



Dossier

HOMMES – ROBOTS : COLLABORER EN SÉCURITÉ

❶ Robotique collaborative :
les enjeux en prévention
des risques professionnels
P. 20

❷ Analyse du besoin :
« Pourquoi un cobot ? »
P. 26

❸ Robots collaboratifs : de l'identification
des risques aux solutions techniques
et organisationnelles
P. 30

❹ Collaboration homme – robot
sur une chaîne de production : étude de cas
dans le secteur de l'agroalimentaire
P. 37

À partir des années 1940, Isaac Asimov, auteur de science-fiction de formation scientifique, éditait les « règles de la robotique », au début de sa saga dédiée aux robots. Sa règle numéro un était : « *Un robot ne peut pas porter atteinte à un être humain ni, par son inaction, permettre qu'un être humain soit exposé au danger.* » Les robots ont depuis quitté le seul domaine de l'imagination et sont entrés dans le monde réel. Aujourd'hui, les évolutions technologiques permettent aux fabricants et aux intégrateurs de proposer des solutions robotiques ne comportant plus de barrières entre l'homme et le robot. Les situations de coactivité homme – robot inhérentes à la robotique collaborative industrielle posent évidemment des questions de santé et de sécurité au travail. Comment les travailleurs humains vivent-ils cette nouvelle proximité ? Les tâches complexes ou pénibles prises en charge par les robots sont-elles à l'origine de nouveaux risques professionnels ? Comment réorganiser la prévention des risques en intégrant ce nouveau mode de travail qu'est la collaboration entre hommes et robots ? Autant d'interrogations soulevées par les futurs utilisateurs, et auxquelles ce dossier se propose de répondre.

HUMANS AND ROBOTS: SAFE COLLABORATION – *As early as the 1940s, Isaac Asimov, the scientist who was also a science fiction author, published the “three laws of robotics”, at the start of his saga devoted to robots. His first law was: “A robot may not injure a human being or, through inaction, allow a human being to come to harm.” Since then, robots have emerged beyond the realm of imagination to enter the real world. Today, technological advances allow manufacturers and integrators to propose robotic solutions which no longer place physical barriers between humans and robots. Situations where humans and robots work together are inherent to industrial collaborative robotics but nevertheless raise occupational health and safety questions. How do human workers feel about this new proximity? Have the complex or strenuous tasks undertaken by robots been replaced by new occupational risks? How can risk-prevention be reorganised by integrating this new mode of work which requires collaboration between humans and robots? These are the questions that future users are asking, and which this dossier attempts to answer.*

ROBOTIQUE COLLABORATIVE : LES ENJEUX EN PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

Dans le contexte de l'industrie du futur, les entreprises tendent à plus de flexibilité¹ pour répondre aux attentes du marché. La robotique collaborative est désormais considérée comme un moyen susceptible d'atteindre cet objectif. Beaucoup d'industriels y voient l'opportunité de combiner le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la force, l'endurance et la précision du robot. Elle est aussi souvent perçue comme une solution pouvant améliorer les conditions de travail et réduire les risques professionnels. Cet article vise à apporter un éclairage sur les enjeux de prévention, à considérer comme autant de facteurs de réussite d'un projet d'intégration.

DAVID TIHAY,
JEAN-
CHRISTOPHE
BLAISE
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

Robotique collaborative : les différents acteurs

La conception, la mise en œuvre et l'utilisation d'un robot sont encadrées, comme pour toute machine, par des obligations techniques et réglementaires, pour lesquelles les responsabilités des différents acteurs sont engagées. Ces acteurs sont le fabricant, l'intégrateur et l'utilisateur (ou employeur de l'entreprise utilisatrice) [1] :

- le fabricant de robot, ou son mandataire, a la charge de la conception et de la construction du robot. Il est également responsable de sa mise sur le marché ;
- l'intégrateur est la personne ou l'équipe chargée de concevoir et de réaliser l'installation comprenant le robot ainsi que les différents équipements nécessaires à l'installation. Il est responsable de l'étape de déclaration de la conformité de l'ensemble, en tant que maître d'œuvre de la globalité du projet ;
- l'utilisateur, ou l'entreprise utilisatrice, se sert de l'installation dans le cadre de son activité professionnelle sans être responsable ni de sa fabrication, ni de son intégration à l'état neuf. Il est toutefois en charge du maintien en état de conformité de ladite installation. Il convient de noter que l'employeur qui conçoit et fabrique une telle installation robotisée à l'état neuf pour son propre compte, en assurant la direction et la maîtrise d'œuvre globale du projet, prend le statut d'intégrateur et assume les obligations afférentes à la mise en service du produit dans son entreprise (marquage CE, déclaration de conformité, dossier technique).

Remarque importante : bien que destiné principalement aux utilisateurs, l'ensemble de ce dossier consacré à la robotique collaborative contient des informations utiles aux différents acteurs impliqués

et devrait permettre de faciliter les échanges entre tous ces intervenants : concepteurs/fabricants d'une part, utilisateurs d'autre part. Ces échanges étant indispensables à la réussite d'un projet de mise en œuvre d'une installation robotisée.

ENCADRÉ DÉFINITIONS

• **Robot :** D'après la norme NF EN ISO 10218-1, un robot est un bras manipulateur programmable destiné à des applications multiples. Il évolue sur au moins trois axes et peut être fixe ou mobile. Par définition, le robot n'a donc pas d'application spécifique. S'il est utilisé dans un environnement industriel, alors on parle de robot industriel.

• **Système robot :** Ce robot, lorsqu'il est complété par tous les équipements externes nécessaires à l'accomplissement de la tâche à laquelle il est destiné (outils, axes externes, machines, etc.), devient un « système robot ». À noter que ce système robot constitue une machine au sens de la directive n° 2006/42/CE et doit à ce titre répondre aux exigences de cette directive.

• **Cellule robotique :** D'après la norme NF EN ISO 10218-2, il s'agit d'un ou de plusieurs systèmes robots complétés par les mesures de prévention adéquates. La mise en œuvre de la cellule robotique nécessite la définition claire de l'espace maximal d'évolution du système robot, de l'espace contrôlé par une protection périmétrique et éventuellement de l'espace partagé avec le salarié (appelé également espace de travail collaboratif).

Qu'est-ce que la robotique collaborative ?

Le développement des nouvelles technologies de robotique a conduit à l'apparition d'un vocabulaire nouveau. Par exemple, le terme « cobot », qui résulte de la contraction des mots « collaborative » et « robot », a conduit à parler de « cobotique ». Face à l'étendue de ces termes nouveaux, pas toujours très représentatifs et parfois même issus de dénominations commerciales, les organismes de normalisation se sont consacrés à l'établissement de définitions précises concernant ces robots et les applications possibles. Dans le domaine industriel, les principaux documents normatifs applicables sont les normes NF EN ISO 10218-1 [2], NF EN ISO 10218-2 [3] et la spécification technique ISO TS 15066 [4]. L'encadré et la Figure 1 explicitent les trois niveaux qui distinguent le « robot » de la « cellule robotique », en passant par le « système robot ».

Au-delà de la terminologie spécifiée dans ces normes, il est important de retenir que la notion de collaboration est liée à l'application. Il existe différentes façons d'envisager cette collaboration, et là aussi le vocabulaire associé est assez fourni : coactivité, coexistence, coopération...

Une analyse de la littérature [5] met en évidence cette grande diversité quant à la terminologie employée pour définir les possibilités d'interaction entre l'homme et le robot. Cette même analyse propose de catégoriser ces situations en fonction de leur niveau d'interaction. Trois modes de collaboration ont ainsi été définis (Cf. Figure 2) :

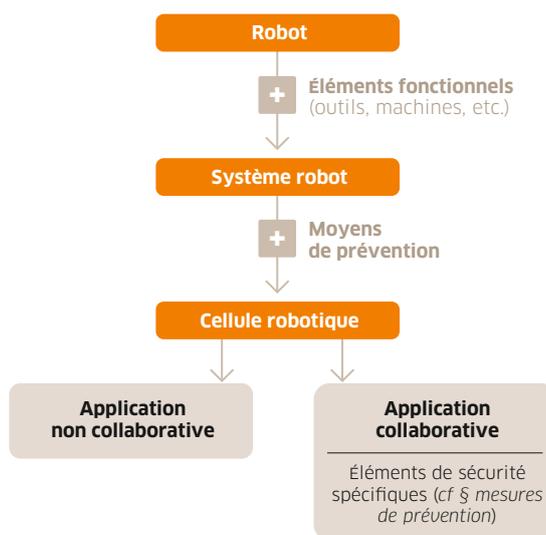
- **partage d'espace de travail** : l'opérateur et le robot effectuent des tâches distinctes pour lesquelles ils peuvent être amenés à partager, de façon permanente ou ponctuelle leur espace de travail ;
- **collaboration indirecte** : l'opérateur et le robot travaillent sur une même pièce mais leurs actions sont alternées ;
- **collaboration directe** : l'opérateur et le robot travaillent simultanément à la réalisation de la même pièce.

Les besoins et attentes des utilisateurs

Une étude menée par l'INRS [6,7] a montré que le mode de collaboration le plus attendu par les industriels, dans 61 % des cas, était le partage d'espace de travail. C'est le mode qui semblait le mieux répondre à leur besoin de flexibilité.

Seuls 11 % des industriels interrogés ont déclaré un intérêt pour la collaboration directe. Les 28 % restant étaient quant à eux intéressés par la collaboration indirecte.

Ces résultats s'expliquent par les besoins exprimés par les industriels. En effet, comme on peut le constater (Cf. Tableau 1), les attentes des industriels interrogés vis-à-vis de la robotique collaborative ne nécessitaient souvent qu'un niveau d'interaction relativement faible.



←FIGURE 1
La robotique en milieu industriel.



←FIGURE 2
Les différents modes de collaboration homme – robot.



→TABLEAU 1
Attentes des
utilisateurs
de robotique
collaborative [7].

EXPRESSION DU BESOIN DE COACTIVITÉ	
Faciliter la réalisation des opérations de maintenance (entretien, nettoyage, surveillance)	27,3%
Faciliter la réalisation des opérations liées au process à proximité du robot (chargement/déchargement, prélèvement, opération manuelle)	18,2%
Réduire l'occupation au sol de la cellule (passage plus aisé, intégration du robot sur une ligne existante)	15,2%
Réduire les TMS	9,1%
Pallier des problèmes techniques	9,1%
Vitrine technologique	9,1%
Faciliter la réalisation d'opération de réglages	6,1%
Améliorer la mobilité et la réutilisation du robot	6,1%

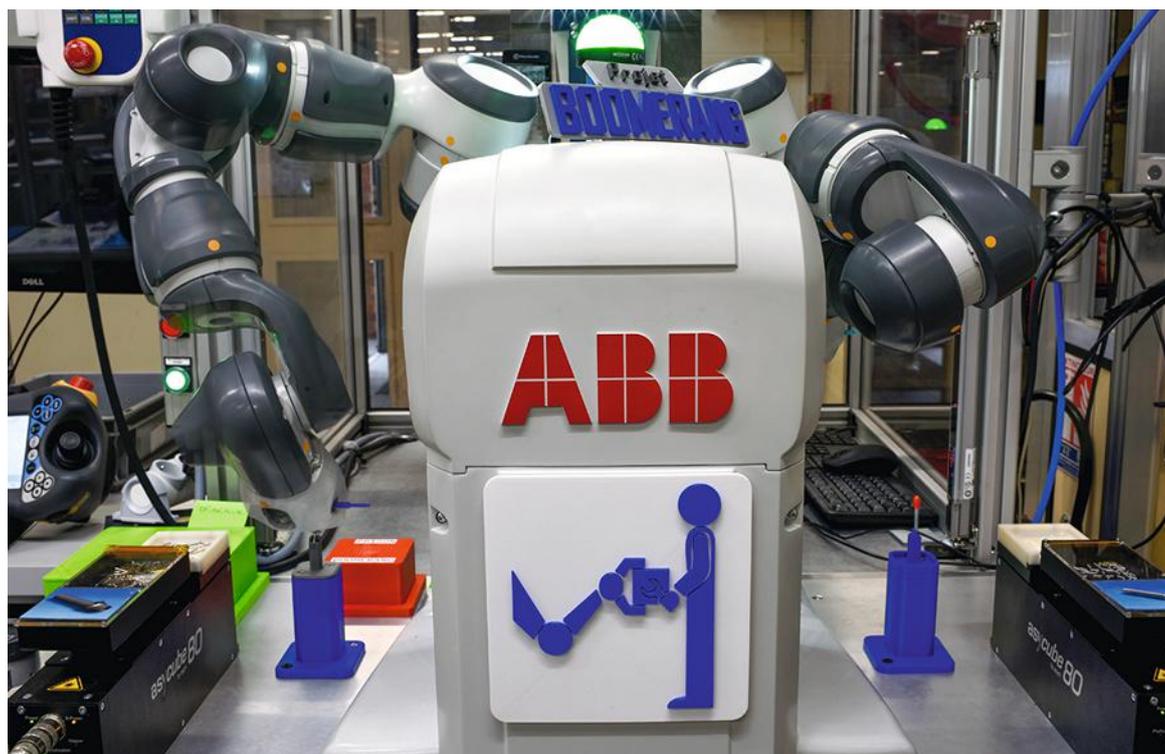
Source : [7]. Voir : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2058>.

