



**HAL**  
open science

## Vers un cadre méthodologique de conception des systèmes humains-robots

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

### ► To cite this version:

Mouad Bounouar, Richard Béarée, Ali Siadat, Tahar-Hakim Benchekroun. Vers un cadre méthodologique de conception des systèmes humains-robots. 13ème Conférence internationale de modélisation, optimisation et simulation (MOSIM 2020): “ Nouvelles avancées et défis pour des industries durables et avisées ” = 13 th International Conference on Modeling, Optimization and Simulation (MOSIM 2020): “New Advances and Challenges for Sustainable and Smart Industries”, Nov 2020, Agadir, Maroc. pp.718-724. hal-03158761

**HAL Id: hal-03158761**

**<https://hal.science/hal-03158761v1>**

Submitted on 4 Mar 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# VERS UN CADRE MÉTHODOLOGIQUE DE CONCEPTION DES SYSTÈMES HUMAINS-ROBOTS

**M. BOUNOUAR**

Arts et Métiers Institute of Technology, LCFC  
4, Rue Augustin Fresnel  
Metz, France  
[mouad.bounouar@ensam.eu](mailto:mouad.bounouar@ensam.eu)

**R. BÉARÉE**

Arts et Métiers Institute of Technology, LISPEN  
8, Bd Louis XIV  
Lille – France  
[richard.bearee@ensam.eu](mailto:richard.bearee@ensam.eu)

**A. SIADAT**

Arts et Métiers Institute of Technology, LCFC  
4, Rue Augustin Fresnel  
Metz, France  
[ali.siadat@ensam.eu](mailto:ali.siadat@ensam.eu)

**T-H. BENCHEKROUN**

Crted - CNAM, équipe ergonomie  
41, Rue Gay-Lussac  
Paris – France  
[tahar-hakim.benchekroun@lecnam.net](mailto:tahar-hakim.benchekroun@lecnam.net)

**RESUME :** *La robotique industrielle a connu des évolutions remarquables. Grâce au développement technologique et à l'évolution des dispositifs de sécurité, une nouvelle génération de robots fonctionnant sans barrières matérielles est apparue. Cette nouvelle génération de robots, dits collaboratifs, ouvre des perspectives pour des systèmes de production où humains et robots 'collaborent' pour gérer la fluctuation de la demande et les nombreuses formes de variabilités rencontrées sur un poste de travail.*

*Ces nouvelles perspectives donnent lieu à des discussions et débats englobant la sécurité des futurs utilisateurs, la rentabilité de ces investissements et leurs impacts sur la productivité, la qualité, les conditions de travail des opérateurs humains et leurs activités réelles. Elles ont renforcé le besoin d'une conception qui ne se focalise pas seulement sur l'élément technologique, mais aussi sur son utilisation potentielle en prenant en compte le travail réel et les futurs utilisateurs dès les premières phases de conception. Pour contribuer à ce débat, nous proposons dans cette communication un cadre méthodologique de conduite des projets cobotiques en prenant en compte les différents enjeux (de sécurité, de faisabilité, de rentabilité, etc.) et en s'inspirant des principales disciplines intégrant le travail réel et les futurs utilisateurs dès les premières étapes du processus de conception.*

**MOTS-CLES :** *Ergonomie de l'activité, Interaction Humains-Machines, Facteurs Humains, Management de projet, Robotique collaborative, conception centrée utilisateur.*

## 1 INTRODUCTION

La robotique a connu des évolutions diverses et rapides. En moins d'un demi-siècle, ce domaine a traversé différents niveaux d'évolution (Hägele et al., 2016 ; Vicentini, 2020), transformant ainsi le travail, et impactant de plus en plus la place de l'opérateur humain dans les systèmes de production. Passant d'une époque où l'intégration d'un robot signifiait une automatisation complète ; désormais, une robotisation n'implique pas forcément une suppression de l'activité humaine, car une nouvelle typologie de robots dits 'collaboratifs' est apparue. Grâce à leurs mesures de sécurité intrinsèque (capteurs de couple par exemple), ces robots peuvent partager le même espace de travail, ainsi qu'un ensemble de tâches avec les opérateurs (Safaea et al., 2019 ; Sallez et al., 2020).

Ces nouvelles générations de robots s'ajoutent aux solutions robotiques conventionnelles pour constituer une large famille de solutions robotiques qui peuvent être classées en 3 sous-familles de solutions robotiques (Bounouar et al., 2019) :

- Les solutions robotiques qui reprennent les éléments conventionnels de la robotique industrielles, où le robot réalise les tâches en autonomie, sans aucune intervention humaine. Avec la possibilité de remplacement des éléments de sécurité matérielles (barrière, grille de protection, etc.) au profit de dispositifs immatériels (barrière optique, scanner laser, etc.) ;
- Les solutions cobotiques qui nécessitent la présence humaine pour l'accomplissement des tâches. Dans ce cadre, les cobots, les exosque-

lettres 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 ;

- Les robots manipulateurs collaboratifs qui peuvent partager le même espace de travail et des tâches avec les opérateurs humains. Parmi les applications typiques de cette catégorie, on retrouve par exemple : le déplacement des produits fabriqués, la préparation d'outils (de montage, par exemple), etc.

Ces nouveaux dispositifs technologiques sont de plus en plus présentés comme une clé de modernisation et de compétitivité des entreprises, 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 est présentée comme une solution potentielle pour répondre aux besoins de flexibilité et d'agilité liées à la variabilité de production et à la mondialisation de la concurrence en offrant des nouvelles possibilités d'assistance pour des tâches parfois difficilement automatisables, tout en contribuant également à l'amélioration des conditions de travail. Si le déploiement de ces technologies reste encore limité et ne remplit pas totalement ces promesses, leur futur semble très prometteur.

Ces nouveaux dispositifs technologiques donnent lieu à un débat autour d'un ensemble de questions englobant la sécurité des futurs utilisateurs (INRS, 2018), la rentabilité de ces investissements et leurs impacts sur la productivité (Bounouar et al., 2020 ; Cherubini et al., 2016), la qualité et les conditions de travail des opérateurs humains (Haeflinger, 2017). De ce fait, ils ont renforcé le besoin d'une conception qui ne se focalise pas seulement sur l'élément technologique, mais aussi sur son utilisation potentielle en prenant en compte le travail réel, ces particularités et ces sources de variabilités pour concevoir des systèmes Humains-Robots favorisant un travail en sécurité, en qualité et élargissant les marges de manœuvres des opérateurs humains afin de pouvoir gérer les variabilités et les difficultés rencontrées en situation de travail.

Pour enrichir ce débat, nous proposons dans cette communication un cadre méthodologique de conduite des projets cobotiques en prenant en compte les différents enjeux de ce type de projets (sécurité, faisabilité, rentabilité, etc.) et en s'inspirant des principales disciplines intégrant le travail réel et les futurs utilisateurs dès les premières étapes du processus de conception. Ce cadre méthodologique vise à orienter vers une conception des systèmes humains-robots alliant sécurité, rentabilité, et amélioration des conditions de travail.

Après avoir présenté ce contexte technologique et les questions induites, nous présenterons brièvement dans la partie suivante des exemples d'approches de conception centrées sur l'Humain. Nous discuterons ensuite les étapes et les particularités de chacune de ces approches et nous présenterons par la suite notre proposition de cadre méthodologique de conception des systèmes cobotiques.

## 2 LES APPROCHES DE CONCEPTION CENTRÉES SUR L'HUMAIN

### 2.1 La conception centrée utilisateur

C'est dans (Norman et Draper, 1986) que le terme «user-centered design» fut pour la première fois employé pour exprimer un type de conception dans lequel l'utilisateur de l'application, appelé «end-user», influence la conception elle-même. Ce terme a été utilisé par la suite dans plusieurs publications et manifestations scientifiques.

La norme ISO 9241 (ISO 9241, 2010) fournit un cadre pour la conception centrée sur l'être humain. Complémentaire aux méthodologies de conception existantes, ce cadre offre une perspective centrée sur l'être humain qui peut être intégrée dans différents processus de conception et de développement d'une manière adaptée au contexte de chaque cas particulier. Une approche centrée sur l'être humain devrait suivre, entre autres, les principes énumérés ci-dessous :

- La conception est fondée sur une compréhension explicite des utilisateurs, des tâches et des environnements :

Les produits, systèmes et services devraient être conçus de manière à tenir compte des personnes qui les utiliseront et qui pourraient être touchées (directement ou indirectement) par leur utilisation.

- Les utilisateurs sont impliqués tout au long de la conception et du développement :

La participation des utilisateurs à la conception et au développement constitue une source précieuse de connaissances sur le contexte d'utilisation, les tâches et la façon dont les utilisateurs sont susceptibles de travailler avec le futur produit.

- La conception est pilotée et affinée par une évaluation centrée sur l'utilisateur :

L'évaluation des conceptions avec les utilisateurs et leur amélioration en fonction de leurs commentaires constituent un moyen efficace pour réduire les risques qu'un système ne réponde pas aux besoins des utilisateurs ou de l'organisation (y compris les exigences cachées ou difficiles à spécifier explicitement). Une telle évaluation

permet de tester les solutions de conception préliminaire et contribuer à l'élaboration des solutions progressivement affinées.

- Le processus est itératif :

L'itération implique que les descriptions, les spécifications et les prototypes soient révisés et affinés lorsque de nouvelles informations émergent en cours de conception, au fur et à mesure d'affinement de la compréhension des utilisateurs et de leurs tâches. Ceci, afin d'éliminer progressivement l'incertitude pendant le développement des systèmes interactifs (humains-machines) et de réduire le risque que le système en cours de développement ne réponde pas aux besoins des utilisateurs.

- L'équipe de conception comprend des compétences et des perspectives multidisciplinaires :

L'équipe de conception centrée sur l'utilisateur doit être suffisamment diversifiée pour veiller sur la prise en compte des différents aspects liés à la conception et pour pouvoir prendre des décisions sur les compromis à faire. Un avantage supplémentaire d'une approche multidisciplinaire est que les membres de l'équipe prennent davantage conscience des contraintes et des réalités des autres disciplines ; par exemple, les experts techniques peuvent devenir plus sensibles aux problèmes des utilisateurs et les utilisateurs peuvent devenir plus conscients des contraintes techniques.

Un exemple de mise en œuvre de cette démarche a été partagé par (Loup-Escande et al., 2016) dans le cadre d'un projet visant la conception d'un environnement virtuel favorisant l'apprentissage de concepts scientifiques. Les contributions effectives de plusieurs profils d'utilisateurs (les enseignants, les élèves) à la compréhension et à la spécification des contextes d'usage, à l'identification des besoins des utilisateurs et aux évaluations de solutions intermédiaires et finales ont été décrites dans ce retour d'expérience.

## 2.2 La conception centrée sur l'activité

Comme son nom l'indique, la conception centrée sur l'activité souligne l'importance d'une analyse et d'une compréhension des activités individuelles et collectives développées et mises en œuvre par les opérateurs dans leur quotidien de travail durant le processus de conception.

Ces étapes essentielles permettront d'alimenter le processus de conception et de l'orienter vers des choix en capacité d'élargir les marges de manœuvre des futurs utilisateurs de telle manière à pouvoir mettre en œuvre des moyens cohérents pour faire face à la variabilité du travail (technique, organisationnelle, etc.) dans l'objectif

de préserver leur santé et d'atteindre les objectifs de productivité.

Les approches de conception développées dans ce cadre 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 des étapes de cette démarche se fonde sur une mobilisation et une participation active de l'ensemble des acteurs concernés par le projet, y compris les opérateurs (Benckroun, 2016 ; Bounouar et al., 2019). Dans ce sens, 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 en centrant le dialogue entre les différentes parties prenantes du projet sur le travail et les activités mobilisées en situation réelle ou simulée (Benckroun, 2016).

## 2.3 Le Design Thinking

Le Design Thinking (DT) rendu populaire par la compagnie IDEO et l'Université de Stanford, est une approche basée sur l'empathie et utilisant des méthodes et des outils pour permettre à des équipes multidisciplinaires d'innover en mettant en correspondance attentes des utilisateurs, faisabilité technologique et viabilité économique. (Brown and Barry, 2011)

L'objectif de cette démarche est de déplacer les référentiels traditionnels du design qui mettent l'accent sur la résultante du processus à savoir la plupart du temps l'objet créé. Elle s'articule sur des phases cycliques et itératives ayant comme source d'inspiration première la compréhension des individus pour qui on veut innover (utilisateurs finaux), et ce par l'art d'interagir avec eux d'une façon fine et efficace, l'art de l'observation, du recadrage et du prototypage rapide pour mieux approfondir la compréhension du terrain et enrichir les propositions de solutions. Dans cette démarche, plutôt que de développer tout le produit (service, espace, technologie, organisation, etc.) pendant des mois et de le présenter sous sa forme finale au client pour avis, il ne faut développer que les briques demandées et tester avec les utilisateurs l'usage au moyen de versions bêta et échanger avec eux en boucles courtes, en contexte réel, jusqu'à la finalisation et la mise en œuvre. (Mathieu and Hillen, 2016)

Il existe plusieurs variantes des processus en Design Thinking, le plus populaire est celui développé par la d.school de l'université de Stanford qui définit le proces-

sus en cinq étapes qui s'enchaînent logiquement mais qui ne doivent pas être prises comme un processus linéaire (The Bootcamp Bootleg, 2013) : La phase d'empathie pour comprendre les besoins des utilisateurs, la phase de définition qui vise à exprimer explicitement le problème à résoudre et l'angle d'attaque du problème, la phase d'idéation durant laquelle l'ensemble des participants du groupe de conception génèrent une diversité d'alternatives de conception pour répondre au à l'objectif défini, puis la phase du prototypage pour permettre aux idées de sortir au monde réel et la phase de test pour recueillir les avis des utilisateurs, d'améliorer les solutions, d'affiner et de continuer à apprendre davantage sur les utilisateurs pour gagner encore une fois en empathie afin d'enrichir les prochaines itérations.

D'autres exemples intéressants d'approches de conception centrées sur l'humain existent (Sun H. et al., 2013 ; Sun X. et al., 2018).

### **3 LES ENJEUX DE LA CONCEPTION DES SYSTÈMES COBOTIQUES**

La conception d'un système collaboratif humains-robots est une tâche complexe. Ceci est dû à un ensemble d'enjeux complémentaires mis en jeu durant ce type de projets de conception.

Tout d'abord, l'enjeu de sécurité a une place essentielle durant le processus de conception d'un système interactif incluant des robots collaboratifs. En fait, contrairement aux robots industriels isolés par des grilles et barrières physiques, le partage physique d'un même espace de travail entre les robots collaboratifs et les opérateurs humains rend la notion de risque prédominante.

Malgré l'implantation de différentes mesures de protection intrinsèques (fonctions de sécurité intégrées, capteurs de couple, etc.) et respect des exigences de sécurité normatives (ISO 10218-1, 2011) par les fabricants de cobots, les risques de ces nouveaux moyens technologiques sont présents pour les utilisateurs. Dans ce sens, Il est important de distinguer le robot, qui est considéré au sens de la directive machines<sup>1</sup> 2006/42/CE comme une quasi-machine qui ne peut assurer à elle seule une application définie, et le système cobot comprenant le cobot, son effecteur (une pince, une visseuse, etc.), et l'ensemble des éléments de péri-robotique et de l'environnement de travail. Ce dernier n'est pas « sûr » par définition, mais sa sécurité doit être étudiée et assurée dans le contexte de l'utilisation. A titre d'exemple, les effecteurs (pince, visseuse, etc.), les objets manipulés, la vitesse, etc. peuvent être générateurs de risques de pincement, de collision, de coincement, etc.

<sup>1</sup> Les Directives machines rapprochent les législations des États membres de l'union européenne relatives aux machines. Elles visent à assurer la sécurité des personnes sur le lieu de travail et à réduire les risques

D'autre part, l'introduction d'une nouvelle technologie dans un système industriel constitue un changement majeur au niveau de l'activité des opérateurs humains et de l'organisation. En ce sens, introduire une technologie, c'est aussi agir sur un système socio-organisationnel (Bobillier-Chaumon, 2016). Ceci peut avoir des impacts sur le savoir-faire développé par les opérateurs tout au long de leurs carrières pour effectuer un travail de qualité et gérer les variabilités rencontrées tout en préservant leur santé.

Puis, il ne faut pas oublier que l'introduction d'une cellule de robotique collaborative, au même titre que tout autre moyen de production, est un investissement important qui est souvent conditionné de façon prédominante par des critères économiques. Il est naturel que les dimensions liées aux coûts engendrés (pour l'achat, la mise en fonction et l'entretien de la cellule robotique), à l'impact sur l'efficacité des postes de travail concernés, et au retour sur investissement soient discutées et prises en compte dans les processus de prise de décision et de conception.

Le challenge durant la conduite de projets cobotiques consiste à trouver, pour chaque cas de poste de travail industriel à cobotiser, le compromis entre les différents enjeux essentiels liés à l'introduction de cette nouvelle technologie.

En se basant sur la richesse des disciplines de conception centrées sur l'humain présentées précédemment et sur la connaissance de la réglementation en vigueur, nous proposons dans la partie suivante un cadre méthodologique en construction, visant à aider les concepteurs des systèmes humains-robots de prendre en compte les différents enjeux présentés dans cette partie, dans un objectif d'aboutir à un système humains-robots alliant sécurité, acceptabilité et rentabilité.

### **4 PRÉSENTATION ET MISE EN PERSPECTIVE DE LA PROPOSITION DU CADRE MÉTHODOLOGIQUE DE CONCEPTION DES SYSTÈMES HUMAINS-ROBOTS**

Avant de commencer les étapes de conception, pour veiller à la bonne prise en compte de l'aspect multi-enjeux précité, l'équipe de projet devrait être pluridisciplinaire. C'est d'ailleurs une des bases de la conceptions centrée-utilisateurs (section 2.1). Une équipe de projet pluridisciplinaire devrait inclure les opérateurs concernés par le projet, des représentants de la direction (pour la discussion de l'investissement), des managers (de production, de maintenance, de qualité, de la sécurité), un ergonome et un intégrateur de robot.

Au début du projet, l'équipe pluridisciplinaire serait amenée à analyser la situation actuelle de l'organisation, du poste de travail et des tâches à cobotiser. Plus précé-

sément, il s'agira, d'une part d'analyser les enjeux du projet en définissant les objectifs, en identifiant les postes à cobotiser, les personnes impactées, leurs attentes et les contraintes économiques et organisationnelles liées au projet (budget, importance du poste dans le processus de production, etc.), et d'une autre part, d'analyser l'activité des opérateurs à travers des observations en situation réelle, des entretiens de compréhension, et une analyse des données et documents liés aux postes de travail concernés (descriptifs des postes, objectifs de performance, suivi de productivité et de qualité, données de santé et de sécurité, etc.).

En se basant sur les résultats de la phase d'analyse de l'existant, les étapes de conception devront être conduites de manière participative et itérative (principes de la conception centrée utilisateurs : section 2.1). En commençant par une étape importante d'idéation de scénarios de cobotisation (comme au Design Thinking : section 2.3). Cette étape essentielle va contribuer à favoriser l'approche participative en donnant la parole à tous les membres de l'équipe de conception, y compris les opérateurs humains, pour proposer des pistes de solutions qui doivent être discutées, évaluées et hiérarchisées à travers des simulations organisationnelles (simulations rapides en maquettes 2D ou 3D, par exemple).

Ensuite, les pistes de solutions les mieux classées doivent être étudiées dans un objectif de choix des solutions technologiques adaptées, afin également de déterminer leurs faisabilités et d'estimer leurs enveloppes budgétaires. Si les principes de solutions et leurs coûts potentiels sont acceptés par l'organisation et les opérateurs concernés, une étape de simulation fonctionnelle (tirant bénéfice des nouvelles technologies de visite virtuelle et d'analyse ergonomique de poste) permettrait l'évaluation du fonctionnement spatial et temporel et de son impact potentiel sur la performance du système.

Après l'étude de faisabilité et l'évaluation de la rentabilité économique de l'investissement, une étape d'analyse des risques et d'évaluation de l'utilisabilité et de l'acceptabilité de la solution par les opérateurs est nécessaire pour déterminer si la solution est potentiellement convenable, et mérite d'être prototypée, ou s'il y a une nécessité de faire des itérations pour améliorer des aspects de la solution.

Ces itérations et retours vers la phase d'étude de faisabilité pour modifier la solution proposée, ou vers la phase d'idéation, pour revoir les scénarios de cobotisation doivent d'être envisageables pour éviter d'aller vite vers des investissements inutiles. Même après la validation d'une solution finale et son implantation, des évaluations après la mise en fonctionnement permettront de recueillir le retour des utilisateurs et la prise des décisions nécessaires pour éviter tout rejet de la nouvelle technologie après investissement.

Les étapes présentées ci-dessous sont schématisées sous forme d'un cadre méthodologique de conduite des projets cobotiques (figure 1). Ce cadre méthodologique vise à orienter vers des solutions systèmes humains-robots alliant sécurité, acceptabilité et productivité.

## 5 CONCLUSION

La cobotique présente de nombreuses perspectives pour le secteur industriel, englobant l'amélioration de l'agilité des systèmes de production et l'amélioration des conditions de travail des opérateurs humains. Ces nouveaux moyens technologiques engendrent des points de vigilance liés à la bonne prise en compte des enjeux multidisciplinaires de la robotique collaborative (Sécurité, rentabilité et conditions de travail).

Dans cet article, différentes approches de conception centrées sur les utilisateurs finaux ont été présentées. Ensuite, les enjeux multidisciplinaires liés à la robotique collaborative ont été discutés. Puis, un cadre méthodologique de conception des systèmes humains-robots a été élaboré. Ce cadre méthodologique, comprenant les étapes de conception avec leurs livrables, leurs outils et données d'entrées nécessaires, met en avant l'importance de la structuration participative de l'équipe de conception, des étapes préliminaires de la compréhension et d'analyse de l'activité en cours et des étapes itératives de conception et d'évaluation pour parvenir à une conception combinant performance productive, santé et sécurité.

Pour un premier temps, ce cadre méthodologique a été mis en pratique –aux conditions de laboratoire– lors d'un processus de conception d'une cellule robotique collaborative visant l'amélioration d'un poste de travail de recyclage des boîtes plastiques contenant un produit de nettoyage (Bounouar et al., 2020). Au cours de cette expérience, l'activité manuelle a été analysée par le biais d'observations et d'entretiens avec les utilisateurs. Des scénarios d'amélioration ont été proposés, discutés et priorisés. Ensuite, une étude de faisabilité a été réalisée et a conduit à la réalisation des prototypes techniques des solutions retenues. Ces prototypes ont permis d'évaluer les solutions proposées et de recueillir les réactions des utilisateurs volontaires. Actuellement, ce cadre méthodologique est en train d'être mis en œuvre dans un contexte plus formel ; un projet d'étude des possibilités d'assistance des opérateurs humains sur un poste de travail de finition d'une PME industrielle française. Cette entreprise produit des pièces mécaniques fragiles et sensibles pour le secteur aéronautique. Cette application industrielle permettra d'enrichir et d'affiner ce cadre méthodologique.

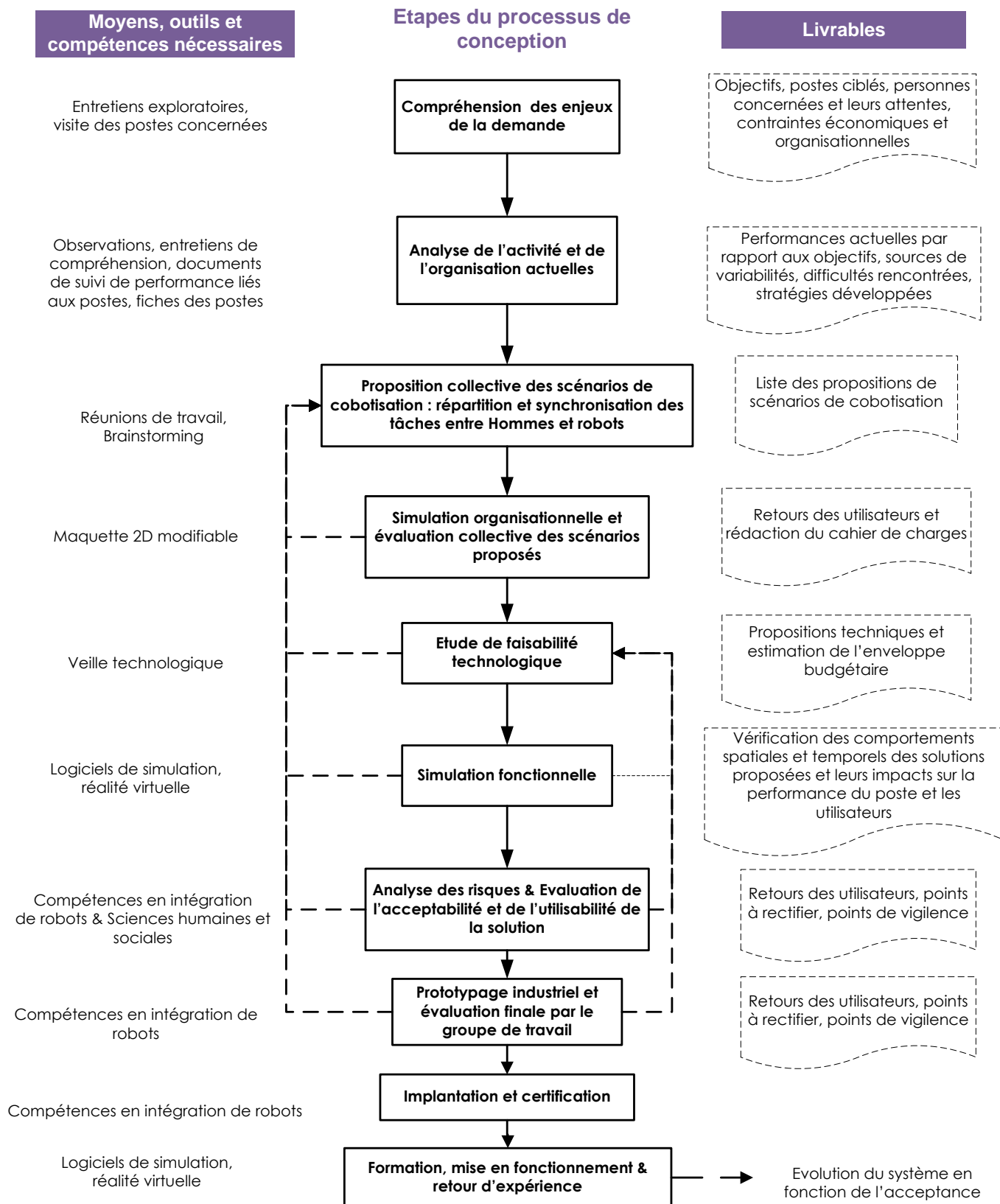


Figure 1: Proposition de cadre méthodologique du processus de conception des systèmes humains-robots

## REMERCIEMENTS

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

## REFERENCES

- Benchekroun, T.H., 2016. Intervenir en ergonomie : analyser le travail pour le comprendre et transformer le travail pour le concevoir. *Actes du 51ème Congrès de la SELF*, Marseille-France.
- Bobillier-Chaumon, M-E, 2016. L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du travail et des organisations, Elsevier Masson, 2016, 22 (1)*, ff10.1016/j.pto.2016.01.001ff. fffhalshs-01425813f.
- Bounouar, M. Bearee, R. Benchekroun, T-H., Siadat, A., 2019. Etat des lieux de la cobotique industrielle et de la conduite de projet associée. *Acte de : 16ème édition S-mart colloque (AIP-Primeca)*, Les Karellis-France, 2019. <https://smart2019.event.univ-lorraine.fr/243184>.
- Bounouar, M., Béarée, R., Siadat, A., Klement, N., Benchekroun, T-H, 2020. User-centered design of a collaborative robotic system for an industrial recycling operation. *1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*, Meknes, Morocco, pp. 1-6, doi: 10.1109/IRASET48871.2020.9092178.
- Brown T., Barry K, 2011. Change by design. *Journal of Product Innovation Management* 28 (381-383).
- Haeflinger, R, 2017. Prévention dans le domaine de la robotique collaborative Synthèse de travaux réalisés à l'international. EUROGIP - Paris Réf. Eurogip-129/F. ISBN : 979-10-91290-89-0.
- Hägele, M., Nilsson, K., Pires, J. N. and Bischoff, R, 2016. Industrial robotics. In: Siciliano, B. & Khatib, O (Eds.) Springer Handbook of Robotics. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 1395-1421.
- INRS. 2018. Robots collaboratifs- Risque. <http://www.inrs.fr/risques/robots-collaboratifs/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- ISO 10218-1 :2011. Robots et dispositifs robotiques exigences de sécurité pour les robots industriels : partie 1 : robots.
- ISO 9241-210. Ergonomics of human-system interaction – part 210: human-centred design for interactive systems. Genève: international organization standardization, 2010.
- Loup-Escande Maurice P, Padois P, Measson Y, Bidaud, P (2017) Human-oriented design of collaborative robots. *International journal of industrial ergonomics, Elsevier, 57*, pp.88- 102. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01428778>.
- Mathieu F, Hillen V (2016) Le design thinking par la pratique, de la rencontre avec l'utilisateur à la commercialisation d'un produit innovant pour les seniors. Eyrolles, ISBN: 978-2-212-14385-0.
- Norman D., Draper S, 1986. User Centered System Design. *New Perspectives on Human-Computer Interaction*. L. Erlbaum Associates Inc. Hillsdale, NJ, USA ©1986. ISBN:0898597811.
- Safeea M., Neto N., and Bearee R, 2019. Efficient Calculation of Minimum Distance Between Capsules and Its Use in Robotics. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 5368–5373, 2019.
- Sallez, Y., Berger, T., Bonte, T., The concept of “safety bubble” for reconfigurable assembly systems, *Manufacturing Letters*, Volume 24, 2020, Pages 77-81, ISSN 2213-8463. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.03.015>.
- Sun, H., Houssin, R., Gardoni, M., De Bauvront, F., 2013. Integration of user behaviour and product behaviour during the design phase: Software for behavioural design approach, *International Journal of Industrial Ergonomics (IJIE)*, vol. 43.
- Sun, X., Houssin, R., Renaud, J., Gardoni, M., 2018. A review of methodologies for integrating human factors and ergonomics in engineering design, *International Journal of Production Research*, 57:15-16, 4961–4976. DOI: 10.1080/00207543.2018.1492161
- The bootcamp bootleg. 2013. <Http://dschool.stanford.edu/use-our-methods/> Accessed 30 september 2019.
- Vicentini, F., 2020. Collaborative robotics: a survey. *Journal of Mechanical Design*. doi:10.1115/1.4046238.