

Quelles conceptions de la coopération humains-robots collaboratifs ? Une expérience de participation au projet de conception d'un démonstrateur de robotique collaborative

Flore Barcellini

▶ **To cite this version:**

Flore Barcellini. Quelles conceptions de la coopération humains-robots collaboratifs ? Une expérience de participation au projet de conception d'un démonstrateur de robotique collaborative. Activités, 2020, 17 (1), 10.4000/activites.5007 . hal-02958852

HAL Id: hal-02958852
https://cnam.hal.science/hal-02958852

Submitted on 10 May 2022

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Activités

17-1 | 2020
IA, robotique, automatisation : quelles évolutions pour l'activité humaine ?

Quelles conceptions de la coopération humains-robots collaboratifs ?

Une expérience de participation au projet de conception d'un démonstrateur de robotique collaborative

Conceptions of human-robot collaborative cooperation. A case of participation in a collaborative robot design process

Flore Barcellini

Édition électronique
URL : https://journals.openedition.org/activites/5007
DOI : 10.4000/activites.5007
ISSN : 1765-2723

Éditeur
ARPACT - Association Recherches et Pratiques sur les ACTivités

Ce document vous est offert par Conservatoire national des arts et métiers (Cnam)

Référence électronique
Flore Barcellini, « Quelles conceptions de la coopération humains-robots collaboratifs ? », *Activités* [En ligne], 17-1 | 2020, mis en ligne le 15 avril 2020, consulté le 10 mai 2022. URL : http://journals.openedition.org/activites/5007 ; DOI : https://doi.org/10.4000/activites.5007

Ce document a été généré automatiquement le 29 septembre 2020.

Activités est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Quelles conceptions de la coopération humains-robots collaboratifs ?

Une expérience de participation au projet de conception d'un démonstrateur de robotique collaborative

Conceptions of human-robot collaborative cooperation. A case of participation in a collaborative robot design process

Flore Barcellini

NOTE DE L'ÉDITEUR

Article soumis le 21 février 2019, accepté le 30 janvier 2020

Les travaux présentés dans ce texte ont été en partie financés par l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR). L'auteure tient particulièrement à remercier les collaborateurs de ses projets. Pour le projet ICARO, Corinne Grosse chargée de recherche au CNAM qui a effectué les analyses de terrain et la conduite des réunions de scénarisation-simulation, ainsi qu'Adolfo Suarez, Antoine Lasnier et Nahid Armande, ainsi que les collègues du LAAS et du Lirmm pour le projet ICARO. Pour le projet HECTTOR Caroline Moricot, Anne-Cécile Lafeuillade, Willy Buchmann, Tahar-Hakim Benchekroun, Marco Saraceno, Celine Rosselin, Thierry Pillon, Gérard Dubey, Ali Siadat, Mouad Bounouar, et Richard Béarée pour le projet HECTTOR. Pour le projet « Design Social pour la transformation numérique », Louis Galey, Alain Larose, Anne-Gaelle Lefeuvre, Emmanuel Palliet, Emmanuel Reich.

1. Introduction

1 Il existe aujourd'hui un questionnement important sur les transformations du travail et de l'emploi en lien avec les « technologies du numérique » ou « du futur » ; en témoigne

le nombre de rapports d'agences publiques, d'organisations syndicales (ANACT, CGT, INRS, CFDT, CEO, DARES, FIM...), de *think tank* (p.ex. La Fabrique de l'Industrie) ou encore de financements de recherches scientifiques (p.ex. Défi « Stimuler le renouveau industriel » de l'Agence Nationale pour la recherche) sur ces questions. Ces transformations sont supposées être accélérées aujourd'hui par la rencontre : d'une évolution des technologies (p.ex. développement de nouveaux algorithmes d'Intelligence Artificielle, développement des technologies robotiques...) et d'une volonté politique de « modernisation des outils de production », telles que le programme « Industrie du Futur » en France, ou des programmes analogues à l'étranger (Allemagne, Italie, Royaume-Uni, Chine, Corée) (Bidet-Mayer, 2016). Cette volonté politique s'appuie sur différentes formes d'action (instances de promotion, guides, diagnostics techniques ou économiques, financements régionaux...) qui enjoignent les dirigeants d'entreprise – notamment de PME – à transformer leurs équipements de production et leurs modes d'organisation du travail (Lafeuillade, Barcellini, & Buchmann, 2018 ; Lafeuillade, Barcellini, Buchmann, & Benchekroun, à paraître). Cependant, une analyse plus fine des éléments de langage et de la structure du programme « Industrie du Futur » montre que le travail et la conduite de ses transformations y sont en fait insuffisamment pensés (Barcellini, 2019 ; Lafeuillade *et al.*, 2018 ; Saraceno, à paraître). Même si ce programme est porteur d'éléments de langages sur « la place de l'humain » dans l'industrie du futur et sur les nécessaires évolutions des modes d'organisation et de conception au-delà du seul équipement technologique, ces éléments sont en fait très proches de ceux des grands plans des années 1980 (Saraceno, à paraître) – dont les limites ont d'ores et déjà été largement documentées (Daniellou, 1988 ; Du Roy, Hunault, & Tubiana, 1985 ; Lapeyrière, 1987 ; Laplace & Régnaud, 1986 ; Maire & Brument, 1987). Ainsi, la réalité de programme « Industrie du Futur » est en fait techno-centrée. Tout d'abord, il fait référence à une « *collection de technologies hétérogènes* » (cobotique et exosquelette, fabrication additive, big data et cloud, internet des objets et RFID, réalité augmentée et réalité virtuelle...) (Bidet-Mayer, 2016), souvent présentées comme des « remèdes » à des problèmes rencontrés par l'industrie, sans que soient réellement questionnées de manière systémique « leurs causes » et la pertinence de la seule réponse technologique ; le cas des robots collaboratifs en est une parfaite illustration nous y reviendrons. Par ailleurs, « l'hétérogénéité » de ces technologies peut faire craindre que leur complémentarité ne soit qu'insuffisamment pensée et que leur introduction tous azimuts ne génère des situations de travail porteuses de prescriptions contradictoires. Ce serait alors aux travailleurs concernés d'intégrer ces prescriptions contradictoires et d'y faire face « comme ils peuvent » pour atteindre les objectifs de production au risque de compromettre leur santé. Enfin, la rationalité technique domine les instances actuelles de promotion du programme (Alliance Industrie du Futur, Factory Lab...)[1] via notamment la représentation de grands corps intermédiaires (branches professionnelles et syndicats), des fournisseurs de solutions techniques ou des industriels-« usagers » finaux de ces technologies : les représentants des sciences humaines et du travail occupent en fait une place extrêmement réduite.

2 Dans ce cadre, il apparaît qu'il est de la responsabilité des sciences du travail – et en particulier l'ergonomie de l'activité – d'alimenter une réflexion sur les transformations du travail et leur conduite. L'objectif de cet article est de contribuer à cette réflexion en relatant une première expérience de participation à un projet de recherche industrielle, financé par l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR)[2] et visant la

conception d'un démonstrateur[3] de robot dit collaboratif destiné à de grands groupes industriels pionniers de l'industrie du futur. Ce projet appelé **ICARO**[4] pour « **I**ndustrial **C**ooperative **A**ssistant **RO**botics » a réuni entre 2011 et 2014 des services de R&D en robotique de deux industriels (Airbus et PSA) utilisateurs de technologies robotiques sur leurs lignes de production, des fournisseurs de technologies robotiques et des laboratoires de recherches : deux en robotiques (LAAS et LIRMM) et un en ergonomie de l'activité (Centre de Recherche sur le Travail et le Développement du CNAM). Cette expérience nous semble intéressante, car la robotique collaborative est une des technologies phares de l'industrie du futur, et elle est emblématique des transformations et des promesses technologiques en lien avec « l'industrie du futur » : les robots collaboratifs illustrent bien la perspective de la technologie pensée comme un « remède », par exemple pour prévenir l'apparition de Troubles-Musculo-Squelettiques (TMS) liés au travail, présenté comme un argument majeur de l'introduction de cette technologie. Par ailleurs, leur introduction pose des questions allant des modes de coopérations possibles entre humains et robots (répartitions des tâches, autonomie ou subordination des travailleurs aux robots ; existences de nouvelles tâches, possibilités de situations de travail plus soutenables ou au contraire « travail appauvri » (Zouinar, 2018) jusqu'aux transformations organisationnelles, de l'emploi, et même sociétales. Enfin, ce projet a la spécificité de concerner un projet de recherche industrielle relativement « amont » dans le sens où la technologie en cours de conception faisait à l'époque du projet encore l'objet de nombreux développements et « verrous technologiques ». Le positionnement et l'apport des chercheurs en ergonomie dans ce projet apparaît comme un « cas d'école » (Leplat, 2002) qui mérite à notre sens d'être décrit et capitalisé au regard des propositions actuelles de structuration des démarches de conception en l'ergonomie de l'activité et des enjeux de la conduite des transformations du travail en lien avec « l'Industrie du Futur ». Nous caractériserons dans cet article la démarche de conduite de projet mise en place – articulant une double conduite au sein du projet de recherche en lui-même et dans les usines visant à être équipée, en insistant en particulier sur la réification d'un modèle de la « coopération » travailleurs-cobots dans un démonstrateur de robot collaboratif.

2. Positionnement théorique

3 La contribution à la conception de technologies « du futur » décrite ici s'appuie sur un ancrage théorique dans les démarches de conduite de projets de conception proposés par l'ergonomie de l'activité, ainsi que sur les modèles de coopération entre humains et technologies (Hoc, 2001), notamment le modèle des systèmes coopératifs (Folcher & Rabardel, 2004). L'articulation de ces deux ancrages théoriques nous semble essentielle pour favoriser la conception de situation d'activité future (Folcher, 2015) impliquant un robot dit collaboratif et permettant un travail en santé et en performance. En effet, la mobilisation et la production de modèles de coopération sont une condition nécessaire pour la conception de systèmes coopératifs ; elle n'est néanmoins pas suffisante et doit s'inscrire dans une conduite de la transformation plus large permettant d'instruire les questions techniques, organisationnelles et sociales posées par l'introduction d'un tel robot (Barcellini, van Belleghem, & Daniellou, 2013 et supra ; Daniellou, 1992).

2.1. Une inscription dans les démarches de conduite de projet de conception de l'ergonomie de l'activité

4 L'ergonomie de l'activité a développé de longue date des démarches d'action dans les projets de conception : de systèmes industriels complexes (Daniellou, 1992) ; de conception architecturale (Martin, 2004) ; d'organisation (Petit, 2005) ; ou de nouveaux produits ou services impliquant le développement de nouveaux usages (Brangier & Robert, 2014 ; Couillaud, 2018 ; Le Bail, 2018 ; Nelson, 2011 ; Valléry, Le Port, & Zouinar, 2010). Ces démarches visent à dépasser des écueils classiques des projets de conception pour in fine aboutir à la conception de situations d'activités futures (Folcher, 2015) permettant aux travailleurs d'être performants et de travailler en santé. Parmi ces écueils, citons par exemple, la prégnance des logiques techniques ou économiques sous-tendant les décisions de transformations du travail, un déficit de management de projets notamment par les décideurs ou la maitrise d'ouvrage et un déficit d'organisation des négociations nécessaires à l'avancée du projet. Les questions d'organisation du travail, d'emploi, de qualité du travail, de formation, de conditions de travail, de santé sont traitées comme des conséquences de choix techniques ou économiques et ne sont pas intégrées en amont des processus décisionnels. Enfin, un dernier écueil notable est l'absence de prise en compte du travail et des conséquences des choix de conception sur les possibilités d'agir des travailleurs, leurs régulations individuelles et collectives ; mais également sur l'organisation du travail dans les processus de décisions liés aux transformations du travail.

5 Les démarches de conception portées par l'ergonomie de l'activité visent à pallier ces écueils en mobilisant des connaissances produites sur les processus et les activités de conception (Barcellini, 2015 ; Folcher, 2015) pour des synthèses de ces travaux). Ces travaux permettent de voir la conduite de transformation du travail comme une activité collaborative de conception et de prise de décision. Les démarches proposées pour accompagner ces transformations s'appuient alors sur plusieurs principes fondateurs :

1. L'ancrage des démarches dans une analyse stratégique et sociale de la situation-projet dans laquelle les ergonomes sont impliqués (Barcellini, 2015 ; Daniellou, 1992 ; Folcher, 2015) ;
2. Une action sur la structuration de cette situation-projet :
   - en se positionnant auprès des différentes parties-prenantes (p.ex. assistance à maitrise d'ouvrage ou assistance maitrise d'œuvre) ;
   - en cherchant à impliquer des acteurs du projet décideurs, management, production, maintenance, concepteurs, travailleurs concernés, Instances Représentatives du Personnel...) porteurs d'une diversité de logiques (économiques, organisationnelles, RH, santé, sécurité, qualité, production, activités de travail...) ;
   – en mettant en place des espaces de conception réellement collaboratifs et ouverts à permettant de réaliser des arbitrages et de négociation entre ces différentes logiques (Barcellini, 2015 ; Folcher, 2015).
3. Une visée de conception de situations de travail ou de « *situations pour des activités futures* » (Folcher, 2015 ; p. 40) – et non uniquement d'artefacts ; et ceci au travers des diverses méthodes :
   - d'analyse ou de diagnostic (co-construit ou proposé par l'ergonome) de l'activité ou des usages existants visant à produire des connaissances pour la co-conception ;
   - de co-conception de situations d'activité permettant d'examiner différents scénarios de prescription de l'activité future (p.ex. scénarisation d'alternatives de situations) et de se

projeter dans des situations d'activités futures potentielles (Barcellini, van Belleghem, & Daniellou, 2013 ; Béguin, 2003 ; Maline, 1994).

6 Par ailleurs, plusieurs auteurs soulignent la dimension potentiellement constructive de ces situations-projets transformées par l'ergonome, à la fois pour les concepteurs et les « usagers », et militent pour le renforcement de cette dimension (Barcellini *et al.*, 2013 ; Béguin, 2003 ; Folcher, 2015). Dans ce sens, Folcher (2015) propose de développer le pouvoir d'agir des parties-prenantes de la conception – qu'elle distingue de par leur rôle vis-à-vis de la conception : concepteurs *pour* l'usage (i.e. concepteurs ou décideurs statutaires) et concepteurs *dans* l'usage (classiquement opérateurs ou utilisateurs qui mettent souvent en œuvre de fait une activité de conception, soit au sein des projets si on leur en donne l'opportunité, soit en aval une fois l'artefact « mise en usage »). Ce développement du pouvoir d'agir des concepteurs pour et dans l'usage permet ainsi de créer ce que l'auteure propose d'appeler une capacité en *maitrise d'usage*. Cette « nouvelle » maitrise ainsi nommée pourrait alors avoir un statut dans les projets au même titre que les maitrises classiques (maitrise d'ouvrages et d'œuvre).

7 Nous relaterons dans la section empirique de cet article la façon dont a été structurée la démarche mise en œuvre par les chercheurs en ergonomie en caractérisant les principes fondateurs identifiés ci-dessus : (1) analyse stratégique et sociale de la situation-projet et le positionnement qui en découle ; (2) action sur la structuration du projet et mise en place d'espaces collaboratifs ; (3) méthodes et résultats relatifs à la co-conception de la situation d'activité future au travers actuelle et future (analyse de l'existant et prospection/projection de la situation d'activité future). En suivant les propositions de Leplat (2002), l'inscription dans ce cadre théorique associée à la caractérisation des éléments de contexte de ce « cas d'école » permettra de dépasser la singularité de ce cas pour contribuer à la production de connaissances sur le positionnement de l'ergonomie de l'activité dans des projets de recherche visant la conception de technologies « émergentes » ou « du futur ».

2.2. Apport de l'approche des systèmes coopératifs pour penser un modèle fort de coopération travailleurs-cobot

8 Un second point de positionnement concerne les modèles permettant de penser la coopération potentielle entre travailleurs et technologie, leurs liens avec la performance et la construction de la santé de ces travailleurs. Ce point se révèle essentiel notamment au regard des promesses de « collaboration » des robots dits collaboratifs.

Qu'est-ce que la robotique dite collaborative ?

9 Les *robots dits collaboratifs* ou *cobots* pour « collaborative ou coopérative robots » ont été initialement pensés « *pour être en interaction directe avec un travailleur humain [...]. Ils se démarquent des robots industriels autonomes qui doivent être tenus séparés des personnes pour des raisons de sécurité* »[5] (Peshkin & Colgate, 1999). D'un point de vue technique, il s'agit de robots dotés de capteurs permettant de détecter la présence d'humains dans un environnement physique partagé[6]. Ceci étant dit, il n'existe pas réellement de consensus autour de la définition de « robots dits collaboratifs » ou de cobotique (voir Moulières-Seban 2017 pour une revue exhaustive sur ce point). Les termes de robots

collaboratifs ou de cobots ont notamment été utilisés par des fabricants de robots pour qualifier les robots « *ayant les dispositifs de sécurité [...] suffisants pour pouvoir fonctionner dans le même espace de travail que l'Homme* » (Moulières-Seban, 2017, p. 21)[7]. Une seconde acception va plus loin dans la caractérisation de la dimension coopérative des cobots : un cobot ne partagerait pas uniquement un même espace de travail avec le travailleur, mais il devrait être engagé *conjointement* dans une tâche avec celui-ci, être son assistant tout en restant dépendant de son intention ou de ses gestes. Le couple travailleur-cobot permettrait ainsi d'agir dans des situations où « l'intelligence », l'expertise et les capacités de régulations de l'humain sont nécessaires, mais que le travailleur est confronté à des tâches pénibles, difficiles, dangereuses ou répétitives (Kleinpeter, 2015) ou que son action nécessite d'être amplifiée ou fiabilisée (Moulières-Seban, 2017).

10 Cette seconde acception porte potentiellement une vision plus forte de la coopération que celle s'appuyant uniquement sur le partage d'un espace commun, qui relèverait plus a de co-présence (Barthe & Quéinnec, 1999) ou de colocalisation (Moulières-Seban, 2017)[8]. Pour aller plus loin dans la caractérisation de ce que pourrait être un robot effectivement coopératif, voire collaboratif, notre parti-pris a été de nous appuyer sur des modèles de la coopération entre humains (Barthe & Quéinnec, 1999 ; Dillenbourg, Baker, Blaye, & O'Malley, 1995 ; Schmidt, 1994) et sur une approche de la coopération humains-machines (Hoc, 2001) et des systèmes coopératifs (Folcher & Rabardel, 2004).

L'approche « système coopératif »

11 Les travaux portant sur la coopération entre humains permettent de préciser les concepts de collaboration et de coopération. Certains modèles proposent de voir la collaboration comme impliquant : (1) des interactions, notamment langagières et argumentatives, pour construire une compréhension commune d'un objectif ou d'une situation, et (2) une co-élaboration des connaissances via des processus de négociation de sens, de re-conceptualisation, de recherche de consensus et de gestion des désaccords (Andriessen, Baker, & Suthers, 2003 ; Baker, 2004 ; Baker, 2015 ; Muller Mirza & Perret-Clermont, 2009), ce que Schmidt nomme également la coopération débative (Schmidt, 1994). Compte tenu de cette définition, la collaboration entre humains et robots impliquerait des processus argumentatifs et/ou de négociation qui semblent inenvisageables en l'état actuel des technologies robotiques. En effet, celles-ci restent en partie déterministes, et non encore dotés de systèmes « d'Intelligence Artificielle » suffisamment performants pour soutenir des processus de co-élaboration d'une « compréhension commune » humains-robot d'une situation.

12 Nous retenons donc le concept de coopération comme le plus opérant, notamment les propositions de Hoc (2001) concernant l'analyse de coopération humains-machines à des fins de conception. Les modèles de la coopération entre humains (Schmidt, 1994, p. 349 notre traduction) soulignent qu'il y a « *coopération quand les travailleurs sont mutuellement dépendant dans leur travail ce qui leur impose de coopérer pour que le travail soit fait* »[9]. Les travailleurs ne sont pas mutuellement dépendants parce qu'ils partagent les mêmes ressources – par exemple l'espace de travail –, mais bien parce qu'ils transforment et contrôlent des objets et des processus interdépendants, en interaction (Schmidt, 1994). Ceci implique alors que les travailleurs s'engagent dans une nouvelle tâche qui consiste à coordonner – ou articuler (Schmidt, 1994) – leurs actions (Hoc, 2001). Dans l'approche de la coopération humains-machines proposée par Hoc (2001), on retrouve l'idée d'articulation entre tâches et de gestion d'interférence, les effets de

l'action d'un agent – humain ou machine – ont une influence et sont reliés aux objectifs de l'autre. Ainsi, « *deux agents sont engagés dans une situation coopérative s'ils respectent au minimum deux conditions* » *:*

- Chacun d'eux travaille dans l'atteinte de leurs objectifs et peut interférer avec l'autre en termes d'objectifs poursuivis, de ressources, de procédures… ;
- Chacun d'eux cherche à gérer les interférences pour faciliter les activités individuelles et/ou la tâche commune quand elle existe[10]. » (Hoc, 2001, p. 515, notre traduction).

13 Par ailleurs, « il n'y a pas coopération quand ces agents agissent ensemble, mais de manière totalement autonome (selon Clark (1996) sans buts visibles par tous ou sans coordination en temps réel » (Hoc 2001, p. 513, notre traduction)[11].

14 Sur la base de cette définition, une situation de travail réellement coopérative pour un couple travailleur-robot impliquerait une répartition et une gestion de tâches en interférence – potentiellement dynamique – entre robot et travailleur. L'humain et la machine sont ainsi considérés comme parties prenantes d'un système : ils sont engagés conjointement dans la réalisation d'une tâche dans un environnement donné (Folcher & Rabardel, 2004) et doivent pouvoir interagir et ajuster leur action de manière dynamique et de manière non déterministe. Par ailleurs, dans un système effectivement coopératif, la machine n'est pas une « prothèse » palliant les insuffisances des travailleurs, l'humain se contentant de fournir des données au système qui garde le contrôle (Rabardel, 1995), mais bien un « instrument » permettant de soutenir les travailleurs dans la résolution des problèmes qu'ils rencontrent, de produire ses propres décisions (Rabardel, 1995). Dans cette perspective, l'humain n'est pas vu comme disposant de limites et de déficiences que le système viserait à pallier, mais comme un expert compétent. Une machine coopérative pourrait alors s'appuyer sur ces compétences et devenir un instrument réel de l'activité des travailleurs (Rabardel, 1995), permettant d'étendre son pouvoir d'agir (Zouinar, 2018) et de lui offrir des possibilités de préservation de sa santé et de transformation de son activité.

15 Hoc (2001) et Folcher et Rabardel (2004) soulignent que l'approche « système » de la coopération humains-machines est un des leviers pour pouvoir agir sur la conception de technologies coopératives, car elle permet d'instruire la question du couplage entre humains et machines dans la réalisation de la tâche. Ceci implique néanmoins que la scénarisation de la répartition des tâches entre humains et machines s'appuie sur « un modèle écologique » de l'activité (p.ex. Amalberti, 2001, et supra). Ces auteurs soulignent néanmoins que les difficultés de conception des systèmes réellement coopératifs sont largement sous-estimées et que la promesse de coopération réelle plus que de subordination n'est pas toujours atteinte, du fait par exemple de la perte d'expertise des travailleurs ; d'une déférence des travailleurs vis-à-vis des propositions de la machine ; de la perte de contrôle du travailleur sur la situation ; et enfin de l'entrave dans les possibilités d'adaptation et de régulation des travailleurs (Amalberti, 2001 ; Hoc, 2001 ; Kiesler & Hinds, 2004 ; Rabardel, 1995 ; Woods, Tittel, Feil, & Roesler, 2009).

16 Aujourd'hui, il nous est annoncé que les évolutions des algorithmes d'Intelligence Artificielle permettraient de dépasser ces difficultés, mais nous pouvons faire l'hypothèse qu'elles restent d'actualité, en témoigne d'ailleurs les éléments « palliatifs » encore présents dans la définition des cobots, vue en fait comme des « prothèses » (cf. supra). La conduite de recherches-actions visant à agir sur ces processus de

conception reste donc un enjeu, quelles que soient les supposées avancées technologiques actuelles.

17 Dans le cas du projet ICARO, nous avons cherché à agir dans le projet en promouvant la conception d'une situation de travail réellement coopérative impliquant donc une répartition de tâches interdépendantes pour le travailleur et le cobot et inscrite dans une conduite de projet plus large telle que celle proposée par l'ergonomie de l'activité.

3. Contributions empiriques

18 L'articulation des modèles de démarches de conduite de projet en ergonomie de l'activité et des propositions du cadre des systèmes coopératifs nous a permis de construire un positionnement et de proposer une démarche d'action dans le projet de recherche industrielle ICARO, que nous décrivons dans cette section empirique.

3.1. Un positionnement « à la frontière » impliquant une double conduite de projet

Analyse stratégique et sociale et structuration de la situation-projet

19 La demande initiale soumise à l'équipe d'ergonomie était de porter « les aspects humains » en lien avec la conception du démonstrateur, en particulier les questions d'acceptabilités technique et sociale (voir Bobillier-Chaumon, 2013 pour une synthèse et une critique de ces notions). De façon « classique », cette demande a été travaillée – enjeux et acteurs stratégiques – pour construire un positionnement et des propositions en lien à la fois avec la conception du démonstrateur et la production de connaissances scientifiques[12] des laboratoires membres du consortium. Nous ne soulignerons ici quelques enjeux, qui se traduisent notamment comme des exigences de conception portées par les industriels « concepteurs-usagers » ou « concepteurs-chercheurs » :

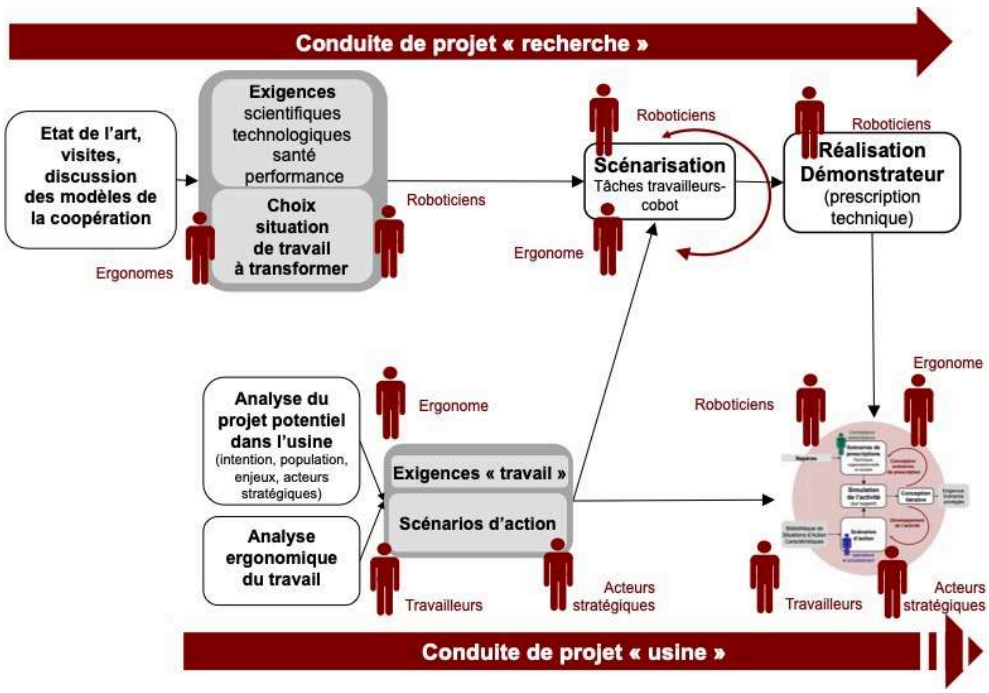
- *Des enjeux de santé* : le démonstrateur doit équiper une situation de travail pour laquelle les opérateurs sont amenés à réaliser des tâches pénibles, répétitives ; ou une situation considérée comme « lourde » par les grilles de cotations internes des industriels ; ou encore pour laquelle des TMS ont d'ores et déjà été développés.
- *Des enjeux de performance industrielle* : le système envisagé ne devra pas générer de pertes de rentabilité, de problème de qualité ou de rebuts, il devra être « générique » – ou a minima de disposer de « briques » génériques – afin d'être déployable sur d'autres postes[13]. Il est destiné à des postes non automatisables totalement du fait du coût ou de l'impossibilité pour un système technique seul de faire face à la complexité et à la diversité de la tâche.
- *Des enjeux technologiques et de sécurité*. Le cobot doit être en capacité de reconnaître et d'anticiper les mouvements du/des travailleurs. Il doit pouvoir identifier, voir anticiper, à tout instant la position de l'humain et l'évolution de l'environnement, ses mouvements pour : (1) effectuer des mouvements sans danger pour lui, en replanifiant ses trajectoires de déplacement, par exemple pour qu'elles soient « non dangereuses » et « acceptables », et (2) lui proposer un « service » (par exemple : si un travailleur perce une coque d'avion, lui amener des rivets, suivre le travailleur s'il se déplace, lui tendre un outil ou un objet là où le travailleur place sa main).

20 Compte tenu de ces premiers éléments, l'équipe d'ergonomie s'est positionnée à la frontière : (1) entre les concepteurs-chercheurs en charge de développer les

démonstrateurs (les laboratoires de recherche et les fournisseurs de solutions) – et aux « concepteurs-utilisateurs » de ces démonstrateurs – les services R&D en robotique des industriels et (2) entre le consortium de recherche et le « terrain », i.e. l'usine où se situe le poste de travail à équiper.

21 Ce positionnement se traduit ainsi par une double conduite de projet (Figure 1).

Figure 1 : Articulation des conduites de projet « recherche » et « usine » dans le cadre du projet ANR ICARO (adapté de Barcellini, van Belleghem, & Daniellou, 2013).
Figure 1: Articulation of the management of "research" and "factory" projects as part of the ANR ICARO project (adapted from Barcellini, van Belleghem, & Daniellou, 2013)



22 D'une part, nous avons mis en œuvre une action sur la structuration du projet de recherche appelé « conduite de projet recherche » sur la figure 1, qui peut être décrite en 4 grandes séquences.

1. Une phase de construction d'un référentiel commun et d'expression des enjeux industriels (performance, santé), technologiques et scientifiques. Cette phase a consisté notamment à mettre en discussion les notions de coopération et de collaboration et l'approche système coopératif (cf. supra), ainsi qu'à visiter des usines à équiper potentiellement de technologies cobotique. Cette première phase a permis d'aboutir à des critères de choix et à une décision « négociée » entre les membres du consortium du projet de recherche concernant une situation de travail potentiellement cobotisable.
2. Des séances de scénarisation de la répartition des tâches entre travailleurs et cobot, alimentée par l'analyse ergonomique du travail mené dans la « conduite de projet usine » (cf. 2.2), afin d'aboutir à un scénario de répartition des tâches co-construit par ergonomes et roboticiens et de définir la distribution de la tâche de conception parmi les partenaires du projet.
3. Une phase de réalisation à proprement parler du démonstrateur par les différents laboratoires et partenaires techniques. La première version du scénario de répartition des tâches concrétisée dans le démonstrateur, devenant un scénario de prescription technique au sens de Barcellini *et al.* (2013).

23 D'autre part, nous avons mis en œuvre une conduite de projet participative dans l'usine qui accueillait la situation de travail potentiellement cobotisable (« conduite de projet usine » sur la Figure 1. Ceci n'allait pas de soi, car le projet de recherche dans lequel nous étions impliqués étant un projet « amont » il n'y avait aucune garantie que le démonstrateur soit ensuite effectivement mis en œuvre dans l'usine. En s'appuyant sur les propositions de l'ergonomie de l'activité (Barcellini *et al.*, 2013 ; Daniellou, 1992), les ergonomes ont donc réalisé une analyse du projet – potentiel dans ce cas, car il était issu d'une demande des partenaires du projet en lien avec l'industriel concerné – et une analyse ergonomique du travail autour de la situation identifiée qui a permis d'alimenter le projet de recherche et la conception du démonstrateur à travers un diagnostic qui a nourri la scénarisation de la répartition des tâches « travailleur-cobot ».

24 Il était initialement prévu que le projet se poursuive de manière itérative jusqu'à la mise en œuvre de simulation de l'activité future s'appuyant sur le démonstrateur de cobot et impliquant les acteurs du projet (roboticiens et ergonomes) de recherche et de l'usine (travailleurs et autres acteurs stratégiques). Ceci aurait permis d'inscrire réellement ce travail en maitrise d'usage en incluant les opérateurs aux plus proches de l'usage (p.ex. production et maintenance). Cependant la temporalité du projet et la maturité du démonstrateur n'ont pas permis de mettre en œuvre ce travail.

3.2. Production de connaissance sur la situation de travail « à cobotiser » : le cas du montage d'un joint RZEPPA

Choix de la situation de travail à cobotiser et méthodologies d'analyse de l'activité existante

25 Compte tenu des enjeux et des éléments théoriques relatifs aux situations réellement coopératives, la situation choisie concerne une tâche d'assemblage-montage d'un joint RZEPPA[14] pour amortisseur dans le secteur automobile. Cette situation de travail a été choisie, car elle est porteuse des enjeux scientifiques, de santé et de performance industrielle essentielle au projet (cf. supra) :

- L'automatisation totale du poste est trop couteuse du fait notamment de la diversité des pièces à gérer et des opérations de contrôle qualité et un scénario « coopératif » de répartition des tâches est donc envisageable ;
- La situation de travail est considérée comme une situation « moyennement pénible » selon les grilles de cotations de l'entreprise : plusieurs tonnes manipulées par jour, près de 20 000 sollicitations des membres supérieurs, poste cadencé avec un temps de cycle d'environ 30 sec/assemblage, travail posté en 3*8, dans un environnement de travail « bruyant » (proche de 80 dB(A) de dose journalière de bruit) et potentiellement dans une ambiance thermique chaude.
- Le poste est un poste considéré comme « adapté » et permettrait de maintenir en emploi des travailleurs inaptes à d'autres postes (4/17 soit 24 % des travailleurs).
- La population au travail y est « vieillissante » (âge moyen femmes (6) = 56 ans ; âge moyen hommes (11) = 48 ans), avec plus de 3 ans d'ancienneté au poste.
- L'entreprise souhaite augmenter la cadence de production à deux ans de près de 30 %, avec une rentabilité du projet à 30 mois.

26 Quatre méthodes ont été mises en œuvre pour produire l'analyse ergonomique du travail (Grosse & Barcellini, 2012) [15]:

- Un recueil de données sociales et de santé ;
- Des entretiens exploratoires pour appréhender la situation de travail : soit 14 h 40 d'entretiens, auprès de 13 personnes de l'usine (4 opérateurs, leur manageur de proximité et leur management intermédiaire, l'ancien ergonome de l'usine, le médecin du travail et l'ingénieur HSE, le responsable de production, le responsable relations sociales, et deux roboticiens de l'usine).
- Des observations du travail couplées à des entretiens semi-directifs pour comprendre l'activité de montage et identifier la diversité et la variabilité des situations auxquelles devaient faire face les travailleurs (22 h 30 d'observations de 14 monteurs de joints des équipes en 2x8 de jour). Les données observées ont été analysées pour construire des logigrammes de tâche permettant de décrire la diversité des situations rencontrées par les opérateurs (Figure 3). Des entretiens complémentaires ont été menés auprès de 4 opérateurs (2 h 20) pour identifier les stratégies (par exemple, contrôles visuels permettant de vérifier la qualité de la fusée) et les intentions des opérateurs difficilement observables.
- Une réunion de restitution des travaux auprès de 6 opérateurs.

Mise en évidence des stratégies mises en œuvre par les travailleurs face à la diversité des situations

27 La tâche d'assemblage-montage du joint RZEPPA implique l'approvisionnement du poste, l'assemblage de quatre pièces métalliques et le contrôle qualité du joint (Figure 2 et Tableau 1) : l'opérateur doit d'abord assembler deux pièces ensemble, la cage et la noix, pour pouvoir les placer dans la fusée et ensuite assembler les billes (en force) entre la fusée et l'ensemble cage/noix, et vérifier la conformité de la pièce (qualité de rotation du roulement à billes notamment). Il y a une dizaine de modèles de joints potentiels entrainant une diversité de situations de montage.

Figure 2 : Description d'un joint RZEPPA (source Lasnier *et al.*, 2012).
Figure 2: Description of a RZEPPA seal

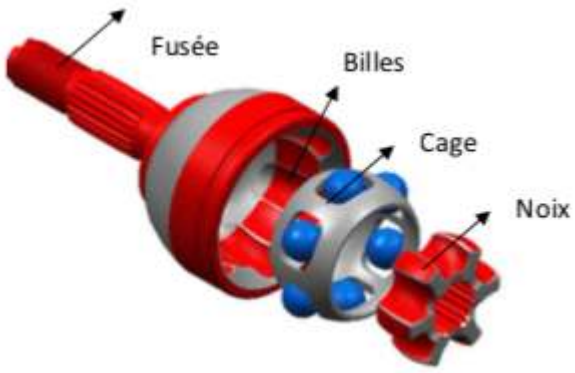


Tableau 1 : Tâche prescrite des opérateurs de montage du joint RZEPPA.
Table 1: Operators' prescribed task of assembling RZEPPA seal

S'assurer de la présence de 6 billes minimum et d'au moins une cage et une noix dans le carton
Réapprovisionner des pièces (stocks des cages, noix et billes)
Prendre de la fusée et la retourner
Contrôler visuellement la qualité de la fusée (détection de traces)
Réaliser le montage de l'ensemble cage/noix
Introduire le sous-ensemble cage-noix-bille dans la fusée
Basculer le sous-ensemble cage-noix et insérer la première bille
Insérer en force la 2e bille à 120° par rapport à la 1re
Mettre en place les 4 autres billes
Contrôler la rotation du joint sur 360° pour détection de points durs
Mettre le sous-ensemble cage/noix à l'horizontale et débrider le joint
Évacuer le joint sur la goulotte de sortie, bol orienté vers le bas
Remplir le contenant de pièces finies

28 L'analyse ergonomique du travail a permis de mettre en évidence l'écart notable de l'ensemble des actions mises en œuvre par les travailleurs par rapport à la tâche théorique (Figure 3 en annexe). On montre ainsi tout ce que les opérateurs font « en plus » de cette tâche prescrite pour monter des roulements à billes de qualité, en tenant les objectifs de performance et en tentant de préserver leur santé : la diversité des stratégies de montage possibles pour faire face à la variabilité des pièces et tenter de réduire autant que faire se peut les contraintes articulaires, les stratégies de détection des défauts et les contrôles qualité.

29 Nous illustrons ici ces apports à travers la description des tâches de contrôle qualité et de l'assemblage des billes, qui feront l'objet de la coopération travailleur-cobot.

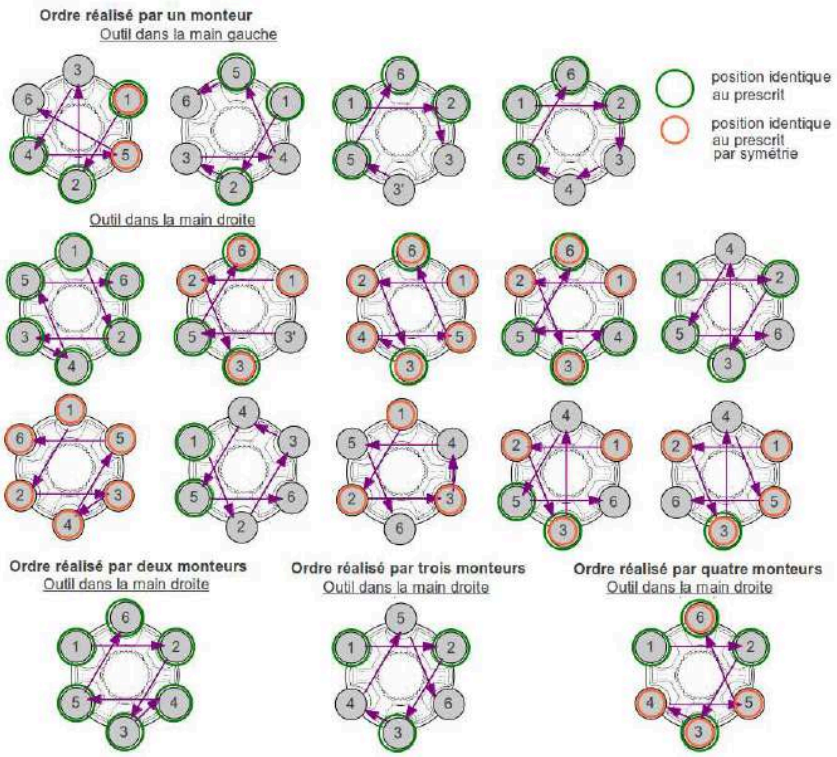
30 *Concernant le contrôle qualité de la fusée*, les opérateurs réalisent différents contrôles visuels de manière distribuée dans le temps et dans l'espace :

- Le contrôle visuel externe de la fusée lorsqu'elle est encore sur son convoyeur. Les opérateurs vérifient pendant le montage d'un joint que les fusées suivantes présentes sur le convoyeur correspondent bien à celles attendues au niveau de la forme (présence d'un trou, dimension du filetage, présence du filetage...) ou qu'elles ne présentent pas de défauts d'usinage (p.ex. présence de traces de rouilles).
- Le contrôle visuel interne de la fusée lors du montage de la cage et de la noix pour détecter des traces de défauts (p.ex. de brûlure) qui empêchent le fonctionnement du joint par la suite (environ 450 fusées par jour faisant souvent partie d'un lot de fusées défectueuses). Le contrôle visuel de la fusée est réalisé en général en même temps que l'assemblage de l'ensemble cage/noix. Or, selon la procédure prescrite, il doit se faire entre la prise de la fusée et sa mise en place dans la table. En cas de détection d'un défaut, la fusée est « débridée » et déposée sur la table accueillant les pièces défectueuses.

31 *Concernant l'assemblage des billes*, pour pouvoir insérer une bille, l'ensemble cage/noix doit être positionné selon un angle précis qui permet d'insérer les billes sans forcer. Cet angle est différent pour chacune des billes. L'insertion de la première bille est particulière par rapport aux autres. Deux stratégies sont mises en œuvre : la première bille est insérée après un premier basculement de l'ensemble cage/noix ou avant de finir le basculement de l'ensemble cage-noix dans la fusée. L'ensemble cage/noix est

ensuite remis à l'horizontale, tourné et levé en face de chacun des emplacements à l'aide d'un outil. Les billes sont positionnées de la main droite ou la main gauche et on observe 18 stratégies d'insertion des billes différentes (Figure 4). Entre chaque insertion, l'ensemble cage/noix doit être tourné avant de mettre les billes suivantes. Cette action nécessite de taper sur l'ensemble cage-noix après chaque insertion. La procédure recommande l'utilisation d'un outil pour cette action. Toutefois, les opérateurs utilisent pour appuyer sur l'ensemble cage/noix : l'outil dans 45 % des observations réalisées, les pouces ou la main dans 55 % des observations réalisées.

Figure 4 : Diversités des stratégies d'insertion des billes du joint RZEPPA.
Figure 4: Diversities in strategies for inserting RZEPPA seal balls



32 Lors de l'assemblage des billes, plusieurs situations peuvent se présenter :

- Les billes passent à travers les ouvertures de la cage et l'ensemble cage/noix tourne trop facilement dans la fusée malgré la présence des billes : la cage est défectueuse. Le joint doit alors être démonté en utilisant un outil *ad hoc* pour tourner l'ensemble cage/noix, accéder à chacune des billes insérées et les enlever une à une à l'aide d'un tournevis.
- Lors de l'assemblage, certaines billes ne s'insèrent pas dans l'emplacement, mais roulent sur la cage ou la fusée. L'opérateur est dans ce cas obligé de revenir en arrière pour insérer à nouveau cette bille.
- Une fois les six billes mises en place, si l'opérateur suspecte un point dur qui empêche l'ensemble cage/noix de tourner sans forcer dans la fusée, il peut réaliser une vérification en tournant l'ensemble cage/noix dans la fusée à l'aide d'un autre outil. Si le point dur est confirmé, l'opérateur démonte l'ensemble cage/noix en enlevant les billes une à une à l'aide d'un tournevis et de monte-billes pour accéder à tous les emplacements. Ces démontages représentent en moyenne là aussi près de 200 montages/jour des joints montés.

33 Ces analyses réalisées pour l'ensemble des sous-tâches constituant le montage du joint RZEPPA ont permis d'enrichir la représentation que les concepteurs avaient de la tâche

des travailleurs et les exigences de conception par des connaissances issues du travail. Ces exigences concernent :

- La configuration spatiale ou d'environnement du poste, les questions de santé ou de sécurité ou encore de maintien de la qualité et de la performance de production (Grosse & Barcellini, 2012). Par exemple, le système envisagé devra permettre aux opérateurs : de voir les fusées sur la zone de stockage intermédiaire pour réaliser les contrôles visuels externes ; de voir l'intérieur des fusées pour réaliser les contrôles visuels internes ; d'interrompre un montage si un défaut est détecté visuellement.
- Ou le geste des opérateurs liés à la finesse de l'action et aux prises de décisions des opérateurs qui devront être soutenus par le cobot. Par exemple, le système devra permettre à l'opérateur : d'insérer les billes selon l'ordre déterminé par l'opérateur afin de préserver la diversité des gestes potentiels dont on sait qu'ils sont facteurs de santé ; de réaliser le démontage d'un joint à n'importe quelle étape du montage et enfin de permettre le passage en montage manuel le cas échéant.

34 Ces différentes possibilités d'actions de l'opérateur sont déterminantes pour la performance de production, seront clairement dépendantes des actions réalisées par le cobot et des possibilités laissées à l'opérateur de prendre des informations sur l'état de la fusée et de décider de son statut (défaut ou non). Dans ce sens, les analyses réalisées ont également permis de déterminer de premiers scénarios d'action que devrait soutenir le système travailleur-cobot et qui vont permettre de mettre à l'épreuve les scénarios de répartition des tâches proposés. Ces scénarios d'action portaient par exemple sur un montage dit « standard », un montage avec détection d'une fusée avec défaut en amont de l'assemblage quand le cobot présente la fusée à l'opérateur, ou une situation de démontage lors de l'assemblage des billes qui nécessitera une adaptation – replanification — des actions du cobot.

35 Ces éléments, une fois « réinjectés » dans le projet de conception du démonstrateur, ont permis de définir de manière itérative des scénarios de répartition des tâches « travailleurs-cobots », que nous décrivons dans la partie suivante.

3.2. Co-conception collaborative : processus de scénarisation - simulation

Premier scénario de prescription relatif à la répartition des tâches travailleur-robot

36 Sur la base des premières visites, du visionnage d'un film au poste de travail et de la compréhension de la tâche prescrite des opérateurs, un premier scénario de répartition des tâches travailleurs-robot « prescrit » est envisagé par les concepteurs (chercheurs et industriels) (Tableau 2). On y voit que ce sont les tâches de premier contrôle qualité et la tâche d'assemblage des billes qui seraient l'objet principal de la coopération travailleur-cobot : les tâches de contrôle qualité et d'assemblage des billes réalisées par l'opérateur y seraient dépendantes de la présentation de la fusée et de l'ensemble cage/noix par le cobot.

Tableau 2 : Scénario prescrit de répartition des tâches travailleur-cobot « prescrit » (adapté de Lasnier *et al.*, 2012). Les cases grisées correspondent à des tâches omises dans ce premier scénario. Elles ont été rajoutées par souci de clarté.
Table 2: Prescribed scenario for division of worker-cobot tasks (adapted from Lasnier et al., 2012). Greyed out boxes relate to tasks omitted from this initial scenario. They were added for reasons of clarity.

Tâches du robot	Tâche de l'humain	Tâche en coopération
	S'assurer de la présence de 6 billes minimum et d'au moins une cage et une noix dans le carton	
	Réapprovisionner des pièces (stocks des cages, noix et billes)	
Prendre la fusée et la retourner		
	Contrôler visuellement la qualité de la fusée (détection de traces)	
	Prendre la cage et la noix	
	Réaliser le montage de l'ensemble cage/noix	
	Introduire le sous-ensemble cage-noix-bille dans la fusée	
		Mettre en place les 2 premières billes et enfoncer l'ensemble
		Mettre en place les 4 autres billes (rotation cage par le robot et insertion des billes par l'humain)
	Contrôler la rotation du joint sur 360° pour détection de points durs	
Mettre le sous-ensemble cage/noix à l'horizontale et débrider le joint		

37 Ce scénario a été « mis à l'épreuve » durant deux réunions de scénarisation et/ou simulation.

Définition d'un scénario acceptable de répartition des tâches travailleur-cobot : vers l'expansion des tâches du système travailleur-cobot

38 La première séance a un double objectif : affiner la répartition des tâches travailleurs-cobot, sur la base d'un premier scénario proposé par les roboticiens (Tableau 2), et répartir les tâches de conception du démonstrateur entre les partenaires du projet. Les partenaires du projet ont été invités à répartir les tâches entre le travailleur et le cobot pour permettre un montage standard d'une fusée RZEPPA selon le logigramme produit à la suite de l'analyse ergonomique du travail (Figure 3 en annexe). Pour ce faire, chacune des tâches du logigramme imprimée et collée sur du carton plume a été mise à disposition des partenaires. Les partenaires avaient de plus à disposition une autre feuille vierge sur laquelle ils devaient positionner les tâches en les répartissant selon deux colonnes : une colonne pour les tâches qui seront réalisées par le robot et une colonne pour les tâches qui seront réalisées par le travailleur dans la future situation de travail (Figure 3). L'ergonome a pour rôle de conduire la séance, de donner à voir l'activité de travail actuelle et de souligner l'impact potentiel des différents choix d'ordonnancements sur l'activité « probable future » en fonction des repères de conception liés au travail. Cela a ainsi permis de construire plusieurs scénarios, dont un a été considéré comme acceptable par l'ensemble des partenaires. Un premier apport

de cette séance est l'expansion des tâches du système travailleurs-cobot par rapport au scénario prescrit. Chacune des grandes étapes du montage du joint (les sous-tâches prescrites) est raffinée. Un deuxième apport réside dans la caractérisation des tâches de sécurité et de détection qui doivent être prises en charge par le cobot et qui détermine les possibilités d'action des travailleurs. Enfin, cette répartition a soutenu le processus de coordination entre les membres du projet puisque chacune des sous-tâches a été attribuée.

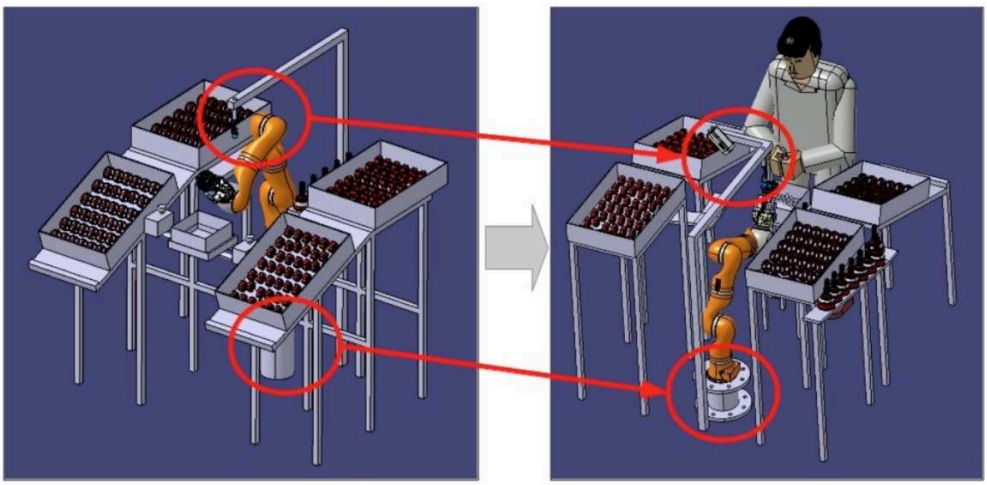
Vers l'inscription du démonstrateur dans l'espace

39 La seconde séance a eu pour but principal de raffiner le scénario acceptable de répartition des tâches en le confrontant à un scénario d'implantation du cobot sur le poste de travail et notamment à une réflexion sur son impact en termes d'engagement du corps.

40 Afin de soutenir cette séance, une représentation 2D à l'échelle 1 du poste de travail (plan sur papier) et une construction 3D ont été proposées (Figure 5). Cette représentation a été utilisée pour positionner le robot dans l'espace de travail simulé. Ensuite, deux partenaires volontaires ont pris la place d'un travailleur (partenaire-opérateur) et du cobot (partenaire-cobot). Ils devaient dérouler le scénario précédemment construit (Figure 5). Le partenaire-cobot ne devait se servir que d'un seul bras, pour simuler le fonctionnement du futur bras cobotisé. Il devait manipuler la fusée pour aider le partenaire-travailleur à réaliser le montage selon le scénario standard (Figure 5).

41 Cette simulation a tout d'abord mis en évidence dans un premier temps la non-faisabilité d'une partie de la répartition des tâches envisagée (Figure 5), en particulier des sous-tâches critiques d'insertion des billes qui sont toutes insérées en coopération par le travailleur et le cobot et non plus seulement les quatre dernières) et des sous-tâches de mise de sécurité (p.ex. une action d'acquittement est ajoutée après le positionnement de l'ensemble cage noix et avant l'insertion des billes la prise en main). Ensuite, elle a permis de proposer des premières modifications en lien avec l'engagement du corps (hauteur, prise d'information visuelle...) sur le poste en lien avec la hauteur et la position à laquelle la fusée était présentée au partenaire-opérateur : la potence positionnée plus bas pour être à une hauteur et le placement du robot sur un socle réglable en hauteur pour permettre d'adapter la hauteur de la potence et du cobot au travailleur.

Figure 5 : Scénario d'implantation au poste de montage RZEPPA, avant (à gauche) et après simulation (à droite).
Figure 5: RZEPPA mounting work station implementation scenario, before (on the left) and after (on the right) simulation

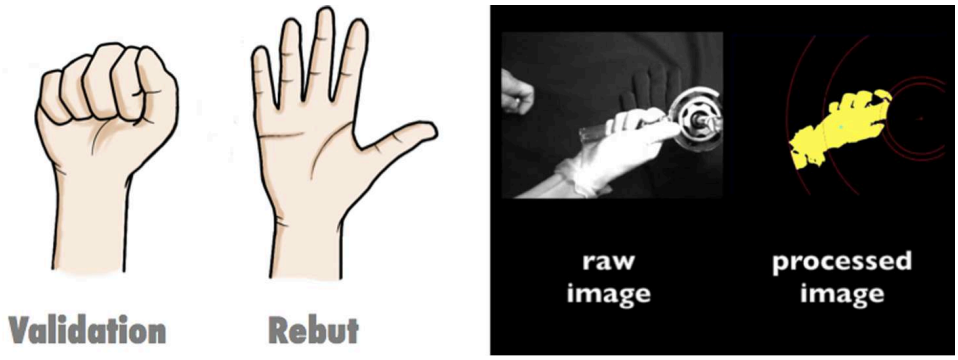


3.3. Choix d'interaction humains-machines et latitudes laissées au travailleur par les concepteurs pour l'usage

42 À la suite de ces premières séances de scénarisation-simulation, les partenaires du projet ont débuté les développements technologiques nécessaires. C'est à ce stade que les choix d'interaction du travailleur vers le robot et du robot vers le travailleur ont été examinés par les roboticiens. Le robot a ainsi été doté d'un certain nombre de capteurs et de systèmes de reconnaissance vidéo. Un outil mécanique spécifique a été développé pour mimer les capacités de préhension de la main humaine par le robot.

43 Certaines des informations recueillies par les capteurs avaient pour but d'être traitées par le logiciel de supervision du cobot afin de garantir la sécurité des travailleurs en évitant les collisions entre travailleurs et cobots. Du point de vue des interactions, il a été choisi que le travailleur interagisse avec le robot via des gestes codifiés, reconnus par un système « du commerce » (poings serrés pour la validation d'un joint assemblé de manière satisfaisante et paume ouverte pour un rebut (Figure 6).

Figure 6 : Choix d'interaction travailleur-cobot : à gauche mouvement codifié de communication du travailleur vers le cobot, à droite extrait des images de la main du travailleur captées par le robot et traitées par le logiciel de supervision du cobot.
Figure 6: Choice of worker-cobot interaction: on the left, coded movement of worker communication to the cobot. On the right, extract of images of the worker's hand captured by the robot and processed using the cobot's supervision software



44 Par ailleurs, le cobot a été doté d'un système dit de « détection d'intention », en fait une image des mouvements de la main du travailleur via des images vidéo pour détecter l'insertion des billes[16], images qui doivent ensuite être traitées en temps réel pour permettre au logiciel de supervision du cobot d'adapter si besoin sa trajectoire de manière dynamique[17].

45 Ces choix, les questions technologiques et les limites du point de vue de l'action conjointe entre travailleur et cobot (p.ex. gamme de mouvements de communication travailleur-robot restreinte, limite de la détection d'intention via l'unique mouvement de la main...) permettent de mesurer les verrous technologiques à lever pour permettre une coopération adaptative et dynamique entre un travailleur et un cobot : pour le robot reconnaître et ajuster « rapidement » sa trajectoire et son action ne va pas de soi et nécessite un certain nombre de traitements d'informations multiples et de développements mécaniques (p.ex. outil de préhension), algorithmiques et logiciels.

4. Discussion et perspectives

46 Cette expérience de participation au développement d'un démonstrateur de cobot, recontextualisé dans le programme plus général de « l'industrie du futur », appelle deux niveaux de discussion. Le premier porte sur le modèle de la coopération qui a finalement pu être incorporé dans le démonstrateur et une analyse critique de la référence à la coopération ou à la collaboration dans un système « travailleur-robot ». Le second porte sur les apports du positionnement de chercheurs en ergonomie dans un projet de recherche et de développement de « technologies du futur », mais également les limites liées à l'impossibilité d'embrasser la diversité des questions collectives, organisationnelles et politiques en lien avec ce positionnement. Sur la base de cette discussion, nous ouvrons sur des perspectives de recherches actuelles visant à dépasser ces limites.

4.1. Quelle conception de la coopération réifiée dans le système travailleur-cobot ?

47 La robotique collaborative porte en elle une promesse de dépassement d'une vision figée de la répartition des tâches entre travailleur et cobot (Moulières-Seban, 2017), telle qu'elle est portée par exemple par l'approche « *Men are better at… Human are better at…* » (Dekker & Woods, 2002) ou encore l'approche par les niveaux d'automatisation (Endsley & Kaber, 1999). Ceci renvoie à la vision de la coopération réifiée dans et soutenue par le système technique. Nous avons vu que l'inscription d'un modèle fort de la coopération dans la technologie ne va pas de soi, compte tenu des exigences technologiques et algorithmiques que cela impose. Le retour sur les éléments théoriques présentés plus haut concernant les modèles de la coopération humains-machines nous permet de mieux comprendre in fine le modèle de la coopération « réifié » dans le système travailleur-cobots.

48 L'élément crucial de la coopération est la capacité du système à gérer l'interdépendance des tâches entre travailleur et robot collaboratif. Bien que le projet de recherche n'ait pas abouti à l'industrialisation du démonstrateur, il a permis des avancées techniques concernant la replanification dynamique de la trajectoire du cobot durant l'action. Or, ceci nous apparaît comme un déterminant technique essentiel à une potentielle coopération, autrement dit de l'ajustement des tâches du travailleur et du cobot. Il s'agit d'une condition nécessaire à l'ajustement du cobot à « l'intention » telle qu'il la « reconnaît » du travailleur. Ceci pourrait s'apparenter à une forme de régulation opérée par le cobot sur la base de la reconnaissance d'actions du travailleur. Ceci permettrait alors au système travailleur-cobot de « s'ajuster » à la situation, contrairement aux systèmes robotiques pré-programmés, disposant de trajectoires pré-planifiées, non adaptatives et donc subordonnant l'action du travailleur. Ainsi, on se rapprocherait d'une situation coopérative humain-humain dans laquelle la coordination des actions n'est jamais totalement pré-spécifiée, mais est co-construite par les partenaires sur la base d'ajustements réciproques. Dans les situations de coopération entre humains, ces ajustements sont soutenus par la construction d'une conscience de la situation c'est-à-dire une représentation de l'état actuel de la situation dans laquelle les participants sont engagés (connaissance de faits relatifs à l'état de la situation, aux contributions des partenaires engagés dans la tâche…) (Schmidt, 2002). La construction de cette conscience de la situation est elle-même soutenue par des pratiques à travers lesquelles des participants coopérants sont en capacité : de « capter » ce que font leurs collègues et de réguler leur activité en conséquence (Schmidt, 2002) ; et de donner à voir des éléments de sa propre activité qui peuvent être pertinents pour les autres (Salembier & Zouinar, 2004 ; Schmidt, 2002). La construction d'une conscience commune s'appuie sur les compétences des partenaires du travail collectif à reconnaître, à interpréter, et à comprendre et à donner à voir leurs conduites réciproques (Salembier & Zouniar, 2004). Dans le cas du cobot, cette « compétence » s'appuie sur la captation d'informations (position dans l'espace de l'humain, reconnaissance de la position de sa main et de l'état d'insertion de la bille), auxquelles s'ajoutent des actions directes des travailleurs visant la coordination comme les gestes codifiés de communication, et peut-être à terme le développement d'autres gestes permettant d'aider le cobot à interpréter la situation. Par contre, dans l'état de développement du démonstrateur, rien ne semble avoir été implémenté de manière

explicite pour que le cobot « pousse » des informations aux travailleurs – tels des objets intermédiaires traduisant ses intentions – lui permettant de capter « le but », « l'intention » portée par le cobot et d'assurer la coordination des tâches. Pour aller plus loin, si ces éléments permettent de soutenir la coordination nécessaire à la coopération, il apparaît que le cobot ne semble pas permettre la résolution conjointe de problèmes (par exemple une assistance à la détection de défaut) qui reste à la main du travailleur. Le système travailleur-cobot ainsi conçu porte donc en lui les potentialités d'une réelle coordination entre travailleur et cobot, mais non encore de coopération au sens fort.

4.2. Une conduite de projet structurant le projet et la prise en compte du travail, mais...

49 Un premier niveau de discussion concernant la double conduite de projet adoptée porte sur le positionnement des chercheurs en ergonomie dans le projet de recherche. Notons, tout d'abord, que la segmentation heuristique pour l'ergonome entre maitrise d'ouvrage et maitrise d'œuvre n'est pas totalement opérante dans les projets de recherche : la maitrise d'ouvrage est en fait distribuée entre le financeur porteur de la volonté politique (l'Agence Nationale pour la Recherche) et les entreprises utilisatrices finales des technologies qui portent le projet ; et des maitrises d'œuvre (les fournisseurs de technologies et les laboratoires robotiques). Quant à l'équipe de recherche en ergonomie, si la demande la positionnait comme une maitrise d'œuvre « aspects humains », la démarche mise en œuvre l'a de fait positionné dans une posture proche de celle de maitrise d'usage proposée par Folcher (2015), à la frontière entre de « concepteurs-chercheurs » et des « concepteurs-utilisateurs ». Cependant, là aussi, la proposition de Folcher (2015) de nommer les parties-prenantes comme concepteurs pour et dans l'usage n'est pas totalement opérante : car s'il est vrai que les « concepteurs-utilisateurs » (roboticiens des entreprises partenaires) se rapprochent plus de l'usage et du travail, que les « chercheurs-concepteurs » (roboticiens des laboratoires de recherche), ils n'en demeurent pas moins les porteurs d'une rationalité majoritairement technique. Du fait de la temporalité du projet, de son caractère éphémère lié aux modes de financement de la recherche (dans ce cas sur 36 mois), les potentiels concepteurs dans l'usage les plus proches du travail futur (p.ex. opérateurs de production ou de maintenance, management intermédiaire et supérieur de l'usine) n'ont pas participé aux projets au-delà de l'analyse ergonomique du travail. Ceci aurait permis d'inscrire réellement ce travail en maitrise d'usage en incluant les opérateurs aux plus proches de l'usage (p.ex. production et maintenance).

50 Un second niveau de discussion porte sur les possibilités de dépassement des écueils « classiques » de la conduite de projet (prégnance des logiques techniques ou économiques, déficit de management de projets et d'organisation des négociations nécessaires à l'avancée du projet, déficit de prise en compte du travail) dans le cadre de cette expérience. Il convient ici de distinguer la contribution au projet de recherche et celle liée à un éventuel projet d'implantation du démonstrateur dans une situation de travail (le projet « usine »). La présence des ergonomes dans le projet de recherche a permis de structurer les phases amont du projet, notamment le choix du cas et la conception des premiers scénarios de répartition des tâches. Elle a également permis de « donner à voir » le travail dans la conception de ces premiers scénarios. Les ergonomes ont créé des espaces de collaboratifs entre les chercheurs (réunions de

choix de la situation de travail, groupes de travail sur la scénarisation) ce qui a nourri la conception d'une première version de solution technologique – le démonstrateur. Ceci peut sans doute être vu comme une condition nécessaire à la conception de situation de travail future équipée d'une technologie qui permettrait d'agir « en santé » et « en performance », mais elle n'est en aucun cas suffisante.

51 Comme nous l'avons dit, à l'issue du projet de recherche, les limitations techniques du démonstrateur (p.ex. vitesse d'exécution du cobot) ne permettaient pas de « l'industrialiser », néanmoins les concepteurs ont adressé une question « essentielle » aux ergonomes : ce démonstrateur permettrait-il de prévenir les TMS sur ce poste ?[18] Au stade où en était le projet, il était en fait impossible de répondre à cette question. Le démonstrateur a été conçu pour réduire certaines sollicitations articulaires lors de l'assemblage des joints, cependant les modèles d'étiologie des TMS soulignent bien que la réduction des contraintes biomécaniques n'est qu'une condition nécessaire à la prévention des TMS, et non suffisante. Autrement dit, la technologie ne porte pas à elle seule une potentialité de prévention ; les dimensions psychosociales, les possibilités pour les opérateurs de disposer des marges de manœuvre individuelles et collectives, l'usage que l'organisation fera de la technologie, ou encore les modalités de conduite du changement sont des éléments tout aussi nécessaires que la « qualité » de conception de la technologie pour préserver la santé au travail. Or, ici ni le développement (de nouveaux gestes professionnels, de nouvelles compétences, d'autonomie) ni les dimensions collectives et organisationnelles du travail futur n'ont pu être pleinement abordés. Il n'a pas été possible de mener à terme la conduite de projet « usine » et d'instruire avec les acteurs de l'usine les conséquences individuelles (p.ex. latitudes réelles laissées aux opérateurs), collectives (p.ex. possibilités de régulation) et organisationnelles (p.ex. possibilité de maintenance de premier niveau par les travailleurs, transformation des tâches des opérateurs) d'une implantation potentielle du cobot et de faire évoluer conjointement le cobot (ajout de fonctions non anticipées) et le travail futur.

52 Ceci souligne le fait que les technologies « du futur » ne peuvent être pensées comme des ressources pour le travail sans une réelle réflexion sur la conduite des transformations du travail, au-delà de l'assistance au développement technologique. Cette question est essentielle à la fois pour concevoir des organisations et des situations de travail incluant ces technologies et pour permettre aux travailleurs de réaliser un travail de qualité, soutenant la construction de la santé, de la performance et des compétences. Autrement dit, la finalité de ces modes de conduite du changement est de soutenir le développement d'un usage, non seulement individuel, mais également – et surtout – socio-organisationnel des technologies. Ceci est une condition nécessaire pour soutenir la conception de situations de travail équipées de technologies du futur qui soutiennent réellement l'activité des opérateurs.

4.3. Une nécessité de mieux comprendre et agir dans les conduites du changement technico-organisationnel dans le cadre de la transition vers l'industrie du futur

53 Sur la base des enseignements du projet relaté dans cet article, nous avons construit deux projets de recherche-action porteurs de perspectives complémentaires à l'assistance à la conception de technologies. Le premier, le projet ANR HECTTOR

(« L'Humain Engagé par la Cobotisation dans les Transformations du Travail et des Organisations dans les usines du futur ») (2018-2021) vise notamment à comprendre et à agir sur les processus décisionnels et de conduite du changement mis en œuvre par des dirigeants de PME en transition technologique et organisationnelle – les PME étant une des cibles du programme « Industrie du Futur ». Contrairement au projet précédent, ce projet est né à l'initiative conjointe de laboratoires de recherche en sciences du travail – l'équipe d'ergonomie du CRTD du CNAM et des sociologues et anthropologues du Centre d'Études des Techniques, des Connaissances et des Pratiques (CETCOPRA) de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – et en sciences pour l'ingénieur – en génie industriel (Laboratoire Conception Fabrication Commande) et robotique (Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes) de l'ENSAM. Le positionnement de ce projet se situe à un niveau plus « macro » sociétal et au niveau des cadres dirigeants. Il s'agit ici de comprendre comment des décisions de transformations des PME s'inscrivent dans l'histoire de l'entreprise, notamment en termes d'évolution de l'appareil de production (Lafeuillade *et al.*, 2018), et d'analyser la conduite de ces transformations. Penser le passé et le présent constitue un prérequis pour pouvoir penser le travail du futur. Par ailleurs, l'activité des dirigeants de PME est au cœur de ce processus, car ce sont eux les garants des décisions et des modes de conduite du changement qui permettront *in fine* de garantir un travail en santé et en performance. D'autant plus dans un contexte politique où ces dirigeants sont enjoints à s'équiper de technologies « du futur » sans qu'un réel soutien méthodologique leur permette d'évaluer la pertinence et les conséquences de ce choix pour leur entreprise. Dans le même sens, le projet « Design social pour la transformation numérique » (2019-2020), financé par le Fonds Social Européen réunissant la FGMM-CFDT et l'UIMM, accompagnés par le cabinet Syndex et le Centre de Recherche sur le Travail et le Développement du Cnam, vise à anticiper et accompagner le travail du futur par le développement d'une démarche de concertation sociale paritaire et innovante. Ces projets ne sont que deux exemples des travaux actuels menés par plusieurs collègues ergonomes dans le contexte « Industrie du Futur » (Coutarel, Caroly, Aublet-Cuvelier, & Barcellini, 2019 ; ce numéro spécial).

54 L'ensemble de ces travaux nous semble essentiel pour permettre à l'ergonomie de porter une vision éthique et politique de ce que pourrait être un « travail du futur » et de contribuer à la façonner : un travail soutenable tout au long d'une vie professionnelle, un travail incorporant une vision constructive de la santé, un travail s'appuyant sur des organisations « capacitantes » et effectivement collaboratives, et in fine créant les conditions d'un travail performant et en santé (Caroly, 2010 ; Falzon, 2013 ; Volkoff & Gaudart, 2015). Il s'agit ainsi de contribuer :

- D'une part, à penser des organisations du travail renforçant l'autonomie et le pouvoir d'agir des travailleurs (Arnoud, 2013 ; Carta, 2018 ; Petit & Dugué, 2013), en s'inspirant par exemple des travaux de recherche portant sur les organisations « ouvertes » – telles que les communautés de conception de logiciels libres (Barcellini, 2015) ou les Fab Labs (Caroly, Barcellini, Mardon, & Martinaud, 2018 ; Lallement, 2015), ou d'autres transitions sociétales en cours comme la transition agro-écologique (Chizallet, Barcellini, & Prost, 2019) ;
- D'autre part à penser des méthodologies de conduite des transformations du travail réellement innovantes et collaboratives, comme le proposent l'ergonomie de l'activité et l'ergonomie constructive (Falzon, 2013) ou les approches de conception participative (Beck, 2002).

BIBLIOGRAPHIE

Amalbert, R. (2001). *La conduite des systèmes à risques*. PUF : France.

Andriessen, J., Baker, M., & Suthers, D. (2003). *Arguing to Learn: Confronting cognitions in computer supported argumentation*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

Arnoud, J. (2013). *Conception organisationnelle : pour des interventions capacitantes*. Thèse de doctorat en ergonomie, CNAM, février.

Baker, M. (2004). *Recherche sur l'élaboration de connaissances dans le dialogue*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Nancy 2.

Baker, M.J (2015). Collaboration in collaborative Learning. Special issue of *the Journal Interaction Studies*: Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systems on "Coordination, Collaboration and Cooperation: Interdisciplinary Perspectives", 451-473.

Barcellini, F. (2015). *Développer des Interventions Capacitantes en Conduite du Changement : comprendre le travail collectif de conception, agir sur la conception collective du travail*. Habilitation à Diriger des Recherches en ergonomie, Université de Bordeaux.

Barcellini, F. (2019). Industrie du futur : quelle place pour le travail et ses transformations. In E. Bourdu, M. Lallement, P. Veltz, & Th. Weil (Eds.), *Le Travail en mouvement*, Colloque de Cerisy, Presses des Mines, avril.

Barcellini, F., Grosse, C., & Karsenty, L. (2013). Quelle démarche pour favoriser la construction de relations de confiance dans un projet de conception ? In L. Karsenty (Ed.), *La confiance au travail.* (pp. 187-207). Toulouse : Octares.

Barcellini, F., Van Belleghem, L., & Daniellou, F. (2013). Les projets de conception comme opportunité de développement des activités. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie Constructive* (pp. 191-206). Paris, France : PUF.

Barthe, B., & Quéinnec, Y. (1999). Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie. *L'année psychologique, 99,* 663-686.

Beck, E.E (2002). P for Political: Participation is not enough. *Scandinavian Journal of Information System, 14*(1), 77-92.

Béguin, P. (2003). Design as a mutual learning process between user and designers. *Interacting with Computer, 15*(5), 709-730.

Bidet-Mayer, T. (2016). *L'industrie du futur : une compétition mondiale*. Paris : Presses des Mines.

Bobillier-Chaumon, M.E. (2013). *Conditions d'usage et facteurs d'acceptation des technologies : Questions et perspectives pour la psychologie du travail*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Lyon 2.

Brangier, E., & Robert, J.M (2014). L'ergonomie prospective : fondements et enjeux. *Le Travail Humain, 77*(1), 1-20.

Caroly, S. (2010). *L'activité collective et la réélaboration des règles : des enjeux pour la santé au travail*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bordeaux, 3 mars 2010.

Caroly, S., Barcellini, F., Mardon, C., & Martinaud, M.L. (2018). Characterisation of fab labs activities: issues for ergonomics? *Communication orale à l'IEA 2018.*

Carta, G. (2018). *Concevoir l'intervention pour l'autopoïèse organisationnelle : l'apprentissage comme condition*. Thèse de doctorat en ergonomie, CNAM, Mai.

Chizallet, M., Barcellini, F., & Prost, L. (2019). Comprendre l'activité de conception d'agriculteurs en transition agroécologique : vers un modèle trilogique de la conception. *Psychologie française*, *64*(2), 119-139.

Clark, H. H. (1996). *Using Language*. Cambridge, UK : Cambridge University Press.

Couillaud, S. (2018). *Développement du pouvoir d'agir des acteurs en co-innovation par les usages : l'exemple d'accompagnement du projet d'habitat évolutif pour seniors*. Thèse de doctorat, Université Paris 8, 1er juin 2018.

Coutarel, F., Caroly, S., Aublet-Cuvelier A., & Barcellini, F. (2019). *Positionnements d'ergonomes face à l'« usine du futur »*. Symposium du congrès de la SELF 2019, Tours, septembre 2019.

Daniellou, F. (1988). Ergonomie et démarche de conception dans les industries de process continus, quelques étapes clefs. *Le Travail Humain, 51*(2), 184-194.

Daniellou, F. (1992). *Le statut de la pratique et des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception.* Université Victor Segalen Bordeaux 2.

Dekker, S. W., & Woods, D. D. (2002). MABA-MABA or abracadabra? Progress on human-automation co-ordination. *Cognition Technology and Work, 4*(4), 240-244.

Dillenbourg, P., Baker, M., Blaye, A., & O'Malley, C. (1995). The evolution of research on collaborative learning. In E. Spada & P. Reiman (Eds), *Learning in Humans and Machine: Towards an interdisciplinary learning science.* (pp. 189-211). Oxford : Elsevier.

Du Roy, O., Hunault, J.-C., & Tubiana, J. (1985). *Réussir l'investissement productif*. Paris : Éditions d'Organisation

Endsley, M. R., & Kaber, D. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics, 42*(3), 462-492.

Falzon, P. (Ed.). (2013). *Ergonomie Constructive*. Paris, France : PUF.

Folcher, V. (2015). Conception pour et dans l'usage : la maitrise d'usage en conduite de projet. *Revue des Interactions Humaines Médiatiées, 16*(1), 39-60.

Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités : perspective instrumentale. In P. Falzon (Ed.) *Ergonomie* (pp. 251-268). Paris, France : PUF.

Grosse, C., & Barcellini, F. (2012). *Livrables du projet ANR ICARO*. Rapport de recherche, CNAM.

Hoc, J.M. (2001). Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. *Int. J. Human-Computer Studies*, *54*, 509-540. https://doi.org/10.1006/ijhc.2000.0454

Kiesler, S., & Hinds, P. (2004). Introduction to the special issue on human- robot interaction. *Human-Computer Interaction, 19*(1), 1-8

Kleinpeter, E. (2015). Le Cobot, la coopération entre l'utilisateur et la machine. *Multitudes, 2015/1*(58), 70-75.

Lafeuillade, A.C., Barcellini, F., & Buchmann, W. (2018). Le travail au Cœur de l'Industrie du Futur, l'introduction de la robotique collaborative dans les PME's. *53e Congrès de la SELF*. Bordeaux

Lafeuillade, A.C., Barcellini, F., Buchmann, W., & Benchekroun, T.H. (à paraître). Intégrer de la robotique collaborative dans les situations de travail : les intentions des dirigeants de PME face

au réel. In M.E Bobillier-Chaumon (Ed.) *Les transformations digitales à l'épreuve de l'activité et des salariés : Comprendre et accompagner les mutations technologiques*. ISTE

Lallement, M. (2015). *L'âge du faire*. Paris, France : Seuil.

Lapeyrière, S. (1987). Les aventures de Substance et Cohérence au pays des projets. *Le Travail Humain, 50*(2), 125-132.

Laplace, J. & Régnaud, D. (1986). Démarche participative et investissement technique. *Cahier Technique, 52*. Paris : U.I.M.M

Leplat, J. (2002). De l'étude de cas à l'analyse de l'activité. *Pistes, 4*(2).

Le Bail, C. (2018). *La dimension idéologique en conception collaborative : anticiper un système sociotechnique citoyen innovant pour une gestion durable et partagée des ressources.* Thèse de doctorat en psychologie ergonomique, Telecom Paristech, 6 juin 2018.

Maline, J. (1994). *Simuler le travail*. Lyon : Éditions de l'ANACT.

Maire, F., & Brument, J.-M. (1987). *Conditions de travail et conduite de projet dans les industries de processus.* Montrouge : Éditions de l'A.N.A.C.T.

Martin, C. (2004). *Maitrise d'ouvrage, maitrise d'œuvre : Construire un vrai dialogue. La contribution de l'ergonome à la conduite de projet architecturale*. Toulouse, France : Octarès.

Moulières-Seban, T. (2017). *Conception de systèmes cobotiques industriels : approche cognitique : application à la production pyrotechnique au sein d'Ariane Group*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 30 novembre 2017.

Muller Mirza, N., & Perret-Clermont, A-N. (2009). *Argumentation and Education*. Dordrecht : Springer Verlag.

Nelson, J. (2011). *Contribution à l'analyse prospective des usages dans les projets d'innovation.* Thèse de doctorat, ENSAM.

Peshkin, M., & Colgate, J. E. (1999). « Cobots ». *Industrial Robot*, *26*(5), 335-341.

Petit, J. (2005). *Organiser la continuité du service : intervention sur l'organisation d'une mutuelle de santé*. Thèse de doctorat en ergonomie, Université de Bordeaux 2, 7 décembre 2005.

Petit, J., & Dugué, B. (2013). Structurer l'organisation pour développer le pouvoir d'agir : le rôle possible de l'intervention en ergonomie. *Activités, 10*(2), 210-228, https://journals.openedition.org/activites/816

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.

Salembier, P., & Zouinar, M. (2004). Intelligibilité mutuelle et contexte partagé : inspirations conceptuelles et réduction technologiques. *Activités, 1*(2), 64-85. https://doi.org/10.4000/activites.1243

Saraceno, M. (à paraître). L'homme « au cœur ». Du robot au cobot, le mythe du « bon » automate dans la médiatisation de « l'industrie du futur » (1978-2018). *Communications.*

Schmidt, K. (1994). Cooperative Work and its Articulation: Requirements for Computer Support. *Le Travail Humain*, *57*(4), 345-366.

Schmidt, K. (2002). The problem with 'awareness': introductory remarks on 'awareness in CSCW'. *Journal of Computer Supported Cooperative Work, 11*(3-4), 285-298.

Vallery, G., Le Port, M.-C., & Zouinar, M. (2010). *Ergonomie, conception de produits et services médiatisés.* Paris, France : PUF, collection Le Travail Humain.

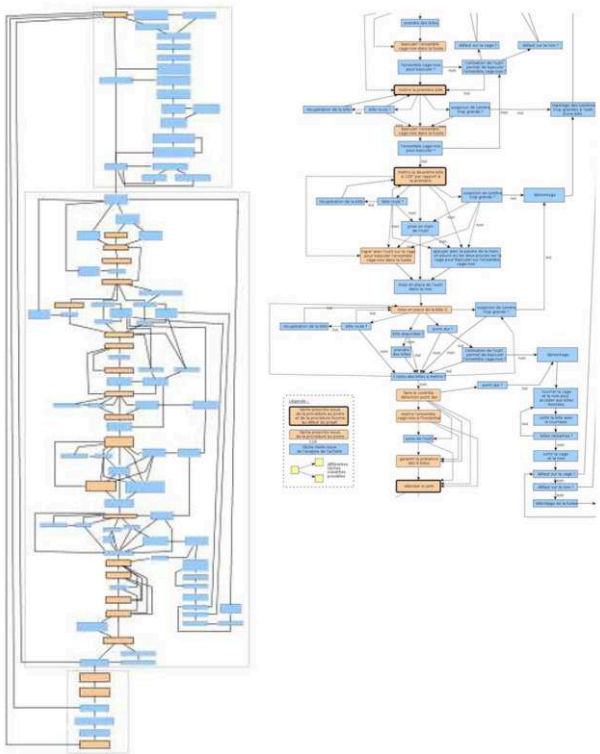
Volkoff, S., & Gaudart, C. (2015). *Working conditions and "sustainability": Converting Knowledge into Action*. Rapport de recherche, 92, 43 p. Noisy-le-Grand : Centre d'études de l'emploi

Woods, D. D., Tittel, J., Feil, M., & Roesler, A. (2009). Envisionning Human- Robot Coordination in Future Operations. In *SMCC-HRI*, 2009

Zouinar, M. (2018). Automatisation, Intelligence Artificielle et Robotique : quelles ruptures et quelles continuités pour l'activité humaine ? Communication à *la journée Activités « IA, Robotique, automatisation : quelles évolutions pour l'activité humaine »*, CNAM, 18 mai. Consulté le 12 janvier 2018 https://journals.openedition.org/activites/3204

ANNEXES

Figure 3 : **Logigramme décrivant la tâche théorique (en orange) et les actions supplémentaires réalisées par les opérateurs (gauche de la figure). Zoom sur la tâche d'assemblage des billes (à droite).**
Figure 3: Logigram describing the theoretical task (in orange) and the additional actions performed by the operators (left of figure). Zoom on the Ball mounting task zoom (on the right)



NOTES

1. http://www.industrie-dufutur.org/ ; https://www.la-fabrique.fr/fr/ ; https://factorylab.fr/

2. L'Agence Nationale de la Recherche a pour mission la mise en œuvre du financement de la recherche en France, sous forme d'appels à projets compétitifs (source anr.fr et wikipédia).

3. Produit ou installation démontrant la robustesse d'une idée en simulant toutes les contraintes susceptibles d'en venir à bout. Stade intermédiaire entre le prototype et la présérie (source wiktionary).
4. Agence Nationale pour la Recherche - ICARO « Robotique Collaborative et Industrie » (ANR-10-CORD-0025), programme : Contenus et Interactions (CONTINT 2010)
5. Traduction de C. Moricot in Barcellini *et al.*, 2017.
6. Contrairement aux robots présents jusqu'alors sur les lignes de production qui devaient donc être séparés physiquement des opérateurs de production, par des grilles par exemple, pour des questions de sécurité
7. Cette définition très large englobe un certain nombre de systèmes (co-manipulateur, téléopération, exomanipulation...).
8. Co-présence ou colocalisation qualifient une situation de travail dans laquelle des travailleurs – et dans notre cas des machines - partagent un même espace de travail et n'ont pas les mêmes buts ni de manière immédiate ni à moyen terme.
9. « People engage in cooperative work when they are mutually dependent in their work and therefore are required to cooperate in order to get the work done. »
10. « Two agents are in a cooperative situation if they meet two minimal conditions. (1) Each one strives towards goals and can interfere with the other on goals, resources, procedures, etc. (2) Each one tries to manage the interference to facilitate the individual activities and/or the common task when it exists »
11. « There is cooperation when at least some agents performed more than their private activities, that is cooperative activities (...). There is no cooperation when the agents act together but with perfectly autonomous actions [in the sense of Clark (1996) without public goals and without coordination in real time] from their point of view. »
12. L'objectif de recherche des chercheurs en ergonomie dans ce projet était de travailler la question de la construction de relations de confiance humains-technologies en lien avec la structuration du projet (Barcellini, Grosse, & Karsenty, 2013).
13. Cette exigence pose question au regard de l'aspect situé de la coopération.
14. https://fr.wikipedia.org/wiki/Joint_Rzeppa
15. Les analyses du travail et les modélisations ont été réalisées par C. Grosse.
16. Il s'agit d'un élément essentiel puisque le cobot doit décider de faire tourner la cage pour que le travailleur puisse insérer la bille suivante.
17. Notons que pour permettre un traitement de l'image satisfaisant – notamment en termes de contraste – la main du travailleur devait être recouverte d'un gant blanc. Ce choix technique acceptable dans le cadre du projet de recherche ne se révèlerait sans doute pas faisable dans le cas d'un projet d'industrialisation.
18. Cette question illustre bien la vision de la technologie comme un remède, dans ce cas un remède aux TMS.

RÉSUMÉS

Cet article relate une expérience de participation de chercheures en ergonomie à un projet de recherche de développement d'un démonstrateur de robotique collaborative. Cette contribution empirique est mise en perspective avec des éléments théoriques portant sur les modèles de la

coopération dans un système travailleur-robot et la conduite de projet de conception en ergonomie de l'activité. Sur cette base, nous discutons : (1) du modèle de la coopération effectivement réifiée dans le démonstrateur, qui en l'état des développements technologiques incorpore plus un modèle de coordination et non de coopération, en ce sens qu'il ne permet pas de gérer de manière dynamique l'interdépendance entre les tâches du travailleur et du robot ; (2) des apports et limites de la double conduite de projet mise en place (au sein du consortium de recherche et d'une usine). Nous soulignons que la présence de chercheures en ergonomie de l'activité au sein du projet de recherche s'est révélée être une condition nécessaire à la conception d'une technologie potentiellement « préservante » pour la santé et la performance, mais elle n'a en aucun cas été suffisante, car elle n'a pas permis de construite le futur usage socio-organisationnel de la technologie. Ceci appelle des perspectives de recherche permettant de poursuivre ces travaux en s'intéressant de plus près aux processus décisionnels relatifs aux transitions vers une « Industrie du futur » et à leurs accompagnements, dans des perspectives politiques et historico-culturel.

This article presents a case study on the participation of activity-centered ergonomics researchers in a collaborative robot development research project. This empirical contribution is grounded in and framed by theoretical aspects relating to models of cooperation in a worker-robot system and to activity-centered ergonomics proposals relating to design project management. We therefore discuss: (1) the model of cooperation which is actually reified in the technology. Given the current potentialities of the technology, this model deals more with coordination than with cooperation, as it does not support dynamic management of the interdependence between worker-robot tasks; (2) the contributions and limits of the dual project management approach set up in the research consortium and in a factory. We stress that participation of ergonomists proved to be a necessary condition for designing a technology that potentially "preserves" health and performance; however, this participation was in no way sufficient as it did not support the future socio-organisational use of the technology. We conclude by highlighting ongoing research issues that focus on the aforementioned point by investigating decision-making processes relating to transitions towards a "Factory of the future" and to their supports, from political and historical-cultural perspectives.

INDEX

Mots-clés : ergonomie, industrie du futur, robotique collaborative, travail, conduite du changement
Keywords : ergonomics, factory of the future, collaborative robotics, work, change management

AUTEUR

FLORE BARCELLINI

Centre de Recherche sur le Travail et le Développement, Le CNAM, 41 rue Gay Lussac 75005 Paris, France
flore.barcellini@lecnam.net