Le besoin de collaboration est même, dans certains cas, quasi inexistant, mais le recours à ce type de robotique correspondait par exemple à un besoin de pallier des problèmes techniques entraînant des incidents de production ou encore contribuait simplement à constituer une vitrine technologique pour l'entreprise. Il est à noter toutefois que cette étude a été menée entre 2015 et 2017, à un moment où cette technologie était émergente en France; les industriels cherchaient encore à se l'approprier et devaient imaginer des applications nouvelles.

La gestion des risques : vers un nouveau paradigme ?

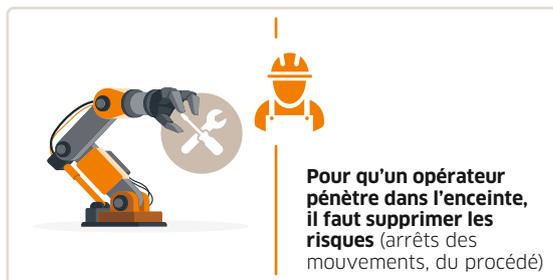
Dans le cadre des installations robotiques « traditionnelles », une protection périmétrique, physique

et/ou immatérielle, permet de prévenir un nombre important de risques (risques mécaniques, risques liés aux énergies, risques liés au procédé) et elle peut aussi contribuer à limiter l'exposition à des phénomènes dangereux tels que le bruit, les vibrations. Ainsi, l'intervention d'un opérateur ne peut s'effectuer (de manière simplifiée) que lorsque la suppression des risques est effective : arrêt des mouvements, arrêt du procédé, etc. (Cf. Figure 3). Or, en robotique collaborative, la proximité immédiate de l'opérateur avec le robot, rendue nécessaire par le besoin de collaboration, implique de supprimer de façon partielle ou totale les protecteurs physiques traditionnellement utilisés. Dès lors, l'opérateur peut se trouver exposé à de nombreux risques, qui ne sont plus couverts par ces protecteurs.



Cobot industriel
utilisé pour
la fabrication
de connecteurs
optiques.

© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2017



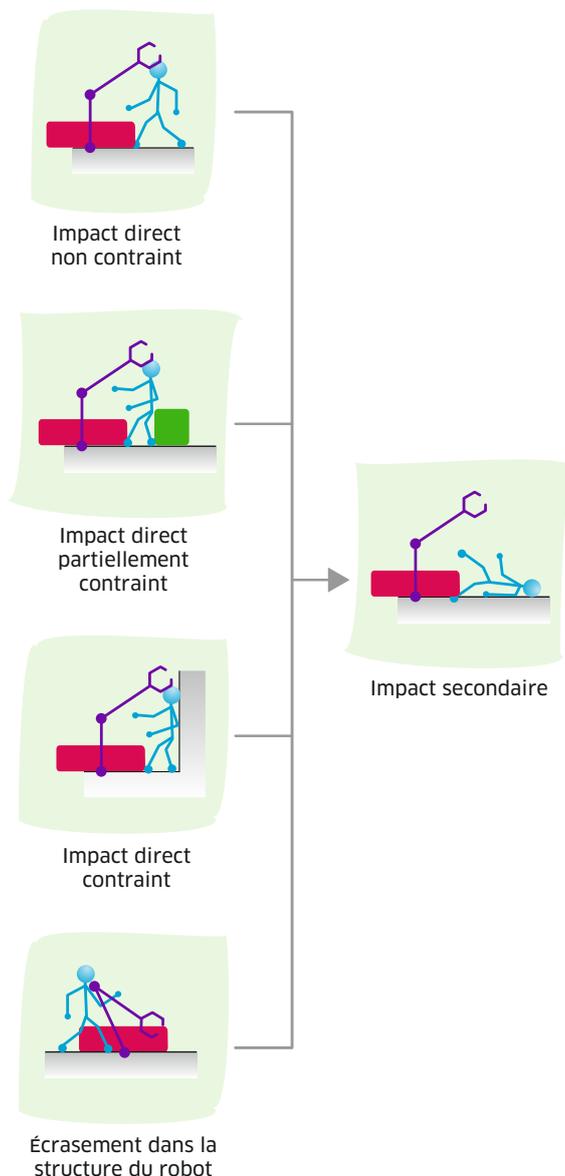
Cette façon de procéder soulève donc des questions de santé et de sécurité pour les opérateurs et les tierces personnes. En effet, les risques auparavant rendus « invisibles », car pris en compte globalement par une même protection (toujours de manière simplifiée bien sûr), doivent, à nouveau, être identifiés afin d'être maîtrisés.

Ces risques sont liés au robot lui-même, mais aussi au procédé global de l'application dans laquelle il est intégré, et en particulier à l'outil utilisé ainsi qu'à la pièce manipulée.

Parmi ces risques, quatre familles sont principalement identifiées :

- des risques mécaniques ; du fait de la diversité des situations de travail en robotique collaborative, les scénarios de contact entre l'humain et le robot sont multiples (Cf. Figure 4) : impact direct non contraint, partiellement contraint ou contraint, écrasement dans la structure du robot, impact secondaire. Ces contacts peuvent entraîner des blessures par écrasement, cisaillement, des chocs, ou encore, selon la nature de l'activité, ils peuvent être à l'origine de coupures, de sectionnements, de perforations... ;
- des risques psychosociaux ; au-delà des problèmes d'acceptation à prendre en compte lors de la mise en œuvre d'une installation de robotique collaborative, la présence d'un robot en mouvement à proximité de l'opérateur peut constituer un facteur de stress supplémentaire. Cela peut conduire également à une augmentation de la charge mentale liée à la cadence de travail lorsque celle-ci est imposée par le robot ;
- des risques de troubles musculosquelettiques (TMS) ; la cadence imposée par le robot peut également être source de TMS. Le travail en collaboration avec un robot peut entraîner l'apparition de nouvelles opérations manuelles à l'origine

Scénarios de contact



← ← FIGURE 3 (à gauche) Principe de la sécurité en robotique « traditionnelle ».

← FIGURE 4 (à droite) Risques mécaniques en robotique collaborative [7].

de contraintes gestuelles pouvant également conduire à des TMS ;

- des risques spécifiques ; liés directement à la nature du procédé dans lequel est intégré le robot. Il peut s'agir, par exemple, d'exposition à des poussières, à des fumées, à de fortes températures, à des produits chimiques, etc.

Il existe des mesures de prévention visant à supprimer ou à réduire ces risques, mais afin d'identifier les plus appropriées, il est indispensable que la mise en œuvre de l'application de robotique collaborative soit encadrée par une démarche globale d'analyse et de réduction du risque. L'introduction de robots collaboratifs dans une entreprise a également des conséquences sur l'organisation, sur les collectifs de travail et sur les opérateurs. C'est pourquoi une démarche globale d'intégration,



prenant en compte toutes les dimensions de l'activité de travail et impliquant le plus en amont possible les utilisateurs, est incontournable.

Nécessité d'une démarche d'intégration d'une application collaborative

Comme pour toute démarche impliquant un changement de l'outil de production, avant d'envisager le recours à une solution de robotique collaborative, il est indispensable de spécifier les besoins de l'application sans omettre, ici, de s'interroger sur la nécessité de collaboration. Il faut identifier les interactions souhaitées, leur fréquence, les « phases de vie » dans lesquelles elles sont prévues (maintenance, production, réglage, etc.). Cette étape de questionnement est fondamentale ; elle permet, avant même de s'engager dans une démarche d'intégration, de s'assurer de la faisabilité et de la pertinence du projet. En effet, alors que la robotique collaborative est souvent perçue comme une solution universelle à toutes sortes de problématiques (de production, de performance, d'innovation, mais aussi de prévention), il est essentiel de lever certains doutes quant à son application. Pour cela, tout industriel tenté par l'acquisition d'un robot collaboratif peut s'appuyer sur la brochure de l'INRS ED 6386 [8].

Les robots collaboratifs suscitent de plus en plus d'intérêt. Pour autant, sont-ils sûrs ? Permettent-ils de soulager les opérateurs ? Peuvent-ils être considérés comme des « collègues » comme les autres ? Peuvent-ils remplacer les robots industriels classiques ? Cette brochure répond aux principales questions que peut se poser un chef d'entreprise tenté par l'acquisition d'un robot collaboratif, afin d'améliorer les conditions de travail de ses salariés, tout en augmentant sa performance. Elle éclaire notamment sur les conséquences de l'utilisation des robots collaboratifs sur la santé et la sécurité des opérateurs.

Comme mentionné dans le paragraphe précédent, la collaboration homme-robot peut générer des risques. Après avoir vérifié qu'un robot collaboratif correspond bien au besoin de l'application à développer, il est indispensable de réaliser une analyse de risque de la situation envisagée. Il faut alors s'assurer que les mesures de prévention existantes permettront de prendre en compte les risques identifiés. Il existe des éléments de sécurité spécifiques à la robotique collaborative. Ces éléments peuvent parfois s'avérer incompatibles avec les attendus de production, conduisant alors à une infaisabilité technique. L'identification précise des interactions homme-robot s'avère indispensable pour ne pas être amené à renoncer au projet, compte tenu des contraintes imposées, afin d'assurer la sécurité des opérateurs. Seules les interactions nécessaires à l'application doivent être considérées. Il est plutôt recommandé d'envisager des protecteurs phy-

siques si aucune interaction n'est essentielle, ceci permet une optimisation de l'application, en particulier en termes de vitesse du robot et donc de temps de cycles, tout en assurant un niveau de protection optimal pour les opérateurs.

Dès lors que la compatibilité entre le besoin, les risques et les solutions de prévention est démontrée, l'intégration peut être réalisée (Cf. Figure 5). Il faut également prévoir un suivi de la future installation, afin de vérifier que cette adéquation entre la solution proposée et le besoin spécifié initialement est pérenne et, ainsi, surveiller les dérives ; une installation bien acceptée au départ peut perdre, au fil du temps, en « crédibilité ».



↑ FIGURE 5 Démarche globale de prévention.

Conclusion

L'apparition de la robotique collaborative permet d'envisager des situations de travail autorisant l'homme et le robot à travailler ensemble. Néanmoins, la mise en œuvre de ces robots et la suppression des protecteurs physiques, souvent envisagée, soulèvent des questions de santé et de sécurité pour les salariés.

Il existe des solutions techniques qui, associées à des mesures organisationnelles, permettent de réduire les risques liés à la proximité homme-robot (Cf. article « Robots collaboratifs : de l'identification des risques aux solutions techniques et organisationnelles », p. 30 de ce dossier). Cependant, il peut s'avérer que la mise en œuvre de ces mesures de prévention, incompatibles avec la collaboration souhaitée, conduisent à une insatisfaction des utilisateurs, voire à renoncer au projet.

C'est pourquoi une démarche globale de prévention doit être mise en œuvre dès le début du projet. Elle doit débiter par une analyse du besoin (Cf. article « Analyse du besoin : pourquoi un cobot ? », p. 26 de ce dossier), afin de s'assurer a priori de la faisabilité de l'intégration d'une



© Vincent Nguyen pour l'INRS/2019

Cobot d'assistance mécanique au ponçage dans l'industrie aéronautique.

solution robotique. L'analyse des risques associés permet ensuite d'identifier les différentes mesures de prévention les plus adaptées. Un suivi régulier de l'installation devra enfin être mis en place, afin de s'assurer de l'absence de dérives pouvant mener à discréditer l'installation.

À ce jour, comme pressenti [6,7], les robots dits collaboratifs ne sont pas tant choisis pour des applications collaboratives que pour des applications standards, parce qu'ils sont plus facilement intégrables de par leur taille réduite, leur coût plus faible, « l'absence de cage » d'encoffrement et leur facilité de programmation. Les robots collaboratifs peuvent effectivement, en théorie, être utilisés pour des applications de robotique industrielle. Toutefois, leurs caractéristiques techniques actuelles limitent encore cette possibilité. Ils restent moins précis et moins rapides que les robots industriels classiques et ne peuvent pas manipuler de lourdes charges. Ils ne permettent donc pas toujours d'obtenir les gains de productivité escomptés.

Enfin, même s'ils peuvent, dans certains cas, soulager l'opérateur en le déchargeant de certaines

tâches répétitives ou contraignantes, les robots collaboratifs ne sont pas une réponse systématique. Ils s'inscrivent dans un *continuum* de solutions techniques composé également d'exosquelettes, de robots mobiles, de drones, etc. Quelle que soit la solution technique envisagée, elle devra se confronter à la même démarche globale de prévention pour que son intégration soit réussie. ●

1. Du point de vue de la prévention des risques, la « flexibilité » recouvre de nombreux aspects d'organisation, et n'est pas limitée à une seule vision idéologique du travail ou de la production. Voir par exemple : <https://www.inrs.fr/inrs/themes-travail/industrie-du-futur/flexibilite.html> ; et aussi : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2058>.

POUR EN SAVOIR +

• **Actes de la Journée technique « Robotique collaborative »**, organisée par l'INRS le 21 juin 2021 : <https://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/journee-technique-robots-collaboratifs.html>.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DGT – *Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées*. Ministère chargé du Travail, Direction générale du travail, édition 2017, 50 p. Accessible sur : http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_prevention_25_aout_2017.pdf.

[2] NORME NF EN ISO 10218-1 – *Exigences de sécurité pour les robots industriels. Partie 1 : Robots*. Afnor, 2011, 56 p. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[3] NORME NF EN ISO 10218-2 – *Exigences de sécurité pour les robots industriels. Partie 2 : Systèmes robots et intégration*. Afnor, 2011, 90 p. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[4] NORME ISO TS 15066 – *Robots and robotic devices. Collaborative robots*. Genève, Iso, 2016, 39 p.

[5] VICENTINI F. – *Terminology in safety of collaborative robotics. Robotics and computer integrated manufacturing*. Elsevier, 2019, Vol. 63, 7 p.

[6] TĪHAY D., PERRIN N. – Human-robot coactivity: need's analysis. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2018)*. Nancy, 10-12 octobre 2018, pp. 40-47.

[7] TĪHAY D. – Robotique collaborative : perception et attentes des industriels. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 250, NT 58, pp. 50-57. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2058>.

[8] INRS – *Dix questions sur les robots collaboratifs*. INRS, ED 6386, 2020, 24 p. Accessible sur : www.inrs.fr.

ANALYSE DU BESOIN : « POURQUOI UN COBOT ? »

Face au développement des applications collaboratives, le Centre technique des industries mécaniques (Cetim) a engagé une réflexion sur les facteurs pouvant motiver l'acquisition de tels équipements, afin d'apporter aux industriels susceptibles d'y recourir, une aide au choix argumentée. Ce travail a permis de construire une démarche et un outil pour identifier les applications robotiques potentielles et analyser leurs applications futures. Cette étape d'analyse du besoin est un prérequis nécessaire à une intégration sûre de ces applications.

SYLVAIN
ACOULON,
RÉMY ROIGNOT
Centre d'études
des industries
mécaniques
(Cetim)

Un questionnement autour du besoin

Bien que l'offre du marché concernant les robots capables de réaliser des applications collaboratives ne cesse de s'accroître, la question de l'adéquation entre le besoin industriel et ces nouvelles solutions se pose. En effet, ces nouveaux robots sont vus comme une offre alternative à la robotique plus classique, dans le sens où ils permettraient de répondre de façon plus flexible aux besoins des industriels (notamment les PME). Mais considérer que cette nouvelle forme de robotique serait la réponse par rapport à toute autre solution, apparaît comme trop réducteur, et requiert d'être vérifié.

En complément, la difficulté constatée à trouver les informations pertinentes dans l'offre du marché, et l'efficacité réelle du marché pour répondre aux objectifs de sécurité, de flexibilité ou de productivité a pu entraîner des choix non appropriés, qui ont conduit soit à la non-utilisation de l'équipement, soit à l'affecter à une application plus classique, où il ne constituait pas finalement la meilleure solution. Parfois, les capacités «collaboratives» ne sont pas forcément utilisées dans l'application choisie. En conclusion, il était nécessaire de répondre à la question : «*Quels sont les éléments ou outils qui permettraient à un industriel d'opérer ses choix sereinement, lorsqu'il désire robotiser une tâche sans se tromper ?*»

Face à cette demande d'accompagnement des entreprises, le Centre technique des industries mécaniques (Cetim) a décidé de construire une démarche et un outil, basés sur son expérience dans l'aide à la robotisation¹ et sur son expertise d'intégration de la sécurité dans la conception de nouveaux robots (ou cobots) ou d'ilots robotisés. L'objectif visé était de mettre à disposition une démarche permettant de définir les critères importants qui aident au choix d'une solution d'automatisation/robotisation (qu'elle soit collaborative

ou non). Cette démarche porte le nom « Arthur² », et vise à renseigner tout responsable sur les différentes solutions qui s'offrent lui, les classant suivant la hiérarchisation de ses besoins.

Une définition des critères : la méthode « Arthur »

La méthode « Arthur » s'articule autour d'une démarche et d'un outil. La première phase de cette démarche consiste en une identification des applications robotiques candidates. Elle est ensuite suivie d'une analyse détaillée d'une application de robotique collaborative³.

L'objectif peut se résumer ainsi : « *disposer d'un avis rapide et argumenté sur des cas d'applications industrielles qui visent (au départ) une collaboration entre un opérateur et un robot (quel que soit ce type de collaboration)* ».

Pour parvenir à cet avis, il est nécessaire de parcourir plusieurs étapes de façon itérative, de la prise d'informations jusqu'à la synthèse. Ces différentes étapes passent à la fois par un échange d'informations et par l'utilisation d'outils type matrices de choix. Un spécialiste de la méthode va conduire la démarche, depuis le questionnement sur les cas d'applications, les enjeux de l'automatisation/robotisation, les critères de choix principaux, jusqu'à la restitution. Il remplit les différentes matrices, selon la hiérarchisation des besoins évoqués par les responsables industriels et désireux de robotiser. Un document de synthèse est obtenu au terme de la démarche, il établit la hiérarchisation des solutions et les critères prépondérants utilisés. Les éléments le constituant pourront composer une première base à la réalisation du cahier des charges⁴.

L'ensemble des étapes de la démarche peut être représenté de la manière décrite dans la Figure 1.



© Vincent Neuyen pour l'INRS/2019

Ligne de production de pièces détachées dans l'industrie automobile tenue par un conducteur de ligne et quatre cobots (robots collaboratifs).

Décomposition de la démarche dans « Arthur »

La première étape (*étape 1, cf. Figure 1*), la prise d'informations, concerne le contexte de développement de l'entreprise afin de comprendre quels sont les objectifs stratégiques dans le cadre desquels s'inscrit cette démarche. Ce dialogue est mené avec, de préférence, le responsable de l'établissement ou toute personne avec une vision stratégique. Il permet de faire un point sur la situation actuelle, propre à l'entreprise, sur les critères suivants :

- produits, marchés ;
- volumes, saisonnalité ;
- process, cadences ;
- qualités, coûts, délais ;
- temps d'ouverture des ateliers ;
- autres aspects importants (exemples : ancienneté moyenne du personnel, qualification nécessaire, turnover...).

En complément, les évolutions envisagées, à plus ou moins long terme selon ces critères, sont abordées, en mettant l'accent sur les moteurs qui permettent de parvenir aux objectifs, ou d'identifier les freins à ce moment de la démarche (par exemple : un nombre important d'innovations permettant d'offrir une gamme renouvelée chaque année, un stockage de produit trop important à réduire). Ces premiers éléments vont aider à orienter l'entreprise vers des pistes d'automatisation d'un point de vue général et serviront, au-delà des seuls postes spécifiques qui vont être identifiés et analysés, à entrevoir des solutions plus durables, ou plus flexibles. Ce questionnement est poursuivi par une formulation des enjeux de l'entreprise autour des objectifs visés. Ceci afin de connaître sur quel axe

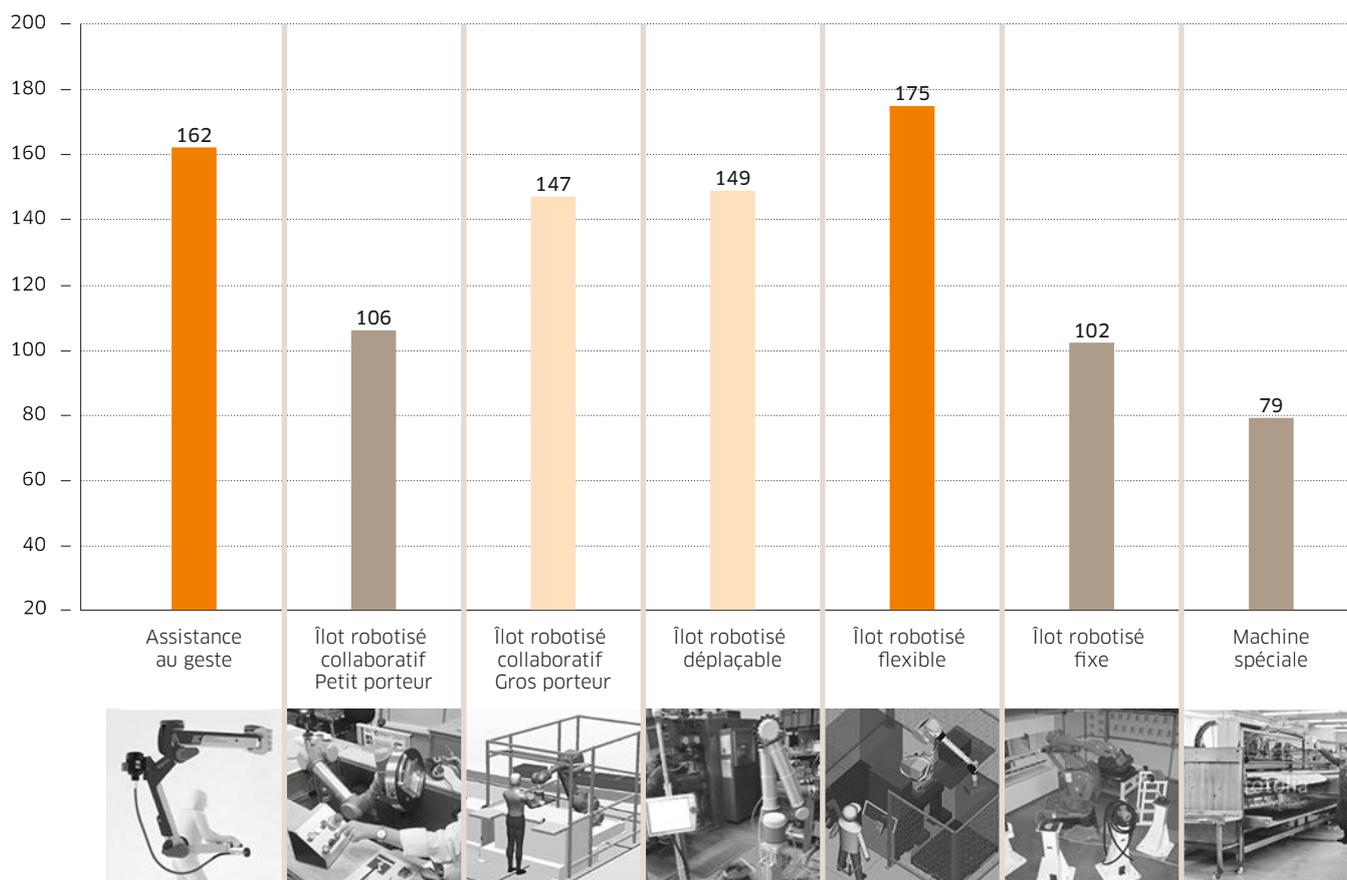
les efforts conduisant à une automatisation/robotisation doivent porter et en accordant une attention particulière sur les moteurs ou freins éventuels. Les principaux critères à prendre en compte sont :

- les conditions de travail (*exemple : pénibilité, de plus en plus de produits de grandes dimensions à manipuler, travail régulier avec les organismes type Carsat pour amélioration de certains postes*) ;
- les ressources humaines (*ex. : beaucoup de personnel intérimaire utilisé, difficulté de recrutement, polyvalence sur plusieurs postes recherchés, manque de personnel disponible pour répondre à certaines commandes dans les délais*) ;
- les coûts (*ex. : pas de maîtrise des temps de process*) ;
- la qualité (*ex. : contrôle effectué à 100 % sur aspect, dimension, difficile à automatiser/robotiser*) ;
- les délais (*ex. : délai très court demandant un stockage important, manque de personnel disponible*) ;

- 1 Prise d'informations générales
- 2 Identification des applications visées
- 3 Récupération des critères de chaque application
- 4 Hiérarchisation par pondération
- 5 Définition des pistes de solutions
- 6 Remplissage des matrices de choix
- 7 Résultat du diagnostic
- 8 Synthèse et points de vigilance

←FIGURE 1
Présentation synthétique des étapes de la démarche déployée dans le cadre de la méthode « Arthur ».





↑ FIGURE 2
Exemple du
résultat d'analyse
d'une application
à robotiser.

- les autres aspects/considérations (ex. : moyens recherchés pouvant être placés, au besoin, sur plusieurs machines, facilité de remise en marche par un personnel peu qualifié).

Une fois ce tour d'horizon réalisé, il est alors possible de se concentrer de manière plus précise sur les applications identifiées au départ par l'entreprise (Cf. étape 2, cf. Figure 1). Une visite d'atelier permet de bien cerner la problématique et les spécificités du métier des industriels. Ce tour d'atelier offre également la possibilité d'envisager la robotisation d'autres postes qui n'ont pas été préalablement identifiés, mais qui pourraient présenter un intérêt pour l'entreprise à être automatisés/robotisés, suivant les solutions disponibles sur le marché et les enjeux de l'entreprise. À l'issue de cette étape, les premiers éléments de choix peuvent être envisagés (étape 3, cf. Figure 1), en se focalisant sur des données plus techniques propres aux postes identifiés, qui sont notamment :

- l'intitulé de l'application, du poste ;
- l'équipement, machine servie, alimentée ;
- le type de pièces, les références ;
- la taille des séries ;
- le nombre de références ;
- les temps de cycles manuels (en considérant que les postes analysés sont des postes actuellement manuels).

Ces données renseignent sur la diversité des pièces, le nombre à traiter, les cadences visées et permettent d'orienter, déjà à ce stade, sur des types de solutions. Par exemple, une grande cadence est non adaptée à la robotique collaborative, ni aux systèmes d'assistance à l'opérateur. Dans ce cas, il est nécessaire de privilégier une solution de robotique classique, voire une machine spéciale, plutôt qu'un « cobot ». En outre, un rappel des objectifs visés (coûts, qualité, délai, conditions de travail) pour chaque application est réalisé, ainsi que l'état d'avancement d'un éventuel projet sur ces applications (idées/concepts/premières réflexions, cahier des charges déjà réalisé, consultation en cours, tests de faisabilité...). De même, pour la réussite du projet, il est nécessaire de s'assurer de l'existence d'une équipe projet et des compétences présentes dans l'entreprise concernant le suivi, la conception, la réalisation, et enfin, d'évaluer le budget prévu. Pour identifier les solutions les mieux adaptées à la problématique, une analyse des opérations réalisées sur chaque application vient compléter les données précédentes et renseigne notamment sur la pièce à produire (poids, matière, spécificité), le degré d'autonomie de l'équipement souhaité (en production, contrôle, changement de série), l'évolution recherchée par rapport au poste précédent sur chaque opération, le besoin en précision,

la répétabilité, l'accessibilité à la zone de travail, la surface disponible au sol, les interfaces possibles liées aux machines avec lesquelles l'équipement devra communiquer. Pour finaliser, le degré de reconception éventuelle de la pièce et les types de stockages amont et aval sont étudiés.

Toutes ces données sont utilisées pour compléter une matrice qui fait le lien avec les solutions les mieux adaptées, allant de l'assistance au geste (équilibreur, cobot d'assistance) à la machine spéciale, en passant par la robotique classique et/ou collaborative.

En complément, il reste une hiérarchisation (avantages, inconvénients, priorités, etc.) à réaliser suivant les objectifs de l'entreprise. Pour cela, une seconde matrice de pondération est utilisée. Dans celle-ci, les items sont renseignés en indiquant si l'un est plus important qu'un autre ou de poids égal (étape 4, cf. Figure 1). Même si tous les items sont importants, le but est de faire apparaître où l'accent doit être particulièrement mis. Parmi ceux-ci :

- la disponibilité du (futur) moyen (de production) pour l'utiliser avec d'autres machines ;
- le dégagement du temps opérateur (pour réaliser d'autres tâches) ;
- le délai de mise à disposition du moyen ;
- l'ergonomie du poste ;
- le temps, la facilité d'appropriation du poste ;
- la présence de l'opérateur dans la zone ;
- la productivité, la cadence, le temps de cycle ;
- la qualité, la répétabilité du process.

Ces items étant génériques, certains peuvent ne pas apparaître en priorité après pondération, si avec ceux-ci aucune difficulté n'était identifiée sur le poste au départ (exemple : pas de problème d'ergonomie), ou à l'inverse, apparaître comme pénalisants pour tous les autres (exemple : si la disponibilité du futur moyen pour être utilisé avec d'autres machines est une contrainte forte, alors le choix d'une machine déplaçable s'impose, ce qui réduit les solutions envisageables). Dans tous les cas, cette étape doit amener à une discussion sur les pistes de solutions et si besoin, nécessiter de revoir la pondération du besoin, ou les enjeux initiaux.

Une fois toutes ces informations collectées et insérées dans les matrices en lien avec les pistes de solutions (étapes 5 et 6), une synthèse (étape 7, cf. Figure 1) est réalisée et représentée de manière simplifiée, sous forme de graphique faisant apparaître les solutions à privilégier, celles peu adaptées, ou à éviter (Cf. Figure 2)⁵.

Cette synthèse graphique est favorablement complétée d'informations qui expliquent les résultats, et donnent ainsi la latitude éventuelle pour passer d'une solution à une autre. Elles sont complétées par des points de vigilance (étape 8, cf. Figure 1), liés aux difficultés perçues à ce stade

et qui pourraient remettre en cause la bonne réalisation d'un futur projet de robotisation/automatisation (Cf. Tableau 1).

La démarche « Arthur » permet à tout responsable du projet de mieux connaître et comprendre les solutions techniques qu'il est possible de mettre en œuvre, en ayant pris la mesure des opportunités ou freins réels de certaines solutions, et en précisant les critères importants qui orientent le choix d'une solution donnée.

Cette analyse doit permettre d'engager la discussion avec un éventuel fabricant de solutions et/ou d'éclairer l'entreprise sur les compétences à posséder en interne, afin de mener un tel projet à bien. ●

1. Voir : Programme Robot Start PME [1]. Voir aussi : https://www.robotstartpme.fr/sites/default/files/presse_files/dp_rspme_30_11_undef.pdf.
2. Arthur : acronyme pour « Analyse de répartition des tâches entre un humain et un robot ».
3. Voir le mode de collaboration selon le guide de prévention pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées du ministère chargé du Travail [3].
4. Voir notamment l'article sur le cahier des charges. In : Dossier (pp. 27-29) « De la conception au recyclage d'une machine, la sécurité avant tout » [4].
5. Règles intégrées aux matrices. Ces règles permettent de pondérer le poids de chaque critère par rapport à chaque solution. Plus le chiffre est élevé, plus la solution en rapport apparaît adaptée aux besoins de l'entreprise.

↓ **TABLEAU 1**
Exemple de compléments apportés au résultat d'analyse.

AVIS DE L'EXPERT

Synthèse du projet	Approche collaborative non évidente : peu d'interventions opérateur en cycle pour des raisons liées à la production. Îlot robotisé flexible le plus adapté et permettant certaines interventions dans les zones d'alimentation ou d'évacuation (à dimensionner selon les besoins).
Points de vigilance identifiés	Techniques : <ul style="list-style-type: none"> • Dépilage des tôles ; • Manipulation des flancs ; • Choix des outillages 1 ou 2 en fonction des temps de cycle ; • Architecture de cellule.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] PROGRAMME ROBOT START PME – Accessible sur : <https://www.symop.com/tag/robot-start-pme/>.
- [2] CETIM – Choisir le bon robot avec Arthur. Accessible sur : <https://www.cetim.fr/temoignages/fermob2/>.
- [3] MINISTÈRE CHARGÉ DU TRAVAIL – Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées, 2017, 50 p. Accessible sur : https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_prevention_25_aout_2017.pdf.
- [4] DAILLE-LEFEBVRE B, ROIGNOT R. – Acquérir une machine : de l'importance du cahier des charges. In : POYARD J.L. ET AL. – Dossier : De la conception au recyclage d'une machine, la sécurité avant tout. *Hygiène & sécurité du travail*, 2016, DO 15, pp. 27-29. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2015>.

ROBOTS COLLABORATIFS : DE L'IDENTIFICATION DES RISQUES AUX SOLUTIONS TECHNIQUES ET ORGANISATIONNELLES

Le besoin de flexibilité au travail¹ a conduit à l'émergence d'un nouveau type d'application robotique, dans lequel l'homme travaille en étroite collaboration avec le robot. Ce nouveau schéma de travail implique *a priori* la disparition des protections physiques classiques qui tenaient l'être humain à l'écart d'éventuels phénomènes dangereux. Il est donc nécessaire d'aborder une nouvelle stratégie de prévention des risques pour le cas particulier des applications de robotique collaborative.

Cet article donne un aperçu des nouveaux risques liés à la robotique collaborative et expose les solutions techniques et organisationnelles qui permettent de les prévenir. Les solutions exposées dans cet article doivent être intégrées dans une démarche itérative de réduction du risque.

ADEL SGHAÏER
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

LIËN WIOLAND
INRS,
département
Homme
au travail

→ FIGURE 1
Échanges
pluridisciplinaires
de l'amont du
projet (analyse
du besoin
et des risques)
jusqu'à sa
mise en œuvre.

L'intégration sûre d'une application de robotique collaborative nécessite une approche pluridisciplinaire pour identifier les différents risques susceptibles d'être présents au cours du cycle de vie de l'application, en vue de sélectionner le robot le plus apte à répondre aux exigences de sécurité et de mettre en œuvre les solutions appropriées, tant d'un point de vue technique qu'organisationnel (Cf. Figure 1). Cette

approche doit impliquer les différents acteurs tels que l'entreprise utilisatrice, l'opérateur, l'intégrateur.

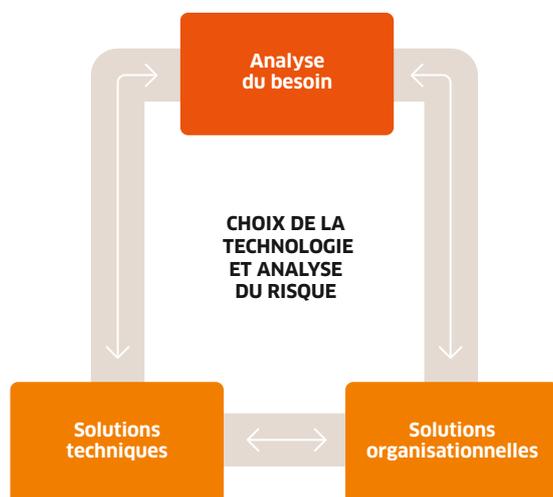
Risques liés à la collaboration homme – robot

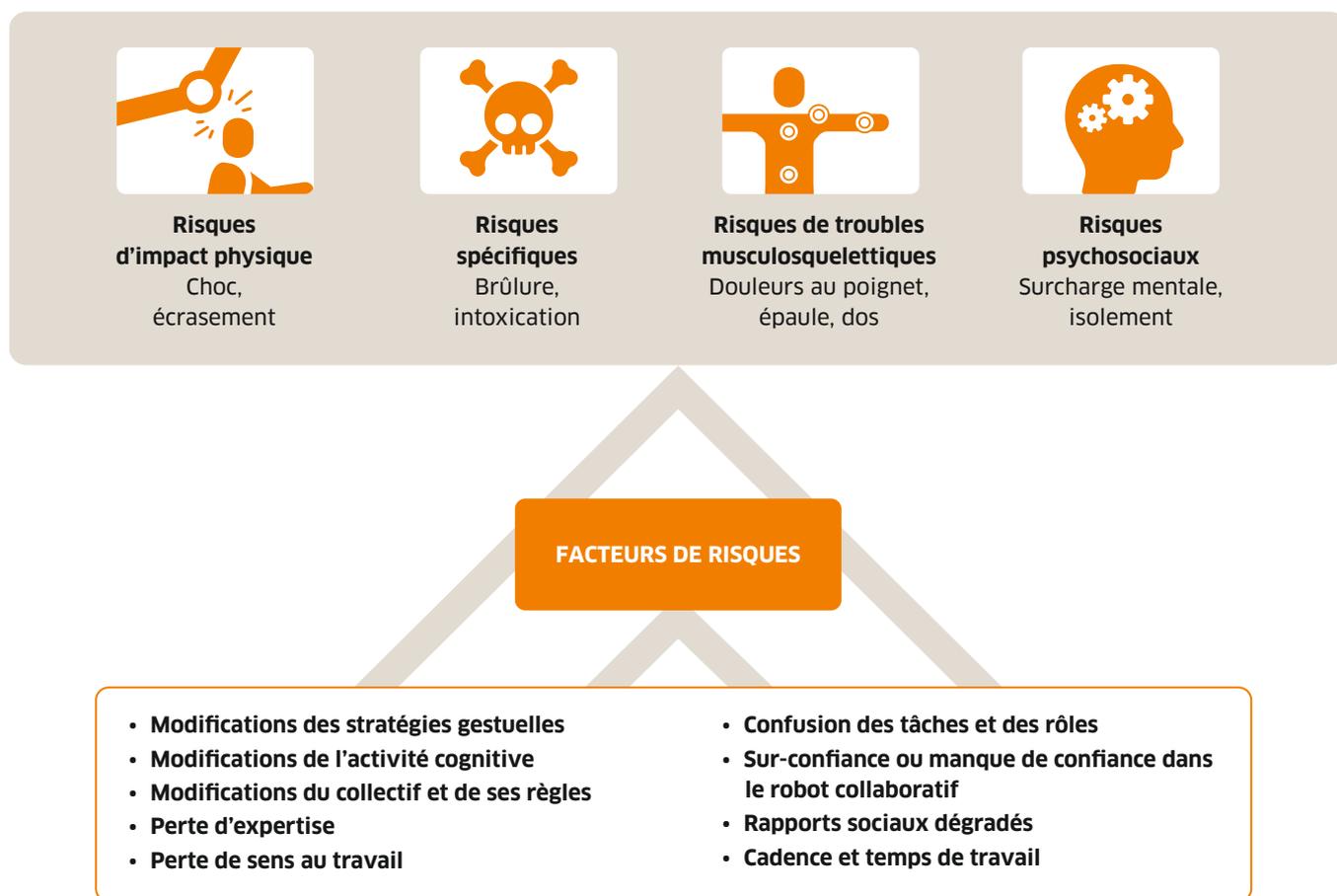
La robotique collaborative implique une proximité entre l'humain et le robot qui s'accompagne d'une augmentation des interactions physiques et cognitives par rapport à un robot classique, « en cage ». Ces risques, ainsi que les facteurs de risques associés, sont présentés ci-dessous et synthétisés dans la Figure 2.

Risques au niveau individuel

→ Risques liés à la machine

Le mouvement des axes d'un robot est généralement considéré comme complexe et imprévisible. Les robots collaboratifs sont conçus pour être plus légers et moins puissants. La vitesse de leurs mouvements et l'énergie transmise en cas de collision sont donc moins importantes par rapport à un robot classique. Pour autant, le risque mécanique demeure le facteur prédominant dans la plupart des applications robotiques, qu'elles soient collaboratives ou non. Ce phénomène dangereux se traduit, entre autres, par des risques d'écrasement, de coincement ou de choc. Bien que moins importants, les autres risques « machine », tels que





le bruit, les risques thermiques ou électriques, doivent également être pris en compte. Une attention particulière doit finalement être portée aux risques liés aux outils utilisés par le robot pour réaliser sa tâche et, plus globalement, aux risques liés aux procédés. Une liste non exhaustive de phénomènes dangereux liés aux applications robotiques peut être consultée dans l'annexe A de la norme NF EN ISO 10218-2 [1].

→ **Risques psychosociaux et risques d'accidents**

Quand un opérateur collabore, que ce soit avec un homme ou un robot, des activités de « coordination » ou encore « de synchronisation opératoire » sont nécessaires [2]. Il doit agencer des actions afin d'atteindre l'objectif qui lui est assigné de façon efficace. La coordination est toujours réalisée par rapport au contexte (la situation de travail, les exigences et contraintes de l'environnement de travail, le cadre organisationnel au sens large, par exemple).

La collaboration et la coordination entre plusieurs opérateurs nécessitent deux éléments :

- l'élaboration d'un référentiel opératif commun (ROC), défini comme une représentation fonctionnelle commune aux opérateurs, qui oriente et contrôle l'activité que ceux-ci réalisent col-

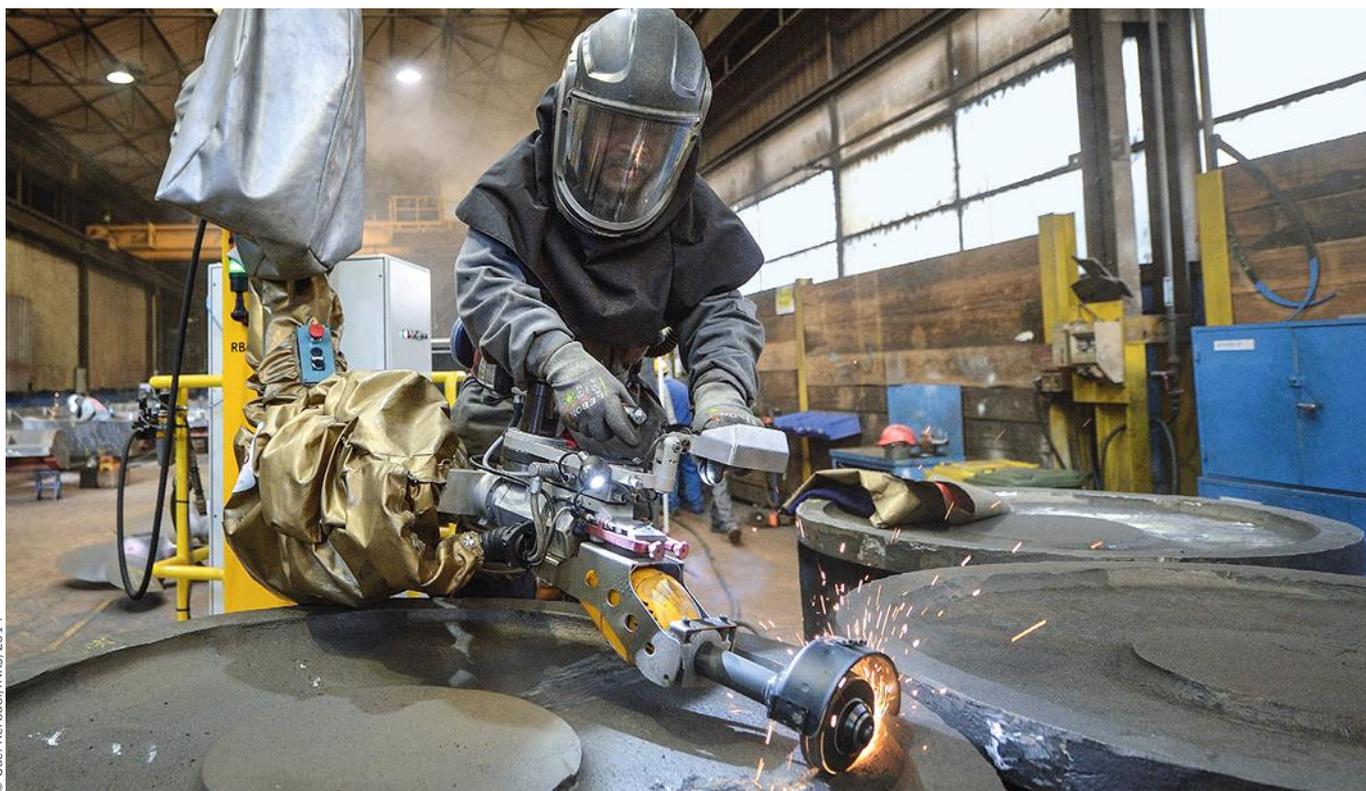
lectivement [3]. La construction de ce référentiel s'élabore, entre autres, par le biais des communications qui permettent aux opérateurs de se synchroniser sur le plan cognitif ;

- l'élaboration d'« une conscience réciproque des activités » (identification et connaissance des préoccupations et intentions de son binôme humain ou de l'ensemble des opérateurs coopérants) qui se forme et se remet à jour en continu au gré de l'évolution de la situation de travail et de la tâche [4]. Ceci implique un processus continu de surveillance « discrète » de l'activité des autres (contrôles mutuels).

À l'inverse, dans le cas de la collaboration avec des robots, le référentiel commun ne peut pas s'élaborer et la « conscience des activités » n'est plus « réciproque », en l'état actuel de l'évolution des technologies. L'opérateur va devoir élaborer « seul » une représentation opérationnelle pour interagir avec le robot. Cette représentation doit lui permettre de comprendre la situation et les événements, et servir d'ancrage à ses prises de décisions et actions. Les activités de coordination ou de régulation homme – robot vont alors reposer sur l'opérateur seul et non plus sur un collectif ou une équipe, ce qui peut constituer un facteur de risque psychosocial. Par ailleurs, la question de la fiabilité

↑ **FIGURE 2**
Synthèse des risques liés aux interactions homme – robot collaboratif et des facteurs de risques associés.





© Gaël Kerbaol/INRS/2014

Atelier de parachèvement en fonderie. Un cobot contribue à réduire la pénibilité des postes, notamment les risques de TMS.

de cette représentation se pose : si cette dernière est erronée, elle pourrait conduire à des facteurs de risques d'incidents, voire d'accidents.

Le collectif constitue également une ressource pour les opérateurs, notamment en termes d'entraide pour gérer les « conflits de règles » dans l'action ou les « situations incidentelles », ou encore pour partager ou élaborer/réélaborer des stratégies adaptées à la situation. En termes de santé, il participe donc à la préservation des ressources psychosociales qui, par ailleurs, sont des déterminants de TMS [5]. Si le collectif de travail peut être protecteur, il peut être également fragilisé lors de l'intégration de robots collaboratifs puisque les communications ne peuvent plus se faire de la même manière qu'entre opérateurs. Ainsi, une détérioration des rapports sociaux au sein des collectifs [5] peut apparaître et conduire à des facteurs de risques psychosociaux ou de troubles musculosquelettiques.

L'activité de l'opérateur se transforme nécessairement :

- d'une part, l'introduction d'un robot collaboratif, qui va prendre en charge une partie des opérations à réaliser, entraîne une modification des postes de travail mais aussi une modification de la répartition des tâches et des rôles de chacun. Certains opérateurs peuvent avoir des questionnements et des doutes sur ce qu'ils auront à réaliser seul ou collectivement, leurs nouvelles priorités individuelles et collectives, et comment les atteindre par rapport à la situation de travail sans robot collaboratif. Ainsi, en termes de santé,

l'intégration d'un robot collaboratif peut perturber l'organisation et conduire à des facteurs de risques psychosociaux tels qu'une perte de sens au travail et une confusion des tâches et des rôles ;

- d'autre part, l'opérateur devient superviseur de la situation de travail (par exemple, en vérifiant le bon fonctionnement du robot collaboratif) [6]. L'intégration d'une activité mentale supplémentaire entraîne un coût cognitif en raison de l'allocation et de la réallocation des ressources attentionnelles ; par conséquent, la charge mentale de l'opérateur peut s'en trouver augmentée. Le fait que le robot collaboratif prenne en charge des opérations à la place de l'opérateur peut être considéré positivement, surtout si ces dernières sont répétitives et sollicitantes. Néanmoins, la réduction de la réalisation d'une opération ou d'une tâche, qu'elle soit gestuelle ou cognitive, est connue pour restreindre le développement de l'expertise. Ainsi, quand le robot collaboratif prend en charge des opérations, les capacités de l'opérateur à effectuer une opération technique peuvent se détériorer. Au final, une éventuelle augmentation de la charge mentale de travail et une possible perte d'expertise constituent des facteurs de risques psychosociaux. La confiance accordée au robot collaboratif par les opérateurs repose en partie sur leur perception de la compétence de ce dernier. Cette confiance peut être fragile et, au moindre signe d'inadaptation ou de bogue, l'opérateur a tendance à ne plus utiliser le système et préfère réaliser la tâche

manuellement. S'il n'a pas le choix, il continuera d'utiliser le robot collaboratif avec des doutes et des craintes. À l'inverse, les études ont montré que lorsque les opérateurs font trop confiance au robot et au système automatisé en général, ils peuvent mettre plus de temps à détecter les dysfonctionnements de ce système [7]. De même, plus un opérateur fait confiance à l'automate, moins il va le surveiller, augmentant la probabilité que la représentation opérationnelle de l'opérateur ne soit pas juste ou « à jour » [8]. Par conséquent, la question de confiance est importante car elle peut constituer à la fois un facteur de risques psychosociaux quand il y a perte de confiance, et un facteur de risques d'incidents lorsqu'il y a sur-confiance.

→ **Risques de troubles musculosquelettiques (TMS)**

L'opérateur peut être amené à modifier ses stratégies gestuelles pour interagir avec les mouvements du robot collaboratif, ou encore à accélérer la réalisation des opérations à effectuer pour se synchroniser avec la cadence imposée par le robot. Ces modifications peuvent conduire à des sollicitations physiques importantes, voire délétères, et constituer des facteurs de risques de troubles musculosquelettiques (TMS). Lorsque pour des raisons de sécurité, la cadence du robot se trouve particulièrement ralentie, la question de la sous-charge de travail se pose. Au-delà du fait qu'elle constitue un facteur de risque psychosocial pour l'opérateur (ennui, inactivité, déconcentration, attente...), il est également possible que d'autres opérations manuelles soient ajoutées à la tâche de l'opérateur. Une réflexion doit alors être conduite pour s'assurer que ces dernières ne viendront pas dégrader la situation en créant des facteurs de risques de TMS supplémentaires.

Les solutions de prévention

Contexte réglementaire et normatif

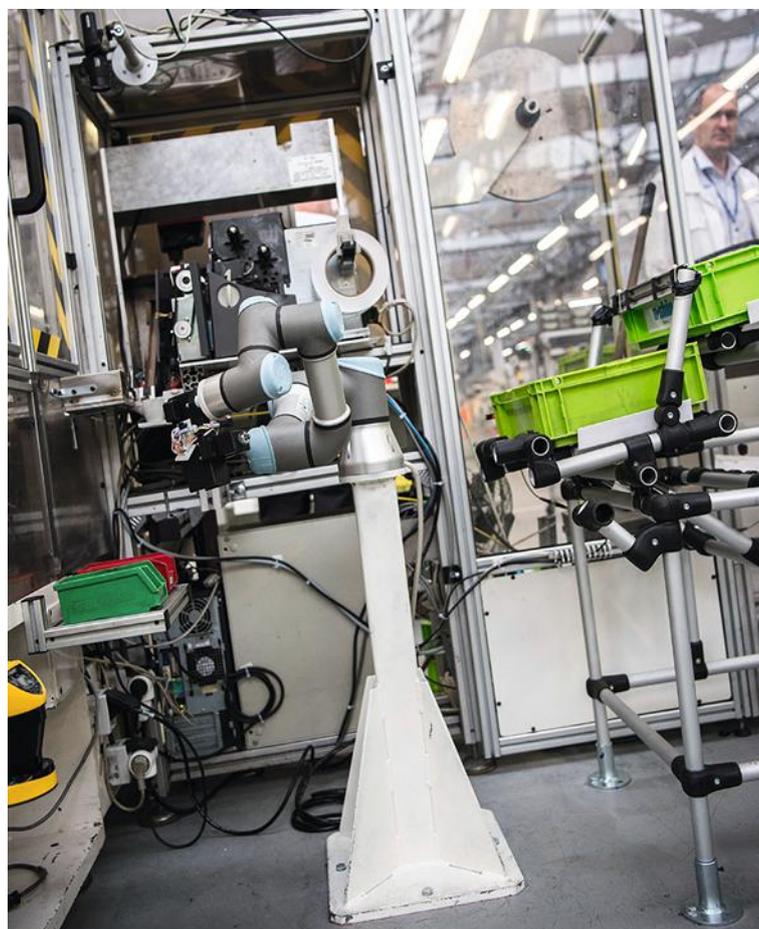
Les exigences de sécurité liées à la mise en œuvre des robots industriels sont couvertes essentiellement par les normes : NF EN ISO 10218 – Partie 1 [9] concernant la conception du robot ; et Partie 2 [1] concernant l'intégration du robot dans une application ; ainsi que le document technique ISO TS 15066 [10] apportant des compléments d'informations. Ces documents fournissent les informations nécessaires à la conception sûre de postes de travail, permettant de la collaboration ou du partage d'espace de travail entre l'homme et le robot pendant les phases de production. Il est à noter que ces normes NF EN ISO 10218 – Parties 1 et 2, qui datent de 2011, sont en cours de révision et qu'une nouvelle version devrait voir le jour en 2023. Cette révision apporte quelques évolutions, parmi lesquelles le fait que le partage d'espace de travail ne soit plus considéré comme un fonctionnement collaboratif,

mais plutôt comme un procédé industriel particulier : le « chargement/déchargement manuel ».

La directive « Machines » [11] demande l'application de principes ergonomiques pour réduire la gêne, la fatigue et les facteurs de risques physiques, en tenant compte de la variabilité des opérateurs et en leur donnant suffisamment d'espace au poste de travail pour effectuer les mouvements et adopter les postures nécessaires à l'exécution de leurs tâches. La directive souligne également que le rythme de l'opérateur ne doit pas être déterminé par celui de la machine. Afin de limiter les risques psychiques, la directive préconise que l'opérateur ne soit pas contraint d'observer la situation de travail pendant de longues périodes afin d'éviter un nombre élevé d'opérations mentales complexes à réaliser. Enfin, il est spécifié dans la directive que l'interface homme – machine doit être conçue de manière à être adaptée aux caractéristiques prévisibles de l'opérateur (auditives, visuelles et sensorielles).

Solutions techniques

Les fabricants de robots mettent en œuvre certaines solutions de prévention qui permettent d'atténuer les effets liés à un éventuel contact homme – robot. Ces solutions embarquées dans



© Gaël Kerbaol/INRS/2017





→FIGURE 3
Solutions techniques pour la robotique collaborative.

les « robots collaboratifs » peuvent être complétées par des solutions mises en œuvre lors de l'intégration de l'application. En plus des solutions embarquées, la norme définit des éléments de sécurité qui peuvent être appliqués séparément, ou en association pour assurer la sécurité des opérateurs (Cf. Figure 3).

→ *Caractéristiques du robot*

Comme mentionné précédemment, les fabricants conçoivent les robots collaboratifs de façon à réduire les dommages qui peuvent être engendrés par un contact homme-robot. Cela consiste à restreindre la masse du robot afin de limiter les énergies induites lors d'une éventuelle collision, à supprimer les angles vifs et parties saillantes et, dans certains cas, à utiliser des matériaux souples qui permettent d'amortir le choc.

→ *Arrêt du robot*

(« *arrêt nominal de sécurité contrôlé* »)

Cette solution consiste à arrêter le robot lorsque l'opérateur pénètre dans l'espace de travail partagé à la fois par le robot et l'opérateur (espace de travail collaboratif), afin de prévenir tout risque de collision. Le robot peut ensuite reprendre son travail en mode automatique, dès que l'opérateur quitte cet espace. La plupart des fabricants de robots proposent des cartes ou des modules de sécurité permettant de mettre en œuvre ce type de collaboration, grâce à des fonctions de sécurité adaptées.

→ *Guidage manuel*

Cette solution est utilisée quand l'opérateur est en contact direct avec le robot. Les actions de l'utilisateur (effort, mouvement) sont mesurées et permettent de déplacer le robot. Ce type d'interaction peut être utilisé aussi bien pour les phases d'apprentissage et de réglage que pour les phases de production. Afin de réduire les risques associés à ce type d'opération, le robot est équipé d'un dispositif de validation à trois positions, associé à une

vitesse réduite de sécurité. Ainsi, dès que l'opérateur actionne/relâche le dispositif de validation, un arrêt de sécurité du robot est commandé. Ce type de solution est souvent utilisé pour mettre en œuvre des robots collaboratifs d'assistance physique [12].

→ *Distance entre opérateur et robot (« contrôle de vitesse et de distance de séparation »)*

Ce dispositif de sécurité fait en sorte que le robot se déplace à une vitesse réduite, tout en maintenant une distance de séparation définie avec l'opérateur. L'objectif est de prévenir toute collision, sans arrêter le robot tant que cela est possible. Toutefois, si la distance de séparation n'est plus respectée, un arrêt de sécurité est commandé. L'un des éléments clés de cette sécurité est l'utilisation de dispositifs capables de reconnaître un opérateur et de détecter ses mouvements en temps réel. Certaines technologies à base de caméras ou de capteurs capacitifs sont en cours de développement pour remplir cette tâche. Néanmoins, il n'existe pas sur le marché, à l'heure actuelle, de dispositif de sécurité capable de remplir cette tâche.

→ *Arrêt lors du contact homme-robot*

(« *limitation de puissance et de force du robot* »)

Cette solution implique que des dispositifs soient mis en œuvre lors de la conception du robot et/ou dans le système de commande pour limiter les forces de contact en cas de collision avec l'opérateur. Le robot doit être capable de détecter le dépassement des seuils de force et de puissance définis dans le document technique ISO TS 15066 [10] en cas de contact avec un opérateur et d'arrêter son mouvement de manière sûre. Ces dernières années, le marché a vu apparaître plusieurs robots capables de mettre en œuvre cet élément de sécurité. Ces robots sont souvent appelés *Power and Force Limited Robot (PFLR)* ou simplement « cobot ». Il faut noter que, contrairement aux autres éléments de sécurité, celui-ci ne protège pas de tous les risques liés aux collisions, mais ne peut être utilisé

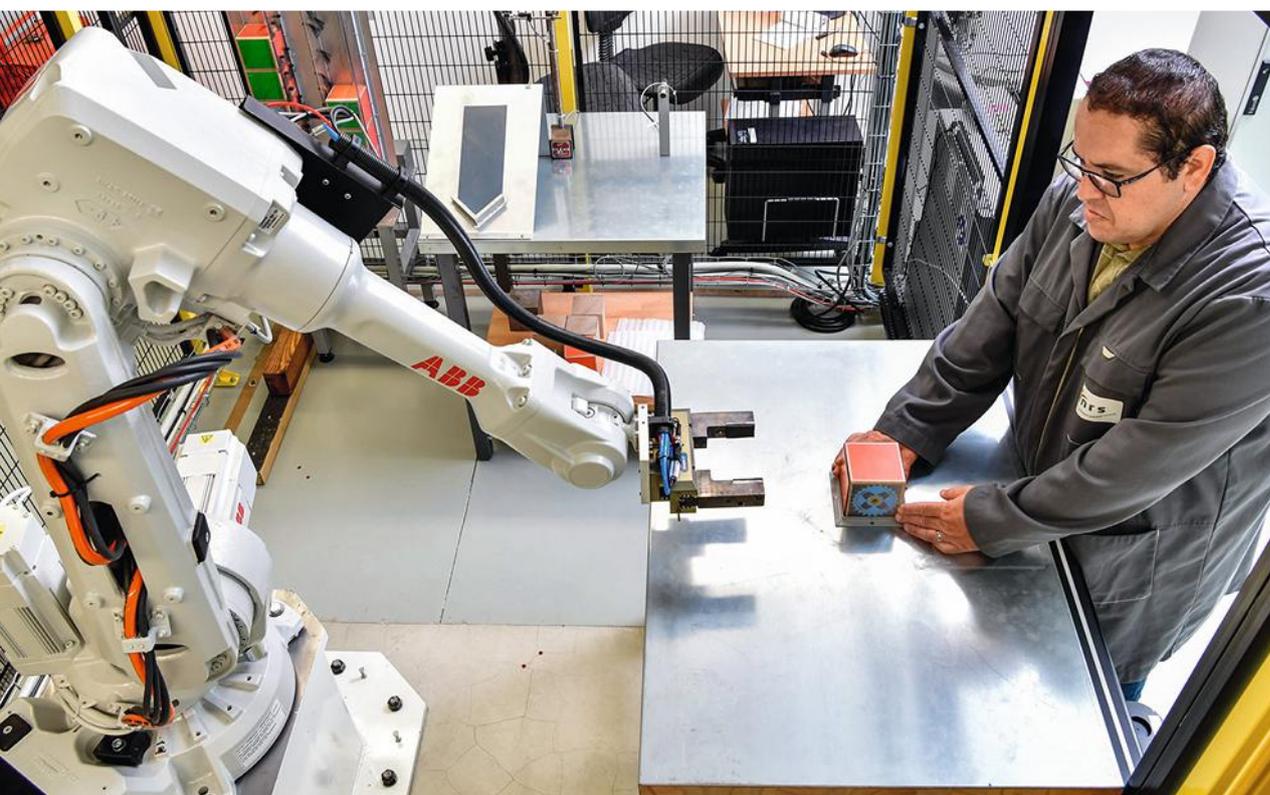
uniquement pour les risques d'impact, d'écrasement et de pincement. Une attention particulière devra donc être portée quant à son utilisation, il faudra s'assurer que cette solution soit bien adaptée aux risques identifiés lors de l'analyse des risques.

Solutions collectives et organisationnelles

Comme pour tout changement en entreprises, la préconisation qui consiste à impliquer le plus en amont possible les futurs utilisateurs, doit s'appliquer. Ainsi, au cours de l'analyse du besoin, il peut s'agir par exemple de faire participer les futurs utilisateurs à la réflexion sur l'identification et la description des tâches qui pourraient bénéficier de la robotique collaborative. Ensuite, il s'agit de penser le changement en termes de répartition des tâches entre le système robotisé et les opérateurs ainsi que leur articulation des tâches de chacun. De même, les modifications en termes d'organisation, de travail collectif ou de collectif de travail peuvent être anticipées et discutées (fixer les priorités de chacun dans la nouvelle situation de travail, préserver les marges de manœuvre de l'opérateur et du collectif dans la collaboration, ou encore, veiller à ce que les éléments relatifs au soutien social soient préservés). Par ailleurs, l'idée d'impliquer les opérateurs le plus en amont possible leur permet également de se forger une représentation adéquate du robot collaboratif, tant du point de vue des raisons de son déploiement, de ses fonctions et fonctionnalités, que sur ses avantages (suppression des tâches répétitives sans valeur ajoutée) et

ses limites. Cette phase permet aux futurs opérateurs qui vont collaborer avec le système robotisé de mieux appréhender le sens des différentes transformations de leur activité, et de leur environnement humain et technologique, ainsi que de préserver le sens de leur travail. Ainsi, les éventuels points bloquants (crainte de travailler avec une machine, isolement par rapport à un collectif, rejet de la technologie...) peuvent être identifiés en amont et appréhendés pour être discutés avec le collectif de travail et les encadrants pour élaborer des solutions (par exemple une formation et une période d'habituance peuvent être mises en place pour réduire les craintes des opérateurs à travailler avec une machine, recréer ou repenser les espaces de travail collectif pour éviter l'isolement, éviter le rejet de la technologie en s'assurant que les interactions avec le robot sont faciles, compréhensibles ou encore ne demandent pas trop d'efforts supplémentaires).

Partant du principe que lors d'opérations manuelles, des tâches de type « supervision/surveillance » du système robotisé vont émerger, il est important de les anticiper et de former les opérateurs. Il s'agit donc à la fois de les informer sur leurs nouvelles tâches et leur fournir les connaissances nécessaires pour les réaliser, notamment *via* une formation à l'utilisation du robot collaboratif, ou encore aux opérations de maintenance de premier niveau (procédure formalisée sur un support écrit et illustré). Ensuite, il est essentiel de faire interagir les opérateurs avec le robot collaboratif dans la situation



© Serge Morillon/INRS/2018

Poste de contrôle qualité sur une cellule collaborative au sein du département Ingénierie des équipements de travail (INRS).

de travail, avant sa mise en production. Cette phase doit permettre aux opérateurs de s'habituer progressivement et de s'adapter au changement, mais aussi de construire des repères pour effectuer leur tâche. L'idée est d'accompagner les opérateurs dans la construction d'une utilisation spécifique à la situation de travail, pour que ces derniers s'approprient la nouvelle technologie en contexte réel d'activité. Alors seulement, le robot collaboratif peut être intégré à l'activité de l'opérateur.

Une fois la situation de travail intégrant le système robotisé déployée, il est nécessaire de suivre son évolution sur le long terme. Ce suivi permet de surveiller l'évolution de la qualité de l'interaction homme-robot, en évaluant ses impacts physiques et psychosociaux dans la durée. En effet, il est avéré que lors de l'introduction de nouveaux systèmes, des facteurs de risques nouveaux peuvent émerger non seulement dès le début du déploiement, mais aussi sur le moyen, voire sur le long terme [13]. Ce suivi peut prendre la forme d'un retour d'expérience structuré, ou encore de points réguliers avec une équipe référente pluridisciplinaire, qui serait idéalement constituée d'un responsable, d'un préventeur, de la médecine du travail, d'opérateurs... Si des problématiques sont identifiées lors de ce suivi, des modifications de conception peuvent s'avérer nécessaires et il faut alors remettre en place l'approche de réduction de risques décrite ici.

Conclusion

La robotique collaborative implique une situation de travail où la proximité entre l'opérateur et

le robot conduit à une augmentation de risques déjà existants ou à une apparition de nouveaux risques qui étaient partiellement couverts par des protecteurs physiques. Les phénomènes dangereux auxquels l'opérateur est exposé sont multiples et de natures différentes ; ils peuvent être d'ordre mécanique, liés au procédé ou encore générés par le non-respect des principes ergonomiques.

En termes de prévention des risques, une approche pluridisciplinaire, associant notamment l'ingénierie de sécurité des machines et l'ergonomie, est donc cruciale. En effet, cette pluridisciplinarité permet de couvrir l'ensemble des risques et des solutions, que ce soit sur les aspects liés aux sciences humaines ou ceux plus techniques. Pour cela, mais aussi pour s'assurer de la faisabilité du projet, des échanges entre ces deux disciplines sont indispensables dès les premières étapes d'« analyse du besoin » (spécifications des besoins et identifications des interactions envisagées) et « d'analyse des risques » (Cf. Figure 1). Ils doivent se poursuivre tout au long du projet, ainsi que lors du suivi sur le long terme.

Pour le choix et la mise en œuvre des solutions de prévention, l'intégrateur pourra s'appuyer sur des normes (Cf. § « Contexte réglementaire et normatif »), sur la directive machine ou sur les éléments cités dans cet article. ●

1. Du point de vue de la prévention des risques, la « flexibilité » recouvre de nombreux aspects d'organisation, et n'est pas limitée à une seule vision idéologique du travail ou de la production.
Voir article p. 20 du présent dossier.

BIBLIOGRAPHIE

[1] **NORME NF EN ISO 10218-2** – Exigences de sécurité pour les robots industriels. Robots et dispositifs robotiques. Partie 2 : Système robot et intégration. Afnor, 2011, 79 p. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[2] **BARTHE B., QUEINEC Y.** – Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie. *L'année psychologique*, 1999, 99, pp. 663-686.

[3] **DE TERSSAC G., CHABAUD C.** – Référentiel opératif commun. In : LEPLAT J., DE TERSSAC G. (Éd.s) – *Les facteurs humains de la fiabilité*. Marseille, Octarès, pp. 111-119.

[4] **SCHMIDT K.** – The problem with « awareness » : introductory remarks on awareness in CSCW. *Computer supported cooperative work*, 2002, 11, pp. 285-298.

[5] **CAROLY S.** – Activité collective et réévaluation des règles comme ressources pour la santé psychique : le cas de la Police nationale. *Le travail humain*, 2011, 74 (4), pp. 365-389.

[6] **BRUN L., WIOLAND L.** – Prevention of occupational risks related to the Human-robot collaboration. In : AHAM T. ET AL. (eds) – *Human Interaction, emerging technologies and future applications III*. IHMET 2020. Advances in intelligent systems and computing. Springer, Cham, 2021, vol. 1253.

[7] **MUIR B. M., MORAY N.** – Trust in automation. Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, 1996, 39 (3), pp. 429-460.

[8] **PARASURAMAM R., SHERIDAN T.B., WICKENS C.D.** – Situation awareness, mental workload, and trust in automation: viable, empirically supported cognitive engineering constructs. *Journal of cognitive engineering and decision making*, 2008, 2 (2), pp. 140-160.

[9] **NORME NF EN ISO 10218-1** – Exigences de sécurité pour les robots industriels. Robots et dispositifs robotiques. Partie 1 : Robots. Afnor, 2011, 45 p. Accessible sur :

www.boutique-afnor.org (site payant).

[10] **NORME ISO TS 15066** – Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Collaborative operation. Afnor, 2016, 33 p. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[11] **DIRECTIVE n° 2006/42/CE** du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive n° 95/16/CE (refonte). *Journal officiel de l'Union européenne*, 9 juin 2006, n° L 157, pp. 24-86. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu>.

[12] **DOSSIER WEB INRS** – Robots collaboratifs. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/robots-collaboratifs/de-quoi-parle-t-on.html>.

[13] **GOVAERE V.** – La préparation de commandes en logistique : mutations technologiques et évolutions des risques professionnels. *Hygiène & sécurité du travail – Cahiers de notes documentaires*, 2009, 214, ND 2302, pp. 3-13.

COLLABORATION HOMME – ROBOT SUR UNE CHAÎNE DE PRODUCTION : ÉTUDE DE CAS DANS LE SECTEUR DE L'AGROALIMENTAIRE

Classiquement, les robots collaboratifs sont décrits comme effectuant les tâches répétitives ou pénibles, tandis que les opérateurs réalisent des tâches à haute valeur ajoutée. Les entreprises appréhendent souvent les technologies de robotique collaborative comme des dispositifs d'assistance physique qu'ils déploient dans le cadre de la prévention des troubles musculosquelettiques (TMS)¹.

L'INRS a mené une étude dans une entreprise du secteur alimentaire ayant déployé des robots collaboratifs pour diminuer les facteurs de TMS.

L'objectif était d'identifier et de comprendre les conséquences de la collaboration homme – robot sur l'activité des opérateurs et de recueillir leurs ressentis.

LIËN
WIOLAND
INRS,
département
Homme
au travail

ALAIN
BALSIERE
Carsat
Rhône-Alpes

Contexte de troubles musculosquelettiques

Les troubles musculosquelettiques (TMS) sont de loin les maladies professionnelles reconnues comme les plus fréquentes depuis plus de vingt ans en France [1], mais aussi en Europe [2]. Ce sont des troubles multifactoriels à composante professionnelle. Les facteurs qui sont à l'origine des TMS sont biomécaniques et liés aux contraintes psychosociales et organisationnelles. À ces facteurs, il convient d'ajouter des facteurs individuels, comme l'avancée en âge ou certains antécédents médicaux, qui en favorisent la survenue.

Une démarche de prévention des TMS comprend classiquement plusieurs étapes, allant de la mobilisation de différentes fonctions de l'entreprise (préventeur, direction et encadrement, service de prévention et de santé au travail, opérateurs, etc.) jusqu'à l'évaluation des solutions et des actions déployées suite au diagnostic réalisé. La question de l'intérêt d'intégrer un robot collaboratif n'est donc pas la première qui se pose à l'entreprise, mais elle peut émerger au moment où les différentes solutions envisageables ont été explorées. L'entreprise peut alors faire le choix d'intégrer la solution de la robotique collaborative, après s'être assurée qu'elle corresponde aux besoins. Cette technologie constitue un changement important de paradigme ; l'opérateur se trouvant à collaborer avec un robot collaboratif dans un contexte de proximité physique (sans être séparés par des barrières).

Cette nouvelle configuration suscite des interrogations en termes de santé et sécurité (Cf. *article précédent dans ce dossier*, p. 30²).

Objectifs de l'étude de cas

Dans le cadre de sa mission de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, l'INRS a mené une étude dans une entreprise ayant déployé des robots collaboratifs pour diminuer les facteurs de risques de TMS. Cette étude avait pour objectif de mieux comprendre la collaboration homme – robot et d'en identifier l'impact et les conséquences sur l'activité de l'opérateur et son ressenti. Elle s'est déroulée sur une chaîne de production dans le secteur de l'agroalimentaire.

Contexte de l'étude

Une étude ergonomique a été réalisée auprès d'une entreprise agroalimentaire qui a intégré, depuis un peu plus d'une année, des robots collaboratifs sur deux lignes d'emballage de produits agroalimentaires en fin de chaîne de production. La collaboration homme – robot y est indirecte : les opérateurs travaillent avec les robots collaboratifs sur le même objet de manière séquentielle et dans le même espace de travail. Ces deux lignes présentent des différences dans la nature des produits qui y sont acheminés. Par ailleurs, la première ligne de production comporte un seul robot collaboratif, alors que la seconde en comporte deux.



CLASSES D'ACTIVITÉ	CATÉGORIES	DÉFINITIONS
Les activités physiques	Préparation des emballages	Réapprovisionnement des distributeurs de cartons, gestion des étiquettes d'identification des produits (impression, collage...).
	Préparation des cartons	Déplier et poser les cartons sur le socle dédié.
	Régulation de la production et mise en cartons	Opérations manuelles pour réguler le flux des étuis en amont et en aval de l'étuyeuse (ajouter ou retirer des produits à l'entrée de l'étuyeuse, enlever les étuis qui s'accumulent...).
		En situation d'activité sans robot, les opérations manuelles de « mise en cartons » des étuis sont intégrées à cette catégorie.
	Régulation du robot	Préparation et remplissage des cartons en parallèle des robots.
	Évacuation	Dépose des cartons en fin de ligne sur un chariot, puis les filmer et les stocker dans la pièce dédiée.
Les activités de supervision	Surveillance du robot	Prises d'informations visuelles sur le robot pour évaluer si tout se passe comme prévu.
	Surveillance du flux de production	Prises d'informations visuelles sur la ligne de production pour évaluer si tout se passe comme prévu.
Les activités liées à la gestion des incidents	Incidents robots	Gestion des dysfonctionnements des robots et de leurs effets (remettre correctement les étuis que le robot vient de placer dans le carton).
	Incidents production	Gestion d'un incident de production (ouvrir les portes de l'étuyeuse pour évacuer des étuis abîmés qui bloquent la machine).
Les « autres » activités	Maintenance	Interactions avec l'équipe de maintenance autour d'un problème rencontré avec le robot, que les opérateurs ne parviennent pas à gérer seuls.
	Aide	Apporter de l'aide ou recevoir de l'aide de la part des collègues.
	Entretien	Opérations de nettoyage du poste de travail (balayer, évacuer les déchets...).
	Contrôle qualité	Effectuer des contrôles qualité des produits (passage des produits aux détecteurs de métaux, vérifier si la marchandise répond bien aux exigences attendues...).

→ TABLEAU 1
Catégories utilisées pour le codage de l'activité.

Selon l'objectif de production à atteindre, un ou deux opérateurs sont présents sur chaque ligne.

Description de la tâche et répartition des opérations entre les opérateurs et les robots collaboratifs

Les produits, fabriqués en amont de la chaîne, sont acheminés sur un convoyeur à tapis motorisé pour être conditionnés par des étuyeuses (machines automatiques permettant de donner forme à des étuis dans lesquels les produits sont emballés). À la sortie de cette machine, les opérateurs doivent prendre un carton stocké sur un distributeur, le déposer sur un support, puis attraper les étuis qui parviennent par le convoyeur pour les ranger deux par deux dans le carton. Le poids de ces étuis peut aller de 150 g à 1 kg selon les produits emballés. Une fois le carton rempli, l'opérateur le fait glisser sur un convoyeur à rouleaux vers une scotcheuse automatique, puis vers un espace de stockage. Ces opérations, qui doivent être effectuées à une cadence plus ou moins soutenue selon les contraintes de production, ont été identifiées par l'entreprise comme facteur de risque de TMS, car elles sollicitent de façon répétitive, et durablement, les membres supérieurs. Ainsi, les robots collaboratifs ont été intégrés sur les deux chaînes pour prendre en charge ces opérations (« prépa-

ration de cartons et mise en cartons des étuis»). Après intégration, les opérateurs ont désormais pour tâches de surveiller le bon déroulement de l'ensemble de la chaîne de production, d'effectuer des contrôles qualité des produits, d'approvisionner les distributeurs de cartons, de superviser les opérations des robots et d'évacuer manuellement les cartons remplis d'étuis.

Méthode d'investigation déployée

La méthode utilisée pour mener cette étude comprend trois étapes :

- Une phase de pré-observation « papier-crayon » de l'activité de quatre opérateurs travaillant avec les robots collaboratifs. Cette phase a permis de comprendre les tâches effectuées, leur enchaînement, ainsi que les interactions entre les opérateurs et le robot. Les opérations réalisées par les opérateurs ont ensuite été formalisées pour définir un protocole de codage de leur activité (Cf. Tableau 1).
- Une phase d'observation et de codage de l'activité :
 - sur la ligne n° 1 : l'activité de l'opérateur « sans robot » a été observée durant quatre heures et codée en temps réel avec le logiciel Captiv³. Cette démarche a ensuite été déployée pour la même activité (même opérateur et même

produit), réalisée «avec le robot collaboratif» sur une durée de trois heures ;

- sur la ligne n° 2 : l'activité de deux opérateurs qui ont travaillé en alternance sur le poste «avec le robot collaboratif» a été observée et codée en temps réel, avec le même protocole de codage sur trois jours, soient dix heures au total (les périodes de pause ainsi que les aléas ayant été écartés des données analysées car sans lien avec l'objectif de l'étude).

- Des entretiens ont été menés avec les huit opérateurs de l'entreprise qui travaillent avec les robots collaboratifs. Les opérations effectuées par les opérateurs ont été formalisées en treize catégories, regroupées en quatre classes :

- une première classe regroupant les activités à dominante physique, qui comprend cinq catégories, allant de la gestion des emballages aux actions de régulation de la production ou encore, l'évacuation des cartons en fin de chaîne de production ;

- une classe pour les activités de supervision ; à savoir, les prises d'informations visuelles sur le robot collaboratif ou la ligne de production pour évaluer si la situation est conforme à ce qui est attendu ;

- une classe concernant les activités de gestion d'incidents, qui font généralement suite

à des activités de supervision et qui consistaient en des actions correctives pour revenir à une situation normale ;

- une dernière classe pour les «autres» activités, telles que les opérations de maintenance, d'entretien, de contrôle qualité et d'entraide.

L'ensemble des classes et catégories est détaillé dans le *Tableau 1*.

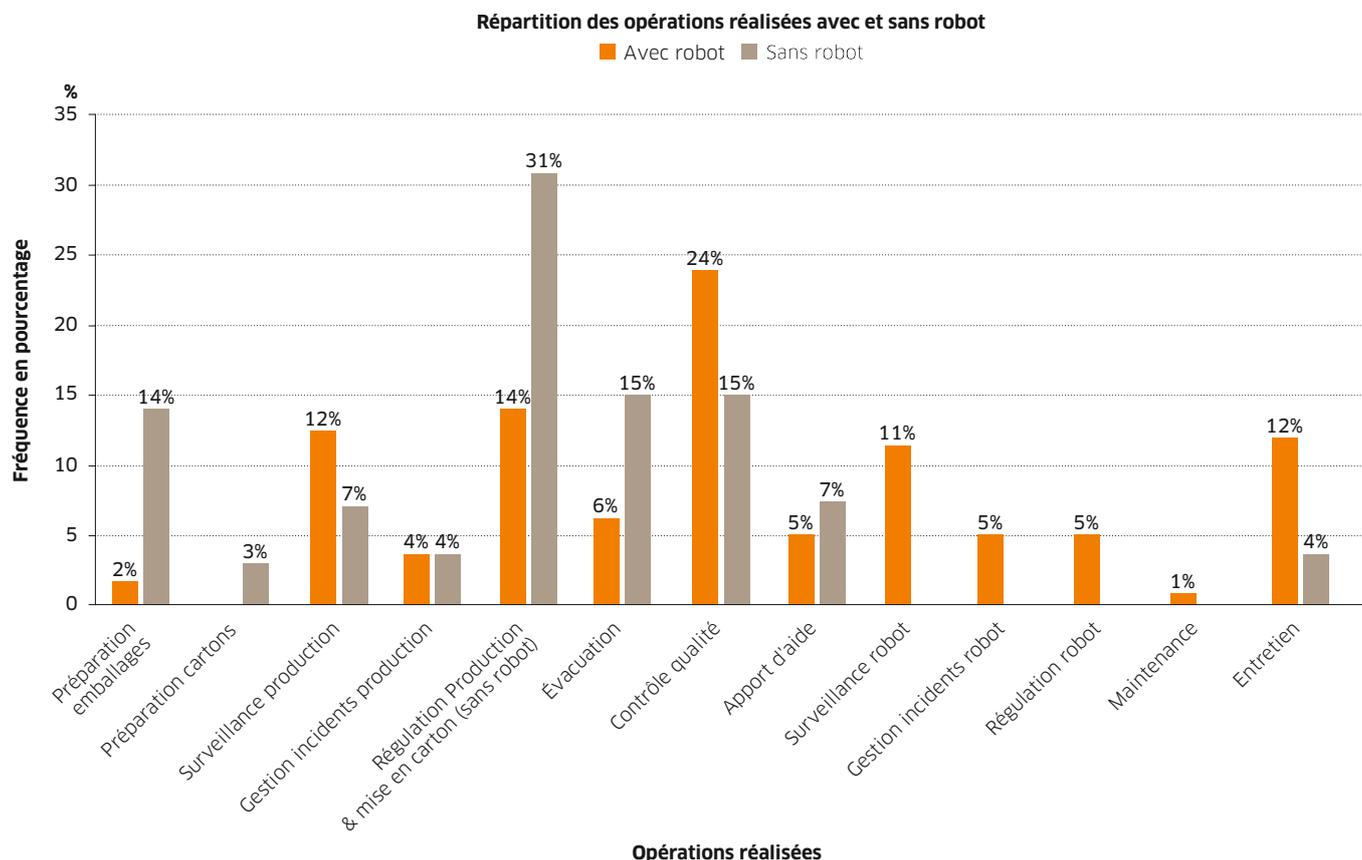
Résultats des observations

Une partie des résultats concernant les modifications de l'activité et le ressenti des opérateurs suite à l'introduction de la robotique collaborative est synthétisée ci-après. Les fluctuations de production sur les opérations de préparation d'emballages et d'évacuation sont indépendantes du fait d'introduire ou non un robot. Leur impact sur les activités n'est donc pas développé dans le cadre de cet article. Les éclairages qui sont apportés découlent des verbalisations concomitantes à l'activité, recueillies au cours des observations.

→ Résultats issus de la première ligne de production

L'activité du même opérateur, concernant le même produit à emballer, a été comparée en termes de fréquence d'opérations réalisées (leurs durées étant identiques) dans deux configurations de travail différentes ; la première «sans robot collaboratif», la seconde «avec robot» (Cf. *Figure 1*).

↓ **FIGURE 1**
Répartition des opérations réalisées sans robot et avec le robot collaboratif.



→ **TABLEAU 2**
Répartition
des opérations
réalisées avec
les deux robots
collaboratifs.

OPÉRATIONS	POURCENTAGE
Surveillance du robot	21 %
Surveillance de production	14 %
Régulation de production	13 %
Gestion des incidents de production	9 %
Évacuation	9 %
Gestion des incidents robot	8 %
Contrôle qualité	6 %
Régulation du robot	6 %
Préparation des emballages	5 %
Préparation des cartons	3 %
Entretien	3 %
Apport d'aide	1 %
Maintenance	1 %

Les principaux résultats montrent que :

- En situation de travail avec le robot collaboratif, les opérations manuelles sont moins fréquentes, comparativement à la situation sans le robot, pour les activités de « préparations de cartons » (aucune avec le robot et 4 % sans le robot) et de « régulations de la production/mise en cartons » (15 % avec le robot, 44 % sans le robot). Ce résultat était attendu, puisque le robot prend en charge une partie de ces opérations.
- En revanche, les opérations de « contrôle qualité des produits » ont été réalisées plus fréquemment lorsque l'opérateur travaille avec le robot (24 %) que sans (15 %). La même tendance a été observée concernant les activités de « surveillance de la production » (12 % avec le robot et 7 % sans le robot). Ces résultats mettent en évidence que le temps libéré par la prise en charge de certaines opérations par le robot permet aux opérateurs de se concentrer davantage sur d'autres opérations. Ainsi, les « contrôles qualité » plus nombreux permettent de réaliser un meilleur suivi des produits arrivant de l'amont de la chaîne. En effet, certains défauts ont pu être détectés plus tôt et ont permis aux opérateurs en amont de la chaîne de production de les corriger rapidement et d'éviter ainsi de détruire certains produits ou de relancer un cycle de production. De même, les opérations de « surveillance de la production » permettent d'anticiper et d'agir en amont pour éviter certains incidents et maintenir la fluidité de production. Le même constat a été posé pour les opérations « d'entretien » ; elles sont trois fois plus fréquentes lorsque l'opérateur travaille avec le robot (12 %) que sans (4 %). Elles permettent de maintenir l'ensemble du poste de travail propre et non encombré, réduisant ainsi des difficultés de circulation ou des risques de chutes liés aux déchets (cartons, étuis abîmés, étiquettes, plastiques au sol...).

- De nouvelles activités de supervision liées à la présence du robot collaboratif sont également apparues :
 - une surveillance du robot (11 % des opérations effectuées), correspondant à une succession d'opérations cognitives allant de la prise d'information visuelle, à la comparaison de certains critères de la situation en cours, à la réalisation de diagnostics, jusqu'à la prise de décision d'agir ou non ;
 - la gestion des incidents liés au robot (5 %) met en lumière que les opérateurs diagnostiquent la cause des incidents et déploient une solution adaptée ;
 - la régulation des opérations prises en charge par le robot (5 %) montrent que les opérateurs sont contraints de compenser la production du robot collaboratif qui, de par sa vitesse réduite (pour des raisons de sécurité), ne parvient pas à atteindre les objectifs de production.

→ Résultats de la seconde ligne de production

Sur cette ligne, les résultats sont issus d'observations et codages de l'activité de deux opérateurs qui ont alterné sur le poste dans la même configuration de travail, à savoir avec deux robots collaboratifs (Cf. Tableau 2).

Les principaux résultats sont concordants avec ceux de la ligne n° 1 :

- réduction de certaines opérations manuelles telles que les activités de « préparations de cartons » (3 %) et les mises en cartons des étuis (absence) ;
- apparition des nouvelles activités de supervision liées à la présence du robot collaboratif ; « surveillance du robot » (21 %), « gestion des incidents liés au robot » (8 %) et « régulation des opérations prises en charge par le robot » (6 %).

Les résultats ont aussi mis en évidence que l'opération la plus fréquemment réalisée est la surveillance du robot (21 %). Ce résultat peut s'expliquer par la présence de deux robots plutôt qu'un seul, mais il est également à mettre en lien avec la fiabilité de la ligne de production. En effet, des incidents fréquents ont été observés sur l'étuyeuse en amont des robots. Pour donner un ordre de grandeur, il apparaît que les opérations de « gestion des incidents de production » ont été deux fois plus fréquentes sur la seconde ligne de production (9 %) que sur la première ligne en configuration « avec robot » (4 %). Selon les cas, soit la machine doit être arrêtée pour gérer l'incident, soit les étuis qui en sortent ne sont pas optimaux et les robots ne parviennent plus à les prendre ou à les ranger correctement dans les cartons. Des situations de cumuls d'incidents, que les opérateurs ont gérés sous pression puisque la partie amont de la chaîne de production n'était pas à l'arrêt, ont également été observées. Compte tenu de ce contexte, les opérateurs ont expliqué devoir davantage

les surveiller pour anticiper et éviter d'éventuels « incidents robot ».

Les activités de « contrôle qualité » (6 %) et « d'entretien » (3 %) ne sont pas des opérations particulièrement fréquentes sur la seconde ligne. Toutefois, elles apparaissent quatre fois moins souvent que sur la première ligne, en configuration « avec robot collaboratif ». Ainsi, sur cette ligne, la présence des robots collaboratifs n'a pas permis aux opérateