

Travailler avec des cobots dans l'usine du futur : vers une évolution du rapport de prescription ?

Par Thierry COLIN⁽¹⁾

Professeur des universités en sciences de gestion à l'IAE de Nancy.
Université de Lorraine, CEREFIGE, F-54000, France

Et Benoît GRASSER⁽¹⁾

Professeur des universités en sciences de gestion à l'IAE de Nancy Université de Lorraine,
CEREFIGE, F-54000, France

Alors que les robots industriels fonctionnent dans des cages pour éviter tout contact, les robots collaboratifs ou cobots partagent les mêmes espaces physiques que les opérateurs humains. Ils peuvent être redéployés facilement, sont aisément programmables et peuvent s'utiliser avec une grande variété d'outils. Dans cet article, basé sur une recherche qualitative, nous cherchons à comprendre dans quelle mesure la robotique collaborative remet en cause l'organisation du travail dans l'usine du futur. Après avoir défini ce qu'est un robot collaboratif et analysé les limites de la notion de collaboration humain-cobot, nous montrons l'intérêt du concept de rapport de prescription pour comprendre les évolutions en cours. Les résultats empiriques que nous avons recueillis permettent de proposer une typologie des formes émergentes d'utilisation des cobots, et de la discuter en termes d'évolution du rapport de prescription. Enfin, trois défis importants pour envisager la place des cobots dans l'usine du futur sont pointés.

Introduction

Il est difficile de prédire ce que sera le monde industriel de demain, mais, ce qui est sûr, c'est qu'il fait l'objet d'intenses réflexions de la part des acteurs privés et publics. Que ce soit sous son appellation « Industrie 4.0 » (concept né en Allemagne en 2011) ou « Industrie du futur » (sa déclinaison française), l'objectif est d'anticiper et d'encourager la transition vers une industrie qui exploite pleinement les nouvelles technologies, notamment digitales. Il s'agirait ni plus ni moins que d'une quatrième révolution industrielle (Kohler et Weisz, 2016 ; 2018), d'une rupture technique de grande envergure (André, 2019) permettant de synchroniser et d'interconnecter les machines, les produits et les humains. Si les cartes de la concurrence internationale pourraient dès lors être rebattues, avec en particulier des perspectives de réindustrialisation dans les économies occidentales, la question du travail est aussi directement interrogée. Les opérateurs de production pourraient voir leur rôle évoluer, en étant par exemple davantage associés à l'exploration des nouvelles voies technologiques (Bennis, 2021), et l'industrie du futur pourrait générer ainsi de nombreux changements dans les emplois et dans la manière de les exercer (*Ibid*). Notre article s'intéresse aux

évolutions possibles du travail des opérateurs dans les usines recourant aux technologies de l'industrie du futur, en se focalisant sur une technologie en particulier, celle des robots collaboratifs ou « cobots ».

Le néologisme « cobot », pour robot collaboratif, date de la fin des années 1990. Mais ce n'est que récemment que cette technologie a fait l'objet d'investissements et de développements substantiels de la part des fournisseurs traditionnels de robots, ainsi que de nouveaux entrants qui ambitionnent de renouveler les codes de la robotique, en la rendant plus accessible, plus orientée usagers. Parfois d'apparence très proche du robot classique, ou s'inspirant au contraire de designs plus anthropomorphiques, les cobots ont pour caractéristique essentielle de pouvoir partager les mêmes espaces physiques que l'opérateur et interagir avec lui, là où, pour des raisons de sécurité, les robots traditionnels fonctionnent « en cage », sans interaction directe avec les opérateurs. Les cobots sont censés s'adapter de manière autonome aux mouvements de l'humain, et peuvent être redéployés facilement sur de multiples tâches. Programmables et reprogrammables, accessorisés avec toutes sortes d'outils (pince, visseuse, perceuse, équipement de soudure ...), ils doivent soulager l'humain des tâches les plus ingrates et les plus répétitives pour lui permettre de se concentrer sur les activités où son expertise et sa dextérité sont sources de valeur ajoutée.

⁽¹⁾ Les auteurs remercient Sébastien Borraccino, ingénieur d'étude au CEREFIGE, pour sa participation à la recherche.

L'introduction au sein des ateliers de ce que certains n'hésitent pas à qualifier de « collègue robot » pose à la fois la question de la portée réelle de cette transformation et celle de son contenu. Les cobots sont-ils vraiment capables de collaborer avec les opérateurs ? Dès les années 1990, des recherches ont en effet montré que les applications informatiques conçues comme collaboratives sont loin d'être toujours utilisées dans ce sens (Orlikowski, 1993), et cela reste vrai pour des applications plus récentes (Ologeanu-Taddei *et al.*, 2014). Il faut donc dépasser les propriétés techniques des cobots pour s'intéresser à la façon dont ils sont utilisés dans les entreprises. Un deuxième ensemble de questions a trait à l'impact des cobots sur le travail dans l'usine du futur : faudra-t-il davantage « redonner la main aux opérateurs » pour exploiter le potentiel des cobots ? Et si oui, quelles en seraient les implications en termes de contenu et d'organisation du travail ? Introduire des technologies potentiellement plus collaboratives questionne en effet le positionnement des frontières traditionnelles entre conception et exécution.

Cet article examine ces questions en mobilisant le concept de rapport de prescription (Hatchuel, 2015). Celui-ci peut se définir comme l'articulation dynamique entre les apprentissages d'un concepteur, en situation de pouvoir prescrire au moins partiellement le travail de l'opérateur, et ceux d'un opérateur, censé agir conformément à cette prescription. En postulant que « tout être humain est un être cognitif [...] qui agit à l'aide d'une production propre de savoir » (p. 134), ce cadre théorique permet d'apporter un regard original sur ce qui se joue lorsqu'une nouvelle technologie rebat potentiellement les cartes entre les savoirs des opérateurs et les savoirs des concepteurs. Nous nous interrogeons donc sur le fait de savoir si l'introduction de cobots est de nature à modifier durablement le rapport de prescription dans les entreprises industrielles. Du point de vue empirique, nous nous appuyons sur une recherche qualitative menée à la fois auprès des fabricants de cobots, d'entreprises qui les installent (intégrateurs), et d'entreprises les utilisant.

Nous commencerons par définir ce qu'est un robot collaboratif et nous interrogerons sur la possibilité d'une collaboration humain-robot. Nous montrerons ensuite l'intérêt du concept de rapport de prescription pour comprendre les évolutions en cours. Nous détaillerons alors les résultats de notre recherche qualitative sur les premiers usages des cobots dans l'industrie, avant, dans une dernière partie, de proposer une première typologie des usages des cobots, que nous discuterons en termes d'évolution du rapport de prescription et que nous mettrons en perspective au regard de trois défis portés par la robotique dans l'usine du futur.

Cobots et humains, une « collaboration » ambigüe

Du robot au cobot : points de repère pour une technologie en émergence

Le terme cobot est créé par la contraction des termes anglais « *collaborative* » et « *robot* ». La paternité en est attribuée à des universitaires américains (Akella *et al.*, 1999 ; Colgate *et al.*, 1996 ; Peshkin *et al.*, 2001) qui cherchent à la fois à limiter les TMS (troubles

musculo-squelettiques) et à améliorer la productivité dans des usines de production automobile (Ford et GM).

Un robot collaboratif est un robot qui peut être installé dans le même espace de travail que les opérateurs humains, sans barrière de protection physique, à l'inverse d'un robot industriel classique, qui pour des raisons de sécurité est installé dans un espace clos et distinct (une « cage »). Les cobots sont donc équipés de capteurs et de programmes déclenchant un ralentissement du mouvement ou un arrêt complet si un risque de collision est détecté. Dans le cadre de cette recherche, nous définirons donc les cobots comme des robots autonomes, capables de partager un espace de travail avec des opérateurs humains⁽²⁾. Cette définition est proche de celle de la fédération internationale de robotique ou de l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité).

Les cobots sont capables de réaliser la plupart des opérations industrielles (visser, percer, poncer, souder...) dès lors qu'ils sont équipés des outils correspondants. Partageant le même espace que l'humain, ils peuvent réaliser leurs opérations en étant positionnés face-à-face avec les opérateurs sur un même poste de travail, ou alors en occupant des postes en alternance avec des postes occupés par des opérateurs. Les cobots ne sont pas conçus pour des usages prédéfinis par leurs fabricants : bien au contraire, leur nature même les destine à une très grande palette d'usages différents en fonction des contextes. La souplesse de leur implantation, sur les plans fonctionnel (multiplicité des outils possibles), systémique (utilisation en combinaison avec de multiples équipements) et temporel (possibilité de redéployer les cobots sur des usages différents au cours du temps), fait partie des atouts importants mis en avant par les fournisseurs.

Les possibilités sont en théorie tellement ouvertes que les fabricants estiment que la division du travail pourrait en être modifiée. Les cobots pourraient ainsi être affectés aux tâches les plus pénibles, les plus ingrates, voire les plus dangereuses, tandis que les opérateurs pourraient être concentrés sur les opérations pour lesquelles l'humain apporte une valeur ajoutée spécifique, en termes de dextérité par exemple, ou lorsqu'un savoir-faire de métier est nécessaire. La question est plus complexe lorsque le cobot partage une activité avec un opérateur. L'image de la collaboration humain-machine est alors souvent évoquée, ce qui ne manque pas de soulever une forme de malentendu.

Humains et cobots, la collaboration comme malentendu ?

Il n'y a pas aujourd'hui de littérature spécifiquement centrée sur les cobots dans le champ des sciences de gestion et du management. En revanche, une telle littérature existe dans plusieurs autres champs disciplinaires, et s'interroge selon différents prismes sur la

⁽²⁾ Nous excluons de notre réflexion d'autres dispositifs technologiques qui peuvent être parfois également dénommés cobots : les exosquelettes (« squelette » externe qui équipe directement l'humain et qui assiste physiquement ses efforts), les bras manipulateurs (bras articulé, commandé directement par l'humain ou programmable), et les véhicules à guidage automatique (VGA) plus ou moins autonomes.

nature de la collaboration homme-machine avec une telle technologie. Il en ressort en premier lieu que la collaboration humain-machine ne se présente pas de manière binaire. On parle au contraire de différents degrés de collaboration (Bauer *et al.*, 2016 ; Hentout *et al.*, 2019 ; Salotti *et al.*, 2018). À un extrême, on peut utiliser un cobot sans qu'il interagisse avec un opérateur ou ne partage son espace de travail. Le terme de coexistence est alors souvent utilisé. À un autre extrême, le cobot intervient sur une même pièce et en même temps qu'un opérateur, voire peut réagir et s'adapter aux mouvements de ce dernier. Les appellations pour cette situation varient (coopération, collaboration, collaboration directe), mais l'idée centrale est que cette configuration est celle qui exploite au mieux le potentiel des cobots et s'éloigne le plus des usages d'un robot classique. Notons que la situation dans laquelle le cobot est capable de s'adapter à l'opérateur est réalisable en laboratoire, mais semble plus difficile à réaliser dans des conditions de travail réelles (Ivaldi, 2018), et que la plupart des applications robotiques auraient des interactions de bas niveau avec un déploiement peu flexible (Michaelis *et al.*, 2020).

Pour Hentout *et al.* (2019), la « collaboration » (par opposition à la « coexistence » et à la « coopération ») renvoie aux situations dans lesquelles il existe un contact physique explicite et intentionnel avec échange de forces entre l'humain et le cobot, ou aux situations dans lesquelles le cobot est capable d'adapter sa propre cinématique aux gestes de l'opérateur humain sans qu'il y ait de contact physique entre eux.

La « collaboration » humain-machine décrite ici renvoie essentiellement aux adaptations réciproques entre la gestuelle humaine et la cinématique de la machine. Nous sommes loin de la vision de la collaboration mise en avant par certains fournisseurs, considérant les cobots comme de véritables « assistants personnels » ou « compagnons de travail », et loin également des définitions de la « collaboration » que l'on peut retrouver dans les sciences des organisations. Le terme collaboration y renvoie en effet à des relations stables, de long terme, caractérisées par des niveaux élevés d'interdépendance (Ciger, 2001 ; Gray, 1989 ; Keast et Mandell, 2014), qui impliquent une responsabilité partagée dans la manière de définir et d'atteindre les objectifs (Bronstein, 2003), une réflexion commune sur les modes de travail (*Ibid.*), ou encore un engagement collectif, voire un consensus pour changer les modes de fonctionnement. Au regard de ces caractéristiques, il semble que parler de collaboration humain-machine au sujet des cobots relève bien plus d'une dérive anthropomorphique que d'une réelle manière de travailler « ensemble ». Le terme « collaboratif » paraît ainsi abusif pour rendre compte d'une activité plus ou moins imbriquée entre un cobot doté d'un certain niveau d'autonomie technique et un opérateur humain. Dès lors, la perspective se déplace : il ne s'agit plus de savoir quelle est la nature de la collaboration entre l'humain et la machine, ni son niveau ; il s'agit de s'interroger sur ce que l'introduction des cobots peut changer dans les relations entre les différents acteurs du processus de production, notamment du point de vue de la relation entre les opérateurs et les prescripteurs des situations de travail.

De la « collaboration » à l'interrogation du rapport de prescription

Nous proposons d'analyser cette situation à l'aide du concept de rapport de prescription (Hatchuel, 1996 ; 2015), qui permet une analyse fine des évolutions « promises » par les cobots, non pas en se focalisant sur une improbable collaboration humain-cobot, mais en s'interrogeant sur la mesure dans laquelle une technologie dite collaborative est susceptible de modifier les espaces d'apprentissage respectifs des opérateurs et des prescripteurs.

L'hypothèse d'une évolution des espaces d'apprentissage

La robotique collaborative incite tout particulièrement à s'intéresser à l'évolution des espaces d'apprentissage respectifs des opérateurs qui travaillent avec les cobots au quotidien, et des acteurs qui sont en situation de concevoir les postes de travail mobilisant des cobots. Deux arguments soutiennent cet intérêt.

D'une part, il s'agit d'une technologie très récente et en cours de déploiement. Les vidéos de démonstration et les recherches applicatives sont nombreuses, mais son usage effectif dans l'industrie est encore méconnu. Il n'existe pas d'approche normative pour l'utilisation des cobots dans les ateliers, ni même encore de « bonnes pratiques » desquelles il faudrait s'inspirer. On peut donc faire l'hypothèse que cette technologie est dans une phase d'exploration des possibilités industrielles, qui ouvre un espace de co-apprentissage. Il est dès lors intéressant de vérifier empiriquement la portée concrète de cette technologie dans les entreprises, et d'analyser non plus son potentiel théorique mais ses usages effectifs.

D'autre part, la nature de cette technologie ouvre des perspectives pour davantage d'initiatives et d'autonomie sur le poste de travail. Partageant avec le cobot le même espace physique et intervenant dans le même processus de production, l'opérateur est potentiellement en situation d'interagir avec la technologie, pour des raisons de sécurité (éviter les risques d'accident), d'efficacité (adapter une programmation et des réglages en fonction des ordres de production et des aléas) ou d'amélioration (améliorer les usages de la technologie, voire en suggérer de nouveaux). De par ses caractéristiques propres (accessibilité, flexibilité, proximité), la cobotique ouvre de nouvelles possibilités d'interactions entre l'humain et la machine, redéfinissant potentiellement les échanges de savoirs entre les opérateurs et les concepteurs des situations de travail.

Ces deux arguments conduisent à penser que dans la phase d'introduction, mais aussi dans la phase de production courante, les cobots peuvent conduire à une évolution de la manière dont les savoirs des opérateurs et des concepteurs se combinent et interagissent, constituant potentiellement une nouvelle étape pour « l'économie de la robotique » (Roure et Postel-Vinay, 2012). Le concept de rapport de prescription devient alors tout indiqué pour analyser la portée des changements induits par l'utilisation de cobots.

Le déplacement des espaces d'apprentissage à l'aune du rapport de prescription

Dans l'approche par le rapport de prescription, la conception d'une situation de travail n'est pas un exercice solitaire et ne relève pas d'une dynamique de décision linéaire et descendante, aboutissant à demander à l'opérateur d'exécuter purement et simplement la prescription. Hatchuel (1996 ; 2015) considère que les opérateurs disposent ou développent par apprentissage des savoirs que ne possède pas le concepteur de la situation de travail. Plus la capacité des concepteurs à prescrire s'affaiblit, et plus l'opérateur disposera d'un espace d'autonomie relative, dans lequel il développera ses propres apprentissages du dispositif proposé par le concepteur.

Dans cette perspective, le concept de rapport de prescription permet ici une lecture particulièrement pertinente, en identifiant bien deux niveaux distincts d'apprentissage : celui du concepteur et celui de l'opérateur. Le rapport de prescription (Hatchuel, 1996, 2015) est défini comme le schéma générique de l'action collective dans une organisation. Il implique que différents apprentissages interagissent sans pour autant être symétriques. De fait, le rapport de prescription répond aux deux préalables suivants : « Que l'activité de B, appelé opérateur, doit être au moins partiellement prescrite par A que l'on appellera prescripteur. Que la conformité de B à cette prescription est acceptée par B comme principe de sa relation à A ou à d'autres acteurs de l'organisation (par exemple un dirigeant C) » (Hatchuel, 1996, p. 107)

Dans le cadre ainsi défini, le rapport de prescription renvoie donc à la tension cognitive et relationnelle entre les apprentissages respectifs des opérateurs et des prescripteurs, les deux devant produire les connaissances permettant d'atteindre leurs objectifs. En l'occurrence, les opérateurs doivent « inventer » un ensemble de prescriptions supplémentaires permettant de rendre compatibles la prescription initiale du concepteur, leurs aptitudes physiques et mentales, et le milieu composé de machines, d'objets et de processus (Hatchuel, 2015, p. 124). Le rapport de prescription est dit « fort » lorsqu'il est possible de définir précisément à la fois les éléments (connaissances, savoir-faire...) nécessaires à l'action et les relations de cause à effet utiles dans la situation de travail. Lorsque ce n'est pas le cas, le rapport de prescription est dit « faible ».

Une nouvelle perspective pour analyser l'usage des cobots dans les organisations

Dans les situations que nous étudions, les « opérateurs » correspondent aux opérateurs de production travaillant dans des contextes incorporant des cobots. Le terme « prescripteurs » renvoie aux acteurs (fournisseurs, intégrateurs, ingénieurs du bureau des méthodes, ingénieurs ou techniciens de maintenance...) qui proposent une organisation du travail et des procédures opératoires sur la base des connaissances qu'ils détiennent et de leurs objectifs. Nous ajoutons ici que, dans les situations que nous étudions, ce sont les déplacements du rapport de prescription qui nous intéressent plus particulièrement : en quoi l'usage

de technologies à fort potentiel collaboratif rend-il le rapport de prescription plus faible ou plus fort.

L'analyse des apprentissages croisés opérée à partir de la notion de rapport de prescription nous conduit à ne pas chercher à déterminer a priori l'effet potentiel des cobots sur l'évolution du rôle des opérateurs de production, mais à identifier, à partir des données existantes, les différentes classes de situations possibles. Pour ce faire, il s'agit d'interroger les matériaux empiriques à partir de différentes dimensions inhérentes à la notion de rapport de prescription :

- Quelles sont les implications de l'introduction d'un cobot sur l'apprentissage du prescripteur ?
- Quelles sont les implications de l'introduction d'un cobot sur l'apprentissage de l'opérateur ?
- Quelles sont les tensions sous-jacentes à l'articulation de ces deux formes d'apprentissage ?

Répondre à ces questions permettra ensuite d'avoir une première indication de ce que pourrait être l'évolution du rapport de prescription lors de l'introduction de cobots dans les ateliers.

Résultats d'une recherche qualitative sur les usages des cobots dans l'industrie

D'un point de vue empirique, notre démarche visant à mieux comprendre les implications possibles de l'usage des cobots en termes d'organisation du travail s'est appuyée sur une méthodologie qualitative de recueil de données auprès des fournisseurs des cobots, d'intégrateurs et d'entreprises déjà utilisatrices. Les données recueillies nous ont permis de faire un premier état des lieux sur les usages des cobots dans l'industrie.

Méthodologie

Notre recherche se base sur une méthodologie qualitative par entretien, et s'inscrit dans la tradition française de recherche sur le changement technologique avec l'adoption d'une vision compréhensive (Coron et Gilbert, 2022). Pour appréhender l'effet de l'utilisation des cobots sur le rapport de prescription, nous avons mené des entretiens semi directifs auprès des principaux fournisseurs de cobots sur le marché français, et de plusieurs intégrateurs⁽³⁾. Par souci de triangulation, cette approche du côté de l'offre a été complétée par une série d'entretiens dans des entreprises qui ont mis en place des cobots. Lorsque c'était possible, nous avons procédé à des observations des ateliers concernés ou *a minima* nous avons pu visionner des vidéos du fonctionnement des cobots en situation réelle.

Le déroulement et les objectifs de ces deux séries de collectes de données ne sont pas identiques. Les entretiens avec les fournisseurs et les intégrateurs ont porté sur leur définition des cobots, la genèse de la cobotique, le marché de la cobotique, les spécificités

⁽³⁾ Intégrateur : toute personne qui conçoit, fabrique ou assemble des systèmes robotisés pour un utilisateur.

du processus d'intégration des cobots et les perspectives de développement de cette technologie. Il s'agissait de mieux comprendre la technologie dans ses deux dimensions au sens de Coron et Gilbert (2022), c'est-à-dire à la fois ses caractéristiques propres et la diffusion de ses usages. Lors des entretiens avec des responsables de projets cobotiques dans des entreprises utilisatrices, nous avons suivi une trame chronologique : initiative, déroulement et bilan du projet. Retracer l'historique des projets d'implantation de cobots nous a permis de cerner les attentes initiales des entreprises et leurs évolutions jusqu'au fonctionnement en utilisation courante. L'objectif était d'explorer à partir de cas concrets la réalité des évolutions du rapport de prescription.

Compte tenu du contexte sanitaire, les entretiens avec les fabricants de cobot ont été menés par visioconférence ainsi que trois des entretiens avec les responsables de projet cobot en entreprise. Les sept autres entretiens ont été menés en face-à-face.

Cinq entretiens avec des responsables de projets d'utilisation de cobots en entreprise ont pu déboucher sur une observation sur site, et un entretien avec un fabricant a donné lieu à une démonstration et essai de cobot.

Quels premiers usages des cobots dans l'industrie ?

Il ressort de nos entretiens que l'industrie de la robotique collaborative est actuellement à un tournant. La diffusion des cobots dans l'industrie n'est pas massive, mais elle commence à être significative. Si nous n'avons pu obtenir de chiffres parfaitement sûrs, nous avons pu constater une forme de consensus pour dire que les robots collaboratifs représenteraient de l'ordre de 5 % des robots vendus en France ces dernières années, avec une tendance à l'accélération. Cet ordre de grandeur correspond à celui diffusé au niveau mondial par la fédération internationale de robotique, et est corroboré par les revues de littérature récentes

Type d'interlocuteur	Fabricants de cobots	Intégrateurs	Responsables projet cobot en entreprise	Total
Nombre d'entretiens	8	2	8	18

Tableau 1 : Nombre et répartition des entretiens. Pour garantir l'anonymat de nos interlocuteurs, les fabricants et les intégrateurs seront tous désignés comme : un fabricant de cobot. Les entreprises utilisatrices de cobots seront désignées par leur secteur d'appartenance : Automobile, Équipementier1, Équipementier2, Aéronautique, Soudure, Découpage, Verrerie et Échangeur).

	Activité	Utilisation des cobots	État du projet
Automobile	Assemblage final d'automobiles	Vissage	En fonctionnement industriel courant
Équipementier1	Fabrication de sous-ensembles pour l'automobile	Montage : port de pièces lourdes	Ne fonctionne plus : problème de fiabilité
Équipementier2	Fabrication de sous-ensembles pour l'automobile	Vissage	En fonctionnement industriel courant
Aéronautique	Sous-traitance de pièces élémentaires pour des constructeurs d'avions	Rivetage Contrôle qualité	En fonctionnement industriel courant
Métallurgie	Tôlerie chaudronnerie pour fabrication de pièces en petites séries	Soudure Ponçage	En fonctionnement industriel courant pour la soudure et en mise au point pour le ponçage
Décolletage	Usinage en grandes séries	Chargement de machine	Test non concluant : temps de cycle trop long
Verrerie	Verrerie d'art	Manipulations de charge lourde	Projet en cours d'étude
Échangeur	Fabrication d'échangeurs thermiques de grande taille	Soudure sur des ensembles de grande taille	En fonctionnement industriel

Tableau 2 : Les entreprises utilisant des cobots.

(Liu *et al.*, 2022). Les robots collaboratifs ne sont plus des prototypes de laboratoire. Ils sont couramment utilisés dans les usines de toutes tailles et tous secteurs, mais l'adoption de la cobotique est loin d'être généralisée. Beaucoup d'entreprises sont en veille sur cette technologie, cherchant surtout à ne pas passer à côté d'une éventuelle rupture technologique.

L'utilisation des cobots par les industriels est donc pour l'instant tâtonnante, et si certains acteurs témoignent de leur scepticisme en pointant les limites objectives des cobots, d'autres font le pari d'une technologie disruptive. Dans cette seconde perspective, les potentialités offertes par les cobots seraient effectivement de nature à entraîner des mutations des formes de travail dans les ateliers de production, comme certaines expériences sont déjà en mesure de l'illustrer.

Une période de tâtonnement

Les motivations pour acquérir et installer des cobots sont très variées. L'entrée dans cette technologie se fait souvent par la question de la santé au travail, les cobots permettant de diminuer les gestes répétitifs sans que cela ne nécessite des processus d'automatisation coûteux et complexes. L'entreprise Verrerie par exemple a envisagé un cobot, après avoir successivement essayé un exosquelette et un bras manipulateur, pour soulager les opérateurs lors du port des vases dans les opérations de polissage. L'achat ou le test de cobot peut également relever d'un effet de mode :

« Il y a un an ou deux ans, [...] il y avait l'effet de mode : "Je veux un cobot" » (Un fabricant de cobots) ;
 « On a bien sûr aussi l'effet de mode, l'effet un peu *fashion* dans les salons industriels, il y avait des robots qui distribuaient des glaces aux enfants, etc. » (Un fabricant de cobots).

Cet effet de mode a sans doute été à la base d'un engouement excessif quant aux possibilités d'utilisation des cobots. Nos interlocuteurs nous ont fait part d'un certain nombre de réussites industrielles mais également d'échecs dans l'implantation des cobots. Dans l'entreprise Équipementier¹, les cobots ont été mis en place et l'initiateur du projet en tire un bilan plutôt positif, mais sur certains postes, les cobots ont été mis de côté et ne sont plus utilisés. Le pilote du projet parle d'une « technologie pas assez mature mais prometteuse ». Un certain nombre de grandes entreprises ont acheté des cobots parce que « c'était l'avenir », sans toujours comprendre les limites de cette technologie :

« Et là on est en train de voir une sorte de phase d'attente et de phase de : "Bon, vers où on va maintenant ?" » (Un fabricant de cobots).

Les limites objectivement rencontrées par les cobots jouent un rôle significatif dans cet état d'expectative.

Des caractéristiques spécifiques à prendre en compte

Il n'y a pas de consensus sur l'étendue des possibilités d'usage des cobots. Elle apparaît vaste pour les *leaders* du marché, et particulièrement pour les "*pure players*", et semble beaucoup plus limitée pour certains roboticiens historiques, assez critiques envers la place prise par cette technologie.

Si l'importance qui leur est donnée varie fortement, tous reconnaissent les mêmes limites aux cobots. Il y a tout d'abord une limite liée à la charge utile. Un cobot ne peut pas porter des pièces très lourdes (jusqu'à une vingtaine de kg seulement), à la fois parce qu'il est relativement léger et de petite taille et parce que des objets lourds au bout du bras créent un risque pour les opérateurs à proximité. Les cobots ont également une vitesse de travail limitée, qui permet de réduire à la fois le risque de collision avec un opérateur et les conséquences d'un éventuel choc. La productivité des cobots est donc beaucoup plus faible que celle des robots industriels classiques, et leur usage n'est souvent pas rentable dans des productions à grande échelle, ni s'ils doivent s'insérer dans des dispositifs travaillant avec des robots traditionnels aux rythmes beaucoup plus élevés. Il semble également que les cobots connaissent des limites en termes de fiabilité, en raison même de leur plus grande légèreté et de leur polyvalence. Enfin, la sécurité des opérateurs, normalement intrinsèque à la conception des cobots, peut être remise en cause par l'outil utilisé :

« Le cobot est sûr s'il transporte des madeleines, s'il transporte des lames à rasoir, il est dangereux » (Un fabricant de cobots).

Ce risque a obligé certaines entreprises à revenir à des barrières virtuelles ou physiques de protection :

« Leurs robots collaboratifs, ils les mettent souvent dans des cages, parce que, finalement avec ce contact qui génère l'arrêt du robot, on ne garantit pas la sécurité à 100 % de l'opérateur, et donc ils mettent des cages quand même. Donc ils paient un robot collaboratif pour le mettre en cage » (Un fabricant de cobots).

Le fait que certaines entreprises utilisatrices soient obligées de rompre le « premier commandement de la cobotique » en remettant les cobots en cage pourrait laisser assez perplexe sur la portée de la robotique collaborative. Peu rapides, incapables de porter des charges lourdes, de fiabilité sujette à caution et finalement pas si sûrs, les cobots semblent donc ne pas pouvoir concurrencer les robots classiques. C'est du moins le cas s'ils sont jugés selon des critères traditionnels de la robotique. Or, pour les défenseurs de cette technologie, c'est sur la base de nouveaux usages, et donc sur d'autres critères, que le potentiel de cette technologie doit être évalué.

Des prémices d'usages disruptifs

Toutes proportions gardées, il pourrait y avoir certaines analogies avec ce qui a pu se passer dans d'autres secteurs d'activité, comme dans l'informatique par exemple, dans lesquels des technologies ou des concepts en rupture ont pu rebattre les cartes. C'est en tout cas ce que l'on peut retenir de la position de la société Universal Robots (UR), qui défend avec beaucoup d'ardeur le concept du cobot « collègue de travail ». Lors de nos entretiens, tous les fabricants ou intégrateurs de cobots ont fait référence, implicitement ou explicitement, à Universal Robot, *leader* du marché de la robotique collaborative. Cette entreprise danoise pionnière du secteur (*cf.* Encadré 1) est l'un des rares fabricants d'importance n'étant pas issu originellement de la robotique. Elle a conçu une

Encadré 1 : Universal Robots : le « modèle disruptif » de la robotique collaborative

Universal Robots a été créé en 2005 à Odense au Danemark par trois docteurs en robotique de l'Université, qui ont, dès le départ, l'idée d'un petit robot adapté aux PME. Il s'agit donc de créer un produit léger, flexible et simple d'utilisation. « La définition absolue, c'est un robot industriel accessible, c'est comme ça qu'on le voit » (entretien avec un responsable d'UR France). L'entreprise a été initialement financée par Syddansk Innovation, l'un des plus grands incubateurs d'innovation du Danemark et par le fonds d'investissement de l'État danois.

L'entreprise est un *pure player* qui développe et produit uniquement des cobots. Elle mise dès le départ sur la facilité d'utilisation, et le logiciel du cobot est mis au point bien avant le bras manipulateur lui-même. La programmation, très simple, se fait *via* une tablette, et l'UR Academy permet de l'apprendre en ligne et en autonomie. Le premier cobot est commercialisé en 2008.

L'entreprise a fait le choix de se concentrer sur le cobot lui-même, et les accessoires (pinces, caméra, applications complémentaires...) sont proposés sur une plateforme spécifique (UR + ecosystem) par des partenaires certifiés. Tous ces accessoires sont conçus comme des solutions permettant de personnaliser les cobots et directement adaptables (dans l'esprit *plug and play*). En retour, les cobots UR sont totalement standardisés, et la gamme ne comporte que cinq modèles ne différant que par leur capacité de charge utile.

L'entreprise est actuellement *leader* du marché de la cobotique, avec environ 50 % de parts de marché dans un segment en forte croissance qui représente près de 5 % du marché global de la robotique. L'entreprise a été rachetée en 2015 pour 285 millions de dollars par le fournisseur américain d'équipements d'automatisation Teradyne. Elle compte maintenant 740 salariés, essentiellement au Danemark.

Sources : entretien avec le directeur commercial Universal Robots France, articles dans le *Financial Times* et l'*Usine nouvelle*, site Internet de l'entreprise.

gamme de cobots légers et un mode d'utilisation qui fait référence pour les autres constructeurs, qui s'en inspirent, s'en démarquent ou le critiquent. Si le concept de cobot émerge dans des publications scientifiques dès la fin des années 1990, les débats actuels autour de leur usage sont fortement marqués par le modèle proposé par Universal Robots.

Dans cette nouvelle perspective, qui est également partagée ou explorée à des degrés divers par les autres acteurs du secteur, la sécurité de fonctionnement « hors cage » est une condition nécessaire, mais les leviers de performance des cobots reposent sur d'autres caractéristiques.

La première caractéristique relève de la facilité de programmation de ces robots légers. Les cobots sont beaucoup plus faciles à programmer que les robots traditionnels.

« Nos robots, qui avaient avant un langage de programmation on va dire professionnel, auront maintenant une interface où même quelqu'un qui a fait zéro étude en informatique sera capable de programmer » (Un fabricant de cobots).

Certains cobots sont même dotés de capacité à « apprendre », par simple déplacement du bras du cobot qui peut enregistrer les mouvements et les reproduire.

Ensuite, les cobots sont légers et donc faciles à déplacer et à redéployer. Comme ils intègrent leurs propres systèmes de sécurité, ils peuvent être installés sans aucun travail de maçonnerie ou de ferronnerie préalable.

« Les robots collaboratifs, c'est par exemple des robots qui marchent sur du 220 volts et qui n'auront pas besoin d'une hauteur sous plafond importante, souvent on peut les fixer à un bureau » (Un fabricant de cobots).

Certains cobots sont même mobiles :

« Le système est monté sur un pied et le cobot est véritablement considéré comme un opérateur. C'est-à-dire qu'on peut le prendre, le déplacer d'un poste de travail à un autre très facilement » (Un fabricant de cobots).

Des systèmes simplifiés de recalibrage permettent également de repositionner rapidement le robot dans l'espace après un déplacement. Cette facilité d'utilisation permet d'envisager des séries de petite taille pour lesquelles une robotisation classique ne peut pas être rentable :

« Dès qu'on va se mettre à avoir un petit peu de récurrences, même si c'est dix pièces, mais qu'on les fait toutes les semaines, une fois par semaine, on se garde les recettes et puis en avant » (Un fabricant de cobots).

Les bras des cobots peuvent être utilisés dans une multitude d'applications : chargement de machine, prise et déplacement de pièce, vissage, contrôle qualité à l'aide de caméra, conditionnement, confection de pizzas... Les vidéos de démonstration sont nombreuses sur le *web*. Les cobots sont de ce fait utilisés dans une grande variété de secteurs d'activité : cosmétique, aéronautique, métallurgie... Cette flexibilité d'usage se double d'une flexibilité dans l'espace et dans le temps. Le cobot peut être utilisé successivement pour différents projets dans l'entreprise :

« Demain, vous le sortez de là, vous le mettez ailleurs et je dirais, il va aller faire un autre *process* sur un autre poste de travail » (Un fabricant de cobots).

Une illustration de cet usage disruptif : le cobot soudeur

Le cobot soudeur est le fruit d'un partenariat entre UR qui apporte le cobot, une entreprise française ayant développé et breveté une technologie d'imitation du geste humain par le cobot, et la filiale française d'une entreprise autrichienne qui fournit l'appareil de soudage, la cartérisation et l'intégration homologuée.

Le principe de fonctionnement repose sur la capacité d'imitation par le cobot du geste humain. Le soudeur va souder la première pièce avec la torche du cobot, et celui-ci va enregistrer de façon totalement transparente les gestes du soudeur. Il suffit ensuite de placer les nouvelles pièces à assembler sur l'établi de soudure pour que le cobot puisse répéter le geste du soudeur à l'identique (orientation de la torche, vitesse, déplacement hors soudure...) autant de fois que nécessaire. L'établi permet de souder plusieurs pièces (identiques ou différentes) lors du même passage. Une fois le geste du soudeur enregistré, n'importe quel salarié peut charger et décharger les pièces.

Le cobot en tant que tel respecte les normes européennes de sécurité, mais, muni d'une torche à souder, il devient dangereux. Le choix a donc été fait de l'associer avec un ensemble de protections physiques (parois en plexi, rideaux anti-UV et barrières immatérielles) qui isolent le cobot lorsqu'il fonctionne. Il ne s'agit donc pas à proprement parler d'une cage, mais d'une cellule fermée sur trois côtés, et le cobot ne partage pas son espace de travail avec les salariés quand il répète la soudure enregistrée.

Le périmètre d'usage de cette application cobotique connaît certaines limites. Par exemple, les pièces ne doivent pas être trop grandes, car elles doivent tenir sur la table de soudure. Elles nécessitent une répétition de la soudure à l'identique. Les soudures sur des produits de grandes tailles ou produits à l'unité devront toujours être réalisées par un opérateur. Inversement, si la répétition à grande échelle et la vitesse d'exécution sont centrales, les robots de soudure traditionnels gardent un net avantage, car le chargement / déchargement peut être automatisé et inclus au temps de cycle. Cette application cobotique est donc adaptée à des petites séries, plutôt dans des PME.

Cet exemple récent (la commercialisation date de janvier 2021) nous semble particulièrement intéressant. L'application cobotique de soudure ne remplit pas

le seul critère qui fait l'unanimité des fabricants comme des différentes typologies : le partage d'un espace de travail. Le cobot n'est donc pas utilisé comme une application collaborative robotisée au sens propre du terme.

« On est dans le stade zéro en termes de collaborativité » (Métallurgie).

Pourtant, on peut considérer que le degré d'interaction humain-machine est particulièrement élevé lors de l'apprentissage du geste de soudure par le cobot qui réplique celui du soudeur. Ce dernier a également un rôle important dans l'organisation du travail, car il décide de la répartition entre les soudures qu'il continue de faire et celles qui seront opérées par le cobot, en fonction des caractéristiques des soudures, de la dimension des pièces à souder ou de la taille des séries. Le soudeur doit nécessairement faire les premières pièces d'une série, mais se déleste de la répétition du geste sur le cobot.

Cobots et organisation du travail dans l'industrie : continuités et ruptures

Notre recherche nous permet de souligner la grande diversité des usages possibles de la technologie cobotique. Nous en discuterons les implications en termes d'évolution du rapport de prescription, puis nous resituerons ces évolutions au regard du contexte plus large de l'industrie du futur.

Des logiques d'usages de différentes natures

Nos entretiens et observations nous permettent de souligner la grande diversité des usages possibles de la technologie cobotique. Loin d'un mode d'emploi unique, il ressort au contraire que les cobots peuvent s'insérer dans les processus existants sans les modifier, mais que tirer parti de leurs spécificités suppose une modification importante de l'organisation du travail. Partant de nos données empiriques, nous proposons donc une typologie (cf. Tableau 3) qui ne se focalise pas uniquement sur la tâche effectuée à un moment, mais prend en compte l'activité globale du couple opérateur-cobot et son intégration dans un contexte organisationnel. En ce sens, la typologie proposée émerge de l'analyse des données recueillies, et ne peut être assimilée aux typologies existantes issues de la littérature robotique et qui sont centrées exclusivement sur l'interaction homme-machine. Cette typologie « classificatoire » (Dumez, 2016) comprend quatre catégories. Les trois premières s'appuient sur le type d'interaction entre opérateurs et cobot. La quatrième introduit la variabilité dans le temps et dans l'espace des configurations productives. Notons que si à ce stade nous ne l'avons pas observé, on peut penser qu'à terme plusieurs types d'utilisation des cobots pourraient coexister au sein de la même entreprise.

La mise en œuvre de cobot peut répondre à une logique d'automatisation poussée d'ateliers déjà fortement robotisés. Dans ce cas, le potentiel de flexibilité du cobot n'est pas utilisé et c'est sa capacité à travailler « hors de la cage » qui est mobilisée. Le cobot effectue des tâches répétitives à la place d'un opérateur dans

Type d'utilisation des cobots	Logique correspondante	Cas-types
Coexistence	Le cobot prend en charge un segment du processus de production et partage le même espace de travail que l'opérateur. Il n'y a pas d'interaction entre le cobot et l'opérateur. La situation à laquelle on aboutit est une configuration stable.	Automobile Aéronautique (contrôle qualité)
Activité simultanée	L'opérateur humain et le cobot travaillent au même moment, dans un même espace et sur un même objet. La tâche en elle-même est conçue comme un ensemble d'opérations réalisées de manière simultanée ou enchaînée par le cobot et l'opérateur humain. Une fois définie, la situation de travail reste stabilisée pour une certaine durée.	Équipementier1 Aéronautique (rivetage)
Activité alternée	Les opérateurs ont un cobot à leur disposition, et peuvent l'utiliser pour se délester de tâches pénibles, répétitives, ou que le cobot peut prendre en charge efficacement. Par séquences, les opérateurs programment le cobot, puis le laissent opérer sous leur responsabilité, tout en vaquant à leurs propres tâches et activités.	Échangeur Métallurgie pour la soudure
Configuration flexible	Des cobots sont à disposition sur le site, et il existe une expertise d'utilisation, individuelle et collective, suffisante, pour permettre des usages variés des cobots en fonction des priorités (carnet de commandes, absentéisme, spécifications produit, demandes clients, etc.). L'expertise accumulée sur l'usage des cobots permet de découvrir régulièrement de nouvelles possibilités d'application.	Équipementier2 dans la phase de test Métallurgie pour le ponçage

Tableau 3 : Typologie des utilisations possibles des cobots.

le même espace de travail, mais sans qu'il y ait d'interaction entre eux. Nous reprenons le terme de coexistence (Hentout *et al.*, 2019) pour qualifier cet usage spécifique des cobots. Dans l'entreprise Automobile, la petite taille des cobots a permis de les utiliser sur une chaîne de montage pour visser une pièce sous le véhicule. Un gabarit sur lequel sont montés les cobots (deux par station) est acheminé, puis verrouillé sur le véhicule. Une fois en place, les deux cobots démarrent leurs cycles de vissage, et les deux opérateurs réalisent leurs opérations de leur côté en toute sécurité : les cobots sont préréglés pour effectuer toujours le même cycle sur de grandes séries. Ils opèrent dans des zones contraignantes (sous le véhicule) et délestent les opérateurs d'une tâche génératrice de TMS. L'organisation globale de l'atelier reste inchangée.

L'activité simultanée correspond à une utilisation du cobot pour un travail avec l'opérateur sur la même pièce. Dans l'entreprise Équipementier1, le cobot porte et positionne la colonne de direction dans un carter avec précision et à vitesse lente. Cela soulage l'opérateur en évitant le port de charges et des chocs qui pourraient endommager le matériel lors de l'assemblage. L'opérateur apporte de la valeur ajoutée avec d'autres opérations de montage en simultané sur la même pièce. Dans cette configuration, l'organisation du travail reste inchangée, mais les opérateurs interagissent avec les cobots et leurs gestes doivent être coordonnés.

L'activité alternée correspond à une situation où le cobot n'interagit pas avec l'opérateur lors de l'exécution de la tâche, et peut même travailler dans un espace différent. Dans ce cas, c'est sa facilité d'utilisation notamment en termes de programmation qui est mobilisée. Dans l'entreprise Échangeur, les cobots sont utilisés pour faire des soudures sur des échangeurs thermiques de grande taille. Le cobot est géré par des soudeurs, « car il faut quand même avoir l'œil ». L'objectif serait d'avoir un soudeur pour deux cobots. Le soudeur apprend le geste au cobot et ensuite le laisse travailler de façon autonome tout en surveillant la qualité de la soudure. Il peut effectuer des soudures à un autre endroit sur le même dispositif. C'est également le cas, mais avec une logique assez différente, de l'application de soudage développée plus haut.

Enfin, la configuration flexible cherche à tirer le meilleur parti de la flexibilité des cobots. Elle est très ouverte, car l'usage des cobots n'est pas prédéfini. Ceux-ci peuvent être utilisés dans une grande variété d'activités et de tâches, pour des durées et des objectifs variables en fonction des besoins rencontrés dans l'entreprise. Cette configuration suppose une capacité des opérateurs à opérer des choix et à inventer des modes d'emploi innovants des cobots. Cette configuration est probablement aujourd'hui encore assez peu fréquente. Cependant, la variété des usages qui ont illustré nos entretiens et l'utilisation sur trois activités très différentes du même cobot dans l'entreprise

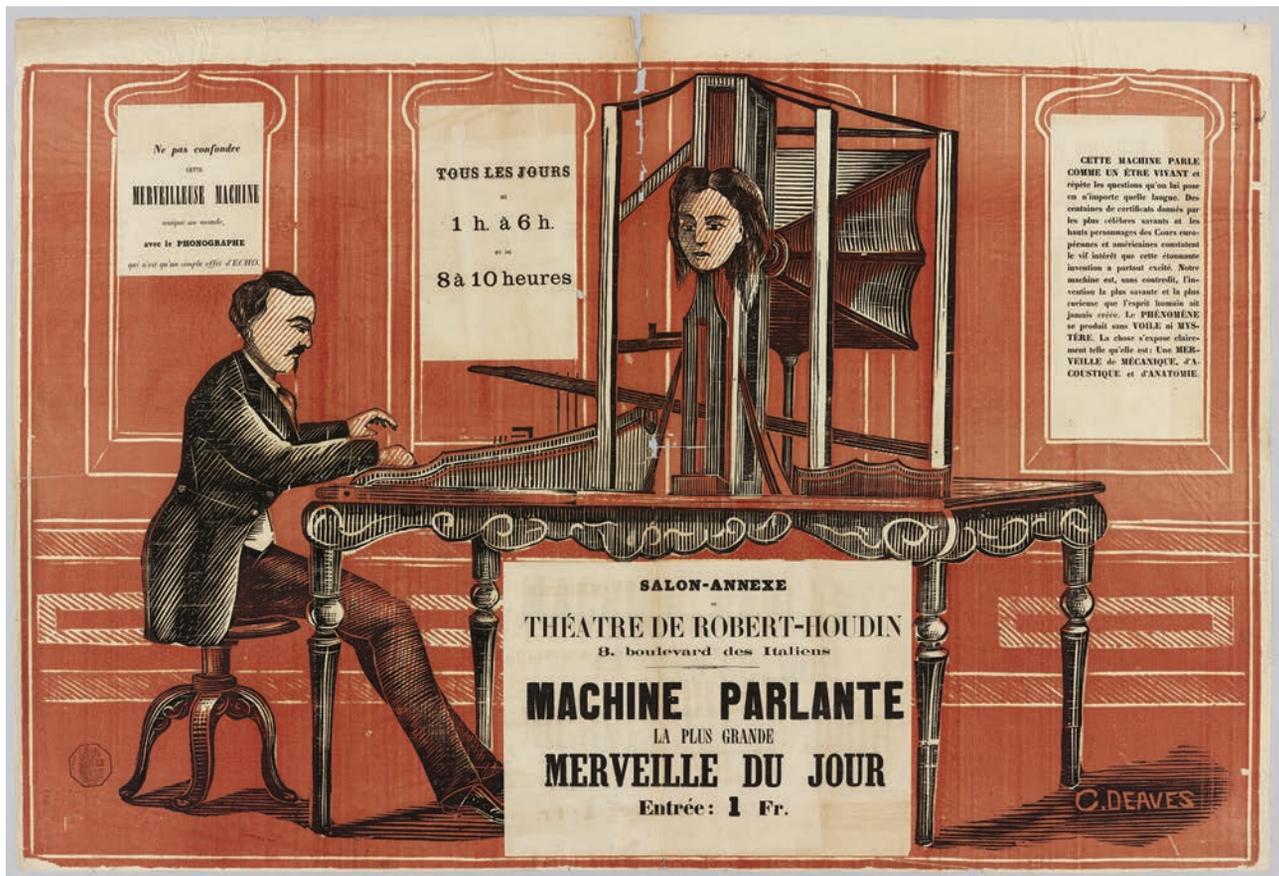


Photo © Paris Musées / Musée Carnavalet – Histoire de Paris

C. DEAVES, dessinateur, SALON-ANNEXE/ THEATRE DE ROBERT-HOUDIN/ 8, boulevard des Italiens/ MACHINE PARLANTE/ LA PLUS GRANDE/ MERVEILLE DU JOUR, estampe, entre 1880 et 1890. Paris, Musée Carnavalet, Histoire de Paris.

« L'activité simultanée est la configuration qui pose le plus de difficultés techniques et de sécurité aux ingénieurs, comme aux équipes d'intégrateurs. Opérateurs et cobots travaillant de concert à une même tâche, les interactions physiques et les risques à prendre en compte sont nombreux et complexes. C'est sur cette configuration que porte l'essentiel des recherches en cobotique. »

Équipementier¹ lors de la phase de test attestent de sa faisabilité. De même à Métallurgie, après avoir intégré l'application cobotique de soudure, un technicien sans formation initiale en robotique est en train de mettre au point une utilisation de cobot pour une activité de ponçage.

« Aujourd'hui, on a les cobots, on a une meule, on peut mettre une meule sur un cobot, on va tester, et puis on verra ce que ça donne, tout simplement » (Métallurgie).

Une fois la technologie intégrée ainsi que ses limites et ses avantages compris, elle devient assez facilement utilisable pour des activités différentes. Dans cette configuration, le même cobot, outillé différemment, peut être ainsi redéployé en fonction des besoins spécifiques de l'entreprise.

Une évolution contrastée du rapport de prescription ...

Les quatre types d'utilisation des cobots mis en avant par notre recherche dessinent des évolutions différentes des espaces d'apprentissage et du rapport de prescription.

Dans le cas de la coexistence, l'évolution du rapport de prescription est limitée et temporaire. Il s'agit avant tout de pousser plus loin l'automatisation, mais

la logique reste celle d'équipements statiques qui fonctionnent dans le cadre d'une production en grande série. Les cobots interviennent là où une robotisation classique n'est pas possible, mais ils ne remettent pas en question l'organisation du travail. Lors de la phase de mise en œuvre, l'expertise des opérateurs peut être sollicitée, parce qu'ils vont travailler dans le même espace que les cobots. Une fois l'organisation du travail rodée, le rapport de prescription reste fort. En termes d'apprentissage, il faut que les équipes techniques se forment à la technologie cobotique, mais pour ce qui concerne les opérateurs, la question n'est abordée que sous l'angle de la sécurité et de l'acceptation des cobots.

L'activité simultanée est la configuration qui pose le plus de difficultés techniques et de sécurité aux ingénieurs, comme aux équipes d'intégrateurs. Opérateurs et cobots travaillant de concert à une même tâche, les interactions physiques et les risques à prendre en compte sont nombreux et complexes. C'est sur cette configuration que porte l'essentiel des recherches en cobotique. Mais, outre le fait que cette configuration est pour l'instant assez rare dans l'industrie, elle n'implique pas une évolution forte du rapport de prescription. La complexité des interactions entre gestes humains et déplacement du cobot suppose une étude préalable par le service des méthodes.

Les opérateurs doivent apprendre à travailler avec un cobot, mais, une fois la cinématique mise au point, elle est difficilement modifiable sans une étude technique et de sécurité assez lourde.

Paradoxalement, l'activité alternée, si elle n'utilise pas pleinement l'une des caractéristiques centrales de la cobotique (le partage d'un même espace de travail), suppose une forte évolution du rapport de prescription. Pour tirer parti du potentiel du cobot dans ces situations, les opérateurs doivent être à même, d'une part, de programmer les cobots ou d'adapter des programmes existants, et, d'autre part, de choisir les moments d'utilisation du cobot et réorganiser leur mode de travail pour optimiser ces moments d'usage. Ainsi, dans l'utilisation de l'application de soudure, c'est le soudeur qui apprend le geste au cobot, et c'est également lui qui va choisir quelles pièces ou parties de pièces seront faites avec le cobot. Cela l'oblige notamment à réfléchir différemment, pour chaque montage, à l'ordre des opérations de soudure le plus efficace en arbitrant entre soudure manuelle et soudure par le cobot. La prescription, dans ce cas, est forcément limitée, et l'opérateur ne peut se contenter de suivre des gammes préétablies. L'utilisation du cobot dans cette configuration suppose à la fois un appui sur les compétences traditionnelles de l'opérateur et l'apprentissage ou le renforcement de compétences spécifiques (base de programmation, capacité à réorganiser le travail...).

La configuration flexible est celle dans laquelle le rapport de prescription évolue le plus fortement. L'objectif dans ce cas est de tirer parti de la facilité d'utilisation des cobots (accessibilité de la programmation, changements d'outil rapide et grande diversité des outils possibles, déplacement et installation simplifiés...), pour en faire des machines non dédiées dont les usages changent et s'adaptent aux besoins de la production. Cette flexibilité, tant spatiale que temporelle, n'a d'intérêt que dans sa capacité adaptative, et ne peut faire l'objet que de prescription très générale. La place des opérateurs et de leurs apprentissages dans cette flexibilité est nécessairement importante puisqu'ils doivent réinventer en permanence le mode d'emploi des cobots. Cependant, cette configuration n'a pas pour seule conséquence un accroissement des apprentissages nécessaires pour les opérateurs.

Pour être efficace, cette réinvention doit se faire en collaboration avec les autres services (maintenance, méthode, planification...) et aboutir à des procédures qui, sans prescrire étroitement, permettront de capitaliser les apprentissages de l'usage de la cobotique. Dans cette dernière configuration, l'apprentissage collectif devient central, et la performance reposera sans doute sur la capacité à faire émerger des routines organisationnelles flexibles (Feldman, 2015 ; Feldman et Pentland, 2003).

... à resituer dans le cadre plus large de l'industrie du futur ?

On le voit, les effets de transformation du rapport de prescription portés par la cobotique ne sont pas univoques, et la portée des changements en cours n'est pas encore déterminée. S'agissant d'une technologie émergente, ce ne sont pas seulement les progrès de la cobotique en tant que telle qui sont déterminants, mais la façon dont les entreprises vont en faire usage. De ce point de vue, trois défis nous semblent importants pour envisager la place des cobots dans l'usine du futur. Nous envisagerons donc successivement le lien avec les autres technologies, la place spécifique des PME et enfin le nécessaire changement du paradigme classique de la robotique.

L'évolution du rapport de prescription doit tout d'abord être replacée dans le cadre plus vaste des technologies qui composent l'industrie 4.0. Si ce terme a un sens, c'est bien parce qu'il concentre un ensemble de changements technologiques et organisationnels, plus ou moins cohérents, qui dessinent une révolution dans le mode de fonctionnement des entreprises industrielles. Notre recherche s'est intéressée à la cobotique qui n'est pas la technologie centrale étudiée dans les publications scientifiques sur ce domaine (Muhuri *et al.*, 2019). Appréhender son usage dans l'industrie suppose de comprendre son lien avec d'autres technologies et notamment le numérique, « dénominateur commun de cette transformation » (Tézenas du Montcel et Durand, 2020, p. 370). La numérisation croissante des usines peut avoir un effet ambivalent sur le type d'utilisation des cobots. D'un côté, le recours à l'intelligence artificielle et la simplicité croissante des interfaces, voire la capacité

Type d'utilisation des cobots	Évolution des apprentissages	Évolution du rapport de prescription
Coexistence	Apprentissages concentrés sur les équipes techniques	Faible
Simultanée	Apprentissage limité pour les opérateurs	Modérée
Alternée	Apprentissage nécessaire de l'opérateur	Forte
Configuration flexible	Apprentissage collectif	Très forte

Tableau 4 : Types d'utilisation des cobots et évolution du rapport de prescription.

à programmer par apprentissage de gestes, laissent entrevoir des possibilités croissantes et multiples d'usages des cobots, et peuvent aider au développement de configuration flexible. D'un autre côté, la capacité des cobots à intégrer des « systèmes cyber-physiques », c'est-à-dire des systèmes très intégrés dans lesquels l'informatique contrôle directement les outils de production, n'est pas évidente à ce stade. Si cette intégration est possible, on peut penser que c'est la capacité à travailler « hors de la cage » et non les éléments de flexibilité qui seront alors fondamentaux, orientant vers une coexistence qui modifie peu le rapport de prescription. Autre technologie phare de l'industrie du futur, la fabrication additive qui doit permettre le développement d'une « personnalisation de masse » (Tézenas du Montcel et Durand, 2020) semble *a priori* très congruente avec la cobotique. En effet, pour cette technologie, « les échelles de production efficaces sont inférieures à celles des productions soustractives ou par formage » (Frigant, 2020), et les cobots semblent des compléments pertinents pour les imprimantes 3D. Cela pourrait être particulièrement le cas concernant la fabrication directe et la fabrication à domicile, qui semblent être les utilisations les plus disruptives de cette technologie (Rayna et Striukova, 2016). Le pont entre ces deux technologies reste en grande partie à construire, et dans cette optique, c'est la configuration flexible qui semble la plus prometteuse.

Deuxième défi, les technologies typiques de l'industrie du futur et notamment la robotique sont essentiellement utilisées par les grandes sociétés (Boudrot, 2021), et les PME qui ont tenté d'implémenter des technologies de l'usine du futur l'ont fait dans une optique de baisse des coûts et sans réelle transformation de leur mode de fonctionnement (Moeuf *et al.*, 2018). La cobotique plus adaptée aux petites séries pourrait bien être une clé de l'industrie du futur dans les PME. En effet, les relatives facilitées de programmation (apprentissage par le cobot du geste du soudeur par exemple), leur capacité à être redéployés vers différents usages successifs, ou encore le coût d'acquisition et de maintenance plus faible que dans la robotique classique, ouvrent assez largement le champ des PME industrielles comme domaine d'application potentiel des cobots.

Enfin, technologie disruptive, les cobots ne peuvent *a priori* développer leur potentiel maximal que si le paradigme classique de la robotique change, et si la conception de la performance prend davantage en compte la flexibilité, comme un élément tout aussi central que la productivité. Dès lors, c'est probablement le processus même de conception des systèmes de production qu'il faudrait réexaminer, en intégrant plus de capacité à évoluer à la fois de manière continue et de manière plus inclusive du point de vue des acteurs potentiellement contributifs.

Conclusion

Simple gadget, outil efficace pour pousser plus loin l'automatisation des tâches sans changer l'organisation du travail ou nouveau paradigme de la robotique central dans l'usine du futur, la robotique collaborative a une influence encore en devenir sur l'organisation du travail dans l'industrie. Le rapport de prescription permet une approche nuancée de l'effet de l'introduction des cobots dans l'industrie. Si cette technologie peut être la source d'évolutions importantes du rapport de prescription, et donc d'un changement de paradigme concernant la place relative des savoirs dans les ateliers, elle peut aussi n'être qu'une prolongation d'un mode d'organisation néo-taylorien qui est loin d'avoir disparu. Il est probable que les quatre configurations mises à jour dans cette recherche exploratoire et les évolutions du rapport de prescription qu'elles impliquent seront présentes à des degrés variables dans les usines françaises. La question de l'importance relative de ces configurations ne pourra être traitée par des recherches quantitatives que quand cette technologie sera arrivée à maturité. Nos premiers résultats pourraient être prolongés par des études de cas approfondies, dans des entreprises qui utilisent des cobots permettant de mieux cerner les facteurs favorisant la mise en œuvre de chacune des configurations d'utilisation des cobots.

Références bibliographiques

- AKELLA P., PESHKIN M., COLGATE E., WANNASUPHOPRASIT W., NAGESH N., WELLS J., HOLLAND S., PEARSON T. & PEACOCK B. (1999), "Cobots for the automobile assembly line", paper presented at the *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*.
- ANDRÉ J.-C. (2019), *Industrie 4.0 : paradoxes et conflits*, ISTE Group.
- BAUER W., BENDER M., BRAUN M., RALLY P. & SCHOLTZ O. (2016), "Lightweight robots in manual assembly - best to start simply! Examining companies' initial experiences with lightweight robots", Fraunhofer Institute for Industrial Engineering IAO.
- BENNIS C. M. (2021), *L'ambidextrie des opérateurs dans l'usine digitalisée*, thèse de doctorat en Sciences de Gestion et Management de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- BOUDROT N. (2021), « Internet des objets, impression 3D, robotique: des technologies davantage utilisées par les grandes sociétés », Insee Première (1854).
- BRONSTEIN L. R. (2003), "A model for interdisciplinary collaboration", *Social work*, 48(3), pp. 297-306.
- CIGER B. (2001), "Multi-organizational, multisector and multicompany organizations: Setting the research agenda", in MANDELL M. P. (éd.), *Getting results through collaboration: Networks and network structures for public policy and management*, Quorum Books, pp. 71-85.
- COLGATE E., WANNASUPHOPRASIT W. & PESHKIN M. (1996), "Cobots: Robots for collaboration with human operators", paper presented at the International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Atlanta.
- CORON C. & GILBERT P. (2022), « Le changement technologique en organisation : revue de la littérature francophone et proposition d'un cadre intégrateur », *Management & Avenir*, 129(3), pp. 131-153.
- DUMEZ H. (2016), *Méthodologie de la recherche qualitative : Les questions clés de la démarche compréhensive*, Vuibert.

- FELDMAN M. (2015), "Theory of routine dynamics and connections to strategy as practice", in GOLSORKHI D., ROULEAU L., SEIDL D. & E. VAARA E. (éd.), *Cambridge Handbook of Strategy as Practice*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 317-330.
- FELDMAN M. & PENTLAND B. (2003), "Reconceptualizing organizational routines as a source of flexibility and change", *Administrative Science Quarterly*, 48(1), pp. 94-118.
- FRIGANT V. (2020), « L'industrie 4.0, vers une dé-globalisation des chaînes de valeur ? Effets attendus de la robotique industrielle avancée et de la fabrication additive sur le système de coordination », *Revue d'Économie Industrielle*, 169(1), pp. 127-160.
- GRAY B. (1989), *Collaborating: Finding Common Ground for Multiparty Problems*, San Francisco, Jossey-Bass.
- HATCHUEL A. (1996), « Coopération et conception collective. Variété et crises des rapports de prescription », in TERSAC G. & FRIEDBERG E. (éd.), *Coopération et conception*, Toulouse, Octarès Éditions, pp. 101-122.
- HATCHUEL A. (2015), « Apprentissages collectifs et activités de conception », *Revue Française de Gestion*, 41(253), pp. 121-137.
- HENTOUT A., AOUACHE M., MAOUDJ A. & AKLI I. (2019), "Human-robot interaction in industrial collaborative robotics: A literature review of the decade 2008-2017", *Advanced Robotics*, 33(15-16), pp. 764-799.
- IVALDI S. (2018), "Intelligent human-robot collaboration with prediction and anticipation", *ERCIM News*, July.
- KEAST R. & MANDELL M. (2014), "The collaborative push: Moving beyond rhetoric and gaining evidence", *Journal of management & governance*, 18(1), pp. 9-28.
- KOHLER D. & WEISZ J.-D. (2016), « Industrie 4.0 : comment caractériser cette quatrième révolution industrielle et ses enjeux ? », *Annales des Mines - Réalités industrielles*, novembre, pp. 51-56.
- KOHLER D. & WEISZ J.-D. (2018), « Industrie 4.0, une révolution industrielle et sociétale », *Futuribles*, 424(3), pp. 47-68.
- LIU L., GUO F., ZOU Z. & DUFFY V. G. (2022), "Application, development and future opportunities of collaborative robots (cobots) in manufacturing: A literature review", *International Journal of Human-Computer Interaction*, pp. 1-18.
- MICHAELIS J. E., SIEBERT-EVENSTONE A., SHAFFER D. W. & MUTLU B. (2020), "Collaborative or simply uncaged? understanding human-cobot interactions in automation", paper presented at the *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- MOEUF A., PELLERIN R., LAMOURE S., TAMAYO-GIRALDO S. & BARBARAY R. (2018), "The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0.", *International Journal of Production Research*, 56(3), pp. 1118-1136.
- MUHURI P. K., SHUKLA A. K. & ABRAHAM A. (2019), "Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview", *Engineering applications of artificial intelligence*, 78, pp. 218-235.
- OLOGEANU-TADDEI R., FALLERY B., OIRY E. & TCHOBANIAN R. (2014), « Usages des outils collaboratifs : le rôle des formes organisationnelles et des politiques de ressources humaines », *Management & Avenir*, 67(1), pp. 177-191.
- ORLIKOWSKI W. J. (1993), "Learning from notes: Organizational issues in groupware implementation", *The Information Society*, 9(3), pp. 237-250.
- PESHKIN M. A., COLGATE J. E., WANNASUPHOPRASIT W., MOORE C. A., GILLESPIE R. B. & AKELLA P. (2001), "Cobot architecture", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(4), pp. 377-390.
- RAYNA T. & STRIUKOVA L. (2016), "From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation", *Technological Forecasting and Social Change*, 102, pp. 214-224.
- ROURE F. & POSTEL-VINAY G. (2012), « L'économie de la robotique : nouvelles données et défis actuels », *Annales des Mines - Réalités industrielles*, février, pp. 36-41.
- SALOTTI J.-M., FERRERI E., LY O. & DANÉY D. (2018), « Classification des Systèmes Cobotiques », *Ingénierie cognitive*, 1(1), pp. 1-13.
- TÉZENAS DU MONTCEL B. & DURAND T. (2020), « Manager à l'ère de l'industrie 4.0 », in DURAND T. (éd.), *Management d'entreprise 360°*, Paris, Dunod, pp. 368-400.