la place des opérateurs dans le processus de conception.

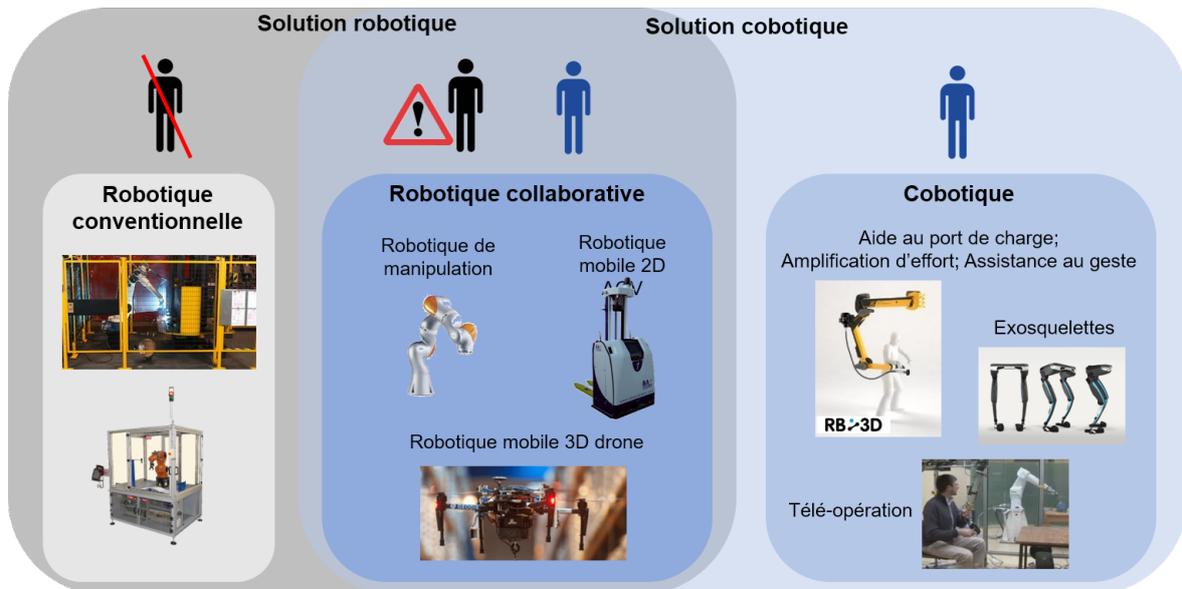


Figure 1. CLASSIFICATION EN ROBOTIQUE INDUSTRIELLE.

II. COBOTIQUE INDUSTRIELLE : ASPECTS TECHNOLOGIQUES

A. Classification de la robotique industrielle

La figure 1 présente une classification de la robotique industrielle en distinguant deux types de solutions en termes de scénarios d'exploitation :

- Les solutions robotiques qui reprennent les éléments conventionnels de la robotique industrielles. Dans ce cadre, le robot réalise les tâches en autonomie, sans aucune intervention humaine. La principale évolution porte sur la possibilité de suppression des éléments de sécurité de type barrière ou grille, au profit de dispositifs immatériels de type barrière optique ou encore scanner laser. Les robots manipulateurs collaboratifs peuvent naturellement entrer dans cette catégorie. De part leurs fonctionnalités et leurs certifications collaboratives, ces robots peuvent simplifier l'analyse des risques associée au développement de la cellule robotique, sous condition que leurs capacités d'effort et que leurs espaces de travail soient en adéquation avec le cahier des charges de l'application.
- Les solutions cobotiques qui nécessitent la présence humaine pour l'accomplissement des tâches. Dans ce cadre, les cobots, les exosquelettes ou encore les robots manipulateurs téléopérés sont manipulés par les utilisateurs. Ces solutions cobotiques sont employées pour aider l'opérateur à accomplir sa tâche en guidant ses mouvements, en démultipliant l'effort exercé, ou en compensant le poids d'un objet ou d'un outil. Selon le scénario d'exploitation, les robots manipulateurs et les robots mobiles peuvent être considérés comme cobots si leur fonctionnement implique la présence des utilisateurs, c'est à dire que la présence humaine n'est pas considérée exclusivement comme un mode dégradé de fonctionnement.

B. Modalité d'Interaction Homme-Robot

Selon les besoins industriels en termes d'espace de travail et de répartition spatio-temporelle de tâches entre Hommes et robots, la nature et les caractéristiques de sécurité du système robotisé doivent être adaptées. Les normes NF EN ISO 10218 (1 et 2) et ISO/TS 15066 régissant le domaine des robots collaboratifs prévoient quatre types de mesures de prévention [1] :

- Arrêt contrôlé nominal de sécurité : selon ce principe de prévention, lorsqu'une personne pénètre de façon volontaire ou accidentelle dans l'espace de travail collaboratif, le robot doit arrêter son mouvement et maintenir un arrêt de sécurité. Lorsque la personne quitte le périmètre du robot, ce dernier reprend son mouvement.
- Guidage manuel : l'opérateur dirige les mouvements du robot, en vitesse limitée, à l'aide d'un dispositif de commande à action maintenue. Ce type de guidage manuel en phase de production est une aide à la manutention, il est différent du guidage manuel en phase d'apprentissage du robot afin qu'il mémorise les trajectoires utiles au mode opératoire.
- Surveillance de la vitesse et de la séparation : l'environnement du robot est surveillé par un système de vision (type scanner laser) qui suit la position des opérateurs. En fonction de la vitesse et la distance de séparation entre Hommes et robot, ce dernier adapte sa vitesse. Les vitesses, la distance de séparation minimale et des autres paramètres doivent être déterminés par l'analyse des risques (hypothèse de déplacement de l'opérateur, vitesse, etc.). Lorsqu'un opérateur dépasse la séparation de sécurité minimale, le robot s'arrête.
- Limitation de la puissance et de la force : ce principe est particulièrement adapté à la mise en place de solutions robotiques qui nécessitent une collaboration directe entre

l'opérateur et le robot. Dans ce cas de figure l'opérateur est amené à travailler à proximité du robot, et le cas échéant, à être en contact avec celui-ci. Cette mesure de prévention repose sur la suppression des risques en cas de contact de l'opérateur avec les parties mobiles du robot (risque de heurt, de choc, d'écrasement, etc.). Ces contacts, s'ils se produisent, ne doivent pas être dangereux pour la santé et la sécurité des opérateurs. Les seuils limites à respecter en termes de puissance selon les différentes parties du corps sont déterminées conformément à la norme TS 15066 (cf. Figure 2). L'analyse de risque est décisive sur la faisabilité de mise en œuvre de ce principe de solution collaborative.

Body region	Specific body area	Quasi-static contact		Transient contact	
		Maximum permissible pressure ^a p_s N/cm ²	Maximum permissible force ^b N	Maximum permissible pressure multiplier ^c P_T	Maximum permissible force multiplier ^c F_T
Skull and forehead ^d	1 Middle of forehead	130	130	not applicable	not applicable
	2 Temple	110		not applicable	not applicable
Face ^d	3 Masticatory muscle	110	65	not applicable	not applicable
Neck	4 Neck muscle	140	150	2	2
	5 Seventh neck muscle	210		2	
Back and shoulders	6 Shoulder joint	160	210	2	2
	7 Fifth lumbar vertebra	210		2	2

FIGURE 2 : EXTRAIT DE LIMITES BIOMECHANIQUES [ISO TS 15066]

La figure 3 schématise quatre modes de coopération Homme-robot. Selon la chronologie de leurs actions, la coopération entre Homme et robot peut être : indépendante, où ils effectuent des procédés différents sur des pièces différentes ; Synchronisée ou simultanée sur la même pièce, dans lesquelles l'Homme et le robot effectuent des procédés différents sur la même pièce ; ou encore assistée, en effectuant le même procédé sur la même pièce. [2]

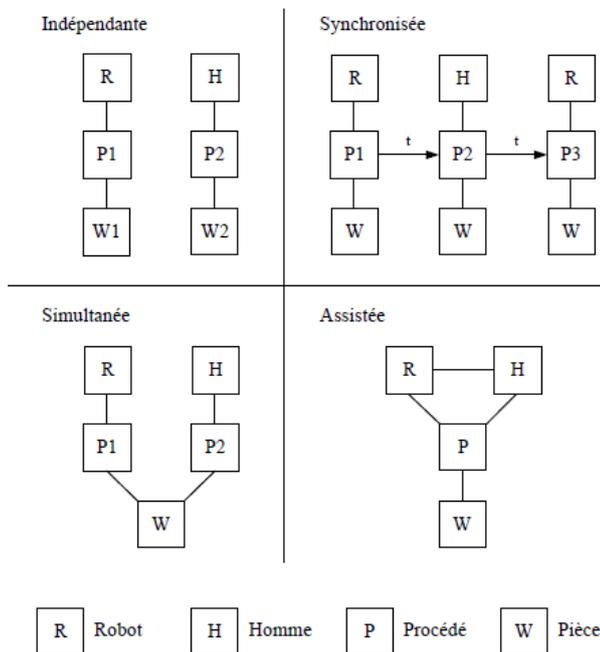


FIGURE 3 : LES MODES DE COOPERATION HOMME-ROBOT [2]

Pour que la collaboration Homme-robot soit effective, il est nécessaire que le robot soit doté de fonctions spécifiques lui

permettant d'estimer l'intention des utilisateurs, de planifier ses actions et d'agir en conséquence [3]. Différents moyens d'interaction entre Homme et robot, permettant de capter les informations et d'agir en réponse sont regroupés dans le tableau 1.

Les études d'interaction par les gestes sont nombreuses mais ce type d'interaction est encore peu fréquent sur les postes de travail. De même, le langage naturel entre Hommes et robots n'est pour le moment pas utilisé dans les usines [4].

Physiques	Moyens classiques : bouton, molette, joystick, souris, manette, pointeur, etc. Robot manipulable. Réplique du robot ou de son effecteur manipulable avec ou sans retour haptique.
Tactiles	Surface tactile, écran tactile, bouton tactile. Peau du robot tactile.
De capture du mouvement de l'opérateur	Objets repérés dans l'espace : combinaisons de capteurs, de récepteurs. Eyetracking, handtracking (leap motion, gants), capture du bras ou du corps entier (Kinect).
Visuels	Écran, lunettes de réalité virtuelle ou augmentée, « cave » (salle d'immersion en réalité virtuelle), compteur, voyant, etc.
Sonores	Retransmission des données sonores, commande vocale (mots-clés, phrases), indication sonore (alarme, orientation).
Autres	Interface cerveau-ordinateur (BCI), électromyogramme (EMG), électroencéphalogramme (EEG), montres connectées, etc.

TABLEAU 1 : MOYENS D'INTERACTION HOMME ROBOT [3]

C. Raisons de mise en place des systèmes cobotique et critères de conception

La mise en place de systèmes cobotiques peut-être motivée par différents types d'objectifs et de critères (économiques, industriels, technologique, humains, etc.). Les contributions scientifiques présentant des retours d'expériences dans ce sens sont limitées. Dans cette section, nous recensons des raisons et critères de mise en place de solutions cobotiques issus de sites web des constructeurs de robots collaboratifs, des guides de sécurité et de mise en place de solutions cobotiques, d'interviews (vidéos et articles) avec des industriels intéressés par cette nouvelle technologie, et d'un rapport scientifique présentant le retour d'expérience 4 entreprises québécoises [5].

- Raisons industrielles et économiques : adaptation de la production au contexte économique (demande fluctuante, petites séries, reconfiguration), amélioration de la performance et de la qualité en s'affranchissant des limites liées aux capacités humaines (force, précision, endurance, calcul, etc.), réduction des coûts d'investissement (c'est-à-dire de programmation, réduction de l'espace au sol, coût du robot, etc.), modernisation des ateliers,
- Critères techniques : la charge utile, l'enveloppe de travail, les degrés de liberté, la précision, la répétabilité, la vitesse maximale, la durée de vie et les contraintes

environnementales supportables (température élevée, milieu humide, etc.).

- Facteurs humains : réduction de la pénibilité aux postes de travail, soulagement des contraintes biomécaniques, physiologiques et cognitives liées aux tâches, facilité d'utilisation, permission d'accès aux postes à un éventail plus large d'opérateurs (handicap, genre, âge, force physique, taille, etc.).

L'atteinte de ces objectifs dépend grandement des démarches de conduite de projet adoptées durant le processus de conception des systèmes cobotiques. Afin d'aboutir à des solutions satisfaisantes pour les différentes parties prenantes, cette démarche doit allier efficacité, facteurs humains, et faisabilité technologique. La prise en compte des facteurs humains ne doit pas se limiter à la mise en place de mesures de sécurité. La section suivante présente des travaux de recherche et des réflexions autour de la prise en compte des facteurs humains dans les projets de conception.

III. COBOTIQUE INDUSTRIELLE : ASPECT CONDUITE DE PROJET

A. Conception anthropocentrée

Plusieurs travaux [6, 7, 8, 9, 10] ont mis en évidence les nombreuses formes de variabilités rencontrées dans le quotidien des situations de travail [11]. Ces variabilités peuvent être engendrées à la suite de plusieurs types d'imprévus : économiques, telle que la fluctuation de la demande client ; techniques, liées aux pannes machines ; organisationnels et collectifs : absence d'un ou de plusieurs membres de l'équipe par exemple ; ou encore naturels, comme la variation des conditions climatiques du milieu de travail ; etc. Ces variabilités peuvent conduire à une dégradation de la qualité, à des arrêts de production, à des incidents, voire même à des accidents présentant des risques pour les opérateurs, les systèmes de production, et l'environnement [12].

Les niveaux des performances exigés en termes de qualité, délais et productivité sont souvent tenus par les opérateurs. Car en réalité, ces derniers ne sont pas de simples exécutants des standards prévus par l'organisation, ni des observateurs passifs en cas de difficultés rencontrées. En effet, le bon fonctionnement des installations industrielles repose sur des savoirs et des savoir-faire déployés, en situation, par les opérateurs pour gérer les différentes variabilités et anticiper leurs causes et effets potentiels. Ces activités peuvent se manifester d'une manière individuelle : sous forme de raisonnement, d'arbitrage, de prise de risque, etc. ; ou d'une façon collective : sous forme d'échange d'informations, de coordination d'actions, de coopération et d'entraide, etc. La mise en place de ces différents types de stratégies peut être au prix d'un coût important pour la santé des personnes [13].

Dans les projets de conception, la non prise en compte de cette discontinuité fondamentale entre 'ce qu'on demande à l'Homme' (la tâche prescrite) et 'ce qu'il met en œuvre et ce que ça lui demande' pour le réaliser (l'activité) impactera directement leur réussite. Cela peut se traduire dans un premier temps par des difficultés du démarrage des nouvelles installations (apprentissage difficile, risques d'accidents, etc.).

Puis, par des délais non tenus, des coûts d'exploitation et d'entretien importants, de la non-qualité, etc. [14]. De plus, après la mise en place des nouveaux systèmes, « le traitement après-coup des questions d'organisation du travail, de formation et de qualification s'accompagne souvent de relations tendues avec l'encadrement de proximité et les partenaires sociaux ; ces derniers ayant l'impression d'être mis devant le fait accompli » [11].

Les différents constats impliquant des difficultés lors de la conduite des projets amènent à souligner les avantages d'une analyse des activités individuelles et collectives développées et mises en œuvre par les opérateurs ainsi que les impacts organisationnels en capacité de les soutenir ou de les empêcher. Une meilleure compréhension des activités en situation pourra alimenter les démarches de conduite de projets et contribuer à la réussite du processus de conception [15, 16].

L'ergonomie de l'activité [17, 18, 19, 20] a été développée dès les années 1980 des approches de conception, puis de conduite de projet dans la perspective d'une meilleure prise en compte du travail réel dans le cas des transformations des situations existantes et du travail futur et probable dans le cas de la conception de nouvelles situations d'action.

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 participation actives de l'ensemble des acteurs concernés par le projet, y compris les opérateurs.

Ces approches se structurent en 3 grandes étapes : analyse, simulation et accompagnement [21].

- **Analyse du projet et du travail** : cette étape s'intéresse à la construction de connaissances sur le projet (identification du travail prescrit actuel, des différents enjeux du projet, des acteurs impactés par la situation future, des données de santé et de performance lié au projet, etc.) et sur le travail réel des opérateurs en identifiant les différents déterminants (personnels et organisationnels) de l'activité, les sources de variabilités, et les stratégies mises en place par les opérateurs pour tenir ensemble les objectifs industriels et les objectifs de santé, de sécurité et de développement de leurs compétences.

- **Simulation** : cette étape est au cœur de la démarche ergonomique en conception [21]. Elle constitue la rencontre des approches descendantes (issues de connaissances expertes) et ascendantes (issues de l'analyse de situations réelles), elle permet de produire des pronostics sur des difficultés que les opérateurs pourraient rencontrer dans leur activité future [11]. La simulation ne vise pas de prescrire la «bonne façon» d'effectuer les tâches, mais de prendre en compte les formes potentielles d'activité future, de vérifier leur acceptabilité, et d'alimenter la réflexion dans un but d'analyse-simulation-conception continues, jusqu'à l'aboutissement à des solutions acceptables par les différents acteurs du projet.

- **Accompagnement** : cette étape vise à s'assurer que les scénarios de prescription privilégiés soient validés par l'instance décisionnelle du projet, et qu'ils soient réellement mis en place et déployés lors du démarrage du projet. Ceci, en traduisant ses résultats sous formes d'exigences techniques et organisationnelles constituant une ressource essentielle du travail des concepteurs [21].

L'une des finalités centrales d'une approche ergonomique est l'aboutissement à des accords de développement conjoint de la santé, de la performance, et des personnes [22]. En centrant le dialogue entre les différentes parties prenantes du projet sur le travail et l'activité [23], et en orientant les choix vers la recherche de moyens qui élargissent les "marges de manœuvre" des opérateurs, de manière à ce que face à la variabilité, ils puissent mettre en œuvre des moyens cohérents avec leur diversité et leur propre variabilité [24]. La réussite de ces approches est liée, entre autres, à leur caractère participatif, regroupant dans le même projet : les décideurs (direction, chef de projet, ressources humaines, finance...), les chefs d'équipes, les opératrices et opérateurs concernés par le projet, les concepteurs, et les instances représentatives du personnel.

B. Conduite de projet cobotique

Des travaux récents se sont intéressés à la prise en compte de la dimension humaine dans les démarches de conduite de projets. THIBAUT [25] a complété la méthode de conduite de projet adoptée par Safran avec des jalons et livrables intermédiaires issus de l'ergonomie. La démarche initiale est structurée en 6 étapes :

- J1. avant-projet : validation du besoin (principes de fabrication, de services, de produits, etc.) ;
- J2. études de base : validation des cahiers des charges décrivant les principes de solutions ;
- J3. études de détail : validation des solutions techniques détaillées ;
- J4. pré-réceptions et réceptions : validation des équipements chez le fournisseur ;
- J5. mise en production : validation des préséries ;
- J6. réceptions définitives : validation de la production série.

La démarche résultante est représentée dans le tableau 2 [3]. Elle a été expérimentée dans les thèses de [3, 26] afin de répondre à un besoin industriel de la société Ariane Group : le nettoyage des cuves. Une étape de la fabrication des boosters, qui assurent la première phase de propulsion de la fusée grâce à un matériau pyrotechnique. L'opération était réalisée à l'aide d'outils simples. Elle était physiquement pénible puisque le produit à nettoyer est collant et visqueux. Dans ces deux thèses, l'analyse du besoin s'est basée sur le travail réel des opérateurs à travers une analyse de leur activité. L'équipe du projet a mis au point un principe de solution cobotique qui a fait l'objet d'une simulation numérique basique, évaluée et améliorée par les opérateurs. Puis, pour simuler les interactions Homme-robot, une maquette interactive a été réalisée, qui a, elle aussi, été évaluée et améliorée par les opérateurs. Enfin, un prototype de nettoyage des cuves a été conçu, il a permis d'apporter des résultats sur le

procédé de nettoyage robotique et les interactions dans des conditions plus représentatives. L'appropriation croissante par les opérateurs du système technique conçu a été observée par les auteurs à travers les itérations de simulations participatives. Pour limiter les risques liés à une mauvaise intégration de l'Homme dans les projets de conception, et pour veiller au bon déroulement de la démarche ergonomique succinctement décrite un indicateur de maturité du projet du point de vue de l'intégration de l'Homme « Human Integration Readiness Levels » a été proposé [3]. Cet indicateur, inspiré du « Technology Readiness Levels » et du « Human Factors Engineering Process Integrating Points » de la NASA, associe des niveaux de maturité (9 niveaux) aux différentes phases de la démarche de conduite de projet de Safran présentée précédemment.

	<i>Jalon de validation</i>	<i>Exemples de livrables en ergonomie</i>
J1	Validation du besoin et de la faisabilité du projet	Retour d'expérience de l'existant (analyse des activités de travail, évaluation des risques existants, données SSE, etc.) mais aussi benchmarking (fournisseurs, autres industriels)
J1'	Démarrage du projet et validation d'une équipe projet	Ressources en ergonomie identifiées et missionnées par rapport à l'équipe projet
J1''	Validation des cahiers des charges et des attendus vis-à-vis des fournisseurs	Préconisations dans les cahiers des charges en termes de spécifications mais aussi d'attendus vis-à-vis des fournisseurs (simulations, maquettage, obligation de résultats vis-à-vis des risques liés à l'ergonomie, etc.)
J2	Validation des principes de solutions	Critères en ergonomie (résultats des simulations, avis des futurs utilisateurs, analyses de situations de référence, etc.) à intégrer dans les critères de choix des fournisseurs
J2'	Validation fournisseurs et lancement des études de détails	Check-list afin de pointer l'ensemble des attendus
J2''	Validation des simulations	Simulations des activités futures, pronostic d'évaluations des risques avec la participation des futurs utilisateurs (production, maintenance, etc.)
J3	Validation des solutions détaillées	Check-list et pronostic d'évaluations des risques
J3' et J4	Validation des pré-réceptions et réception	Prototypage/test utilisateurs, pronostic d'évaluations des risques
J5	Validation des préséries	Analyse des activités de travail avec les nouvelles installations. Formation et validations des exigences
J6	Validation de la production série	Évaluation définitive des risques et formalisation d'un retour d'expérience (Bonnes Pratiques)

TABEAU 2: LES JALONS DE LA CONDUITE DE PROJET PROMPT ET LES LIVRABLES ASSOCIES [25]

La démarche présentée dans cette partie est inspirée de l'ergonomie de l'activité qui se base sur l'analyse du travail réel pour alimenter le processus de conception. D'autres approches intéressantes existent, celles-ci pourraient compléter la démarche présentée. A titre d'exemple, [27] ont présenté une méthode pour effectuer des évaluations ergonomiques des activités de co-manipulation et son application à la conception de robots collaboratifs. Dans ce travail, plusieurs indicateurs ergonomiques tel que l'équilibre du corps, la capacité de génération des forces et mouvements, la dextérité de rotation de la tête, et l'énergie cinétique du corps, ont été définis pour estimer les différentes demandes biomécaniques qui surviennent lors des activités manuelles. Ces indicateurs ont été mesurés au moyen de simulations humaines virtuelles dynamiques, pour différentes caractéristiques de l'Homme et du robot, afin de quantifier l'influence de chaque paramètre du robot et d'identifier ceux qui devraient principalement être modifiés pour améliorer les performances ergonomiques. La méthode a été appliquée à l'optimisation d'une morphologie de robot pour assister une activité de perçage. Les performances des robots résultants ont confirmé la pertinence de l'approche proposée.

IV. CONCLUSION

La cobotique présente plusieurs perspectives pour le futur. Elle permettrait aux entreprises de suivre la fluctuation de la demande client, de monter en concurrence, de réduire les opérations répétitives, etc. Or, L'intégration d'un robot collaboratif n'est pas neutre. Il s'agit d'une modification de l'organisation de travail, d'une réaffectation des opérateurs, d'une modification des collectifs de travail, etc.

La prise en compte de la variabilité des situations de travail, l'analyse des savoirs et savoir-faire (individuelles et collectives) mobilisés pour les gérer ainsi que l'importance des marges de manœuvre et du pouvoir d'agir des opérateurs concernés par l'introduction des cobots permettra une conception qui allie performance productive, santé, sécurité et développement des personnes et des organisations.

La structuration participative du projet de conception constitue une condition essentielle de sa réussite. Afin de concevoir des interactions collaboratives Homme(s)-robot(s), une Co-élaboration Opérateur-Concepteur s'avère nécessaire. Ceci, durant l'ensemble des étapes du projet, que l'on peut modéliser selon une boucle itérative d'analyse, de simulation, d'évaluation et d'amélioration continues des possibilités d'interactions collaboratives Homme(s)-robot(s).

V. REFERENCES

[1] Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs Pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées, Edition 2017, Ministère du travail

[2] HELMS, E., SCHRAFT, R. ET HÄGELE, M., "Robot assistant in industrial environments". In Proceedings of the 11th IEEE International

Workshop on Robot and Human Interactive Communication. Berlin 2002.

[3] THEO MOULIERES-SEBAN : Conception de systèmes cobotiques industriels – Approche cognitive – Application à la production pyrotechnique au sein d'Ariane Group. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2017.

[4] LAENGLE, T., HOENIGER, T. ET ZHU, L. (1997). "Cooperation in human-robot-teams". In Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pages 1297–1301 vol.3, Xian 1997

[5] JOCELYN, F., BURLET-VIENNEY D., GIRAUD L., SGHAIER A., Robotique collaborative : "Évaluation des fonctions de sécurité et retour d'expérience des travailleurs, utilisateurs et intégrateurs au Québec", Rapport scientifique.

[6] LAVILLE, A., TEIGER, C. " Nature et variations de l'activité mentale dans les tâches répétitives : essai d'évaluation de la tâche de travail ". Travail Humain, 35, 1-2, 1972, 99-116.

[7] JONES, B. "Division of labour and distribution of tacit knowledge in the automation of metal machining. Proceedings of IFAC congres : Design of work in automated manufacturing system". p 19-22 Karlsruhe 1983.

[8] WALL, T., D., DAVIDS, K. "Shopfloor work organisation and AMT". I. Cooper & C. L. Robertson (Eds.), International Review of Industrial and Organisational Psychology. 1991, Chichester : John Wiley & Sons.

[9] CLOT, Y. "Le travail sans l'homme ? Pour une psychologie des milieux de travail et de vie". La Découverte. Paris 1998.

[10] HUBAULT, F., LANGA, P., MELIER, B. "Les questions industrielles changent : l'ergonomie peut-elle y répondre sans revenir sur certains concepts ? ". Actes du XXXII^e congrès de la Self. Lyon, Septembre 1997.

[11] GARRIGOU, A., THIBAULT, J.-F., JACKSON, M., & MASCIA, F. "Contributions et démarche de l'ergonomie dans les processus de conception". Pistes, 3(2), 2001 1-20.

[12] DANIELLOU, F., GARRIGOU, A. "Human Factors in Design : Sociotechnics or Ergonomics ? ". In M. Helander, (Ed.), Design for Manufactorability and Process Planning. Londres 1991 pp 55-63.

[13] GARRIGOU, A., CARBALLEDA, G., DANIELLOU, F. "The contribution of activity analysis to the understanding of maintenance difficulties in high-risk process control plant". In F. Aghazadeh, Advances in Industrial Ergonomics and Safety VI. Taylor & Francis, London 1994, pp. 199-206.

[14] WISNER A. et DANIELLOU, F. "Operation rate of robotized systems : the contribution of ergonomic work analysis", in HENDRICK, H.W., & BROWN.,

- O. Jr, *Human Factors in Organizational Design and Management*, pp 461-465, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1984.
- [15] BEGUIN, P. "De l'individuel au collectif dans les activités avec instruments". Thèse de doctorat d'Ergonomie. Laboratoire d'Ergonomie du CNAM. Paris 1994.
- [16] RABARDEL, P. "Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains". Paris 1995, Armand Colin.
- [17] THEUREAU, J., PINSKY, P. "Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique. *Revue des Conditions de Travail*", 9, 1984, 25-31.
- [18] DANIELLOU, F., "Les modalités d'une ergonomie de conception, son introduction dans la conduite des projets industriels", Note documentaire ND 1647-129-87, Paris 1987 : INRS.
- [19] MALINE, J. "Simuler le travail". Editions de l'ANACT : Lyon 1994.
- [20] GARRIGOU, A, DANIELLOU, F., CARBALLEDA, G. et RUAUD, S. "Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity. *International Journal of Industrial Ergonomics*", 15, 1995, 311-327.
- [21] BARCELLINI, F., VAN BELLEGHEM, L. ET DANIELLOU, F. (2013) Les projets de conception comme opportunité de développement des activités. In Falzon, P. (coord.) *Ergonomie constructive*. Paris PUF.
- [22] BENCHEKROUN, T.H. "Intervenir en ergonomie : analyser le travail pour le comprendre et transformer le travail pour le concevoir", Actes du 51ème Congrès de la SELF, Marseille 2016, 21-23
- [23] BENCHEKROUN, T.H.. "Coopération conflictuelle ". Biennale internationale de l'Education, de la Formation et des Pratiques Professionnelles. Cnam, Paris 2015.
- [24] GUERIN, F., LAVILLE, A., DANIELLOU, F., DURAFFOURG, J., & KERGELEN, A. "Comprendre le travail pour le transformer". ANACT : Montrouge 1991.
- [25] THIBAUT, J. F. "Guide pratique d'ergonomie en conception industrielle (Safran)". Octarès, 2017.
- [26] BITONNEAU, D. Conception de systèmes cobotiques industriels : approche robotique avec prise en compte des facteurs humains : application à l'industrie manufacturière au sein de Safran et ArianeGroup. Thèse de doctorat : Automatique / Robotique. Université de Bordeaux, 2018.
- [27] MAURICE, P. PADOIS, P. MEASSON, Y. BIDAUD, P. Human-oriented design of collaborative robots. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, 2017, 57, pp.88-102. <10.1016/j.ergon.2016.11.011>. <hal-01428778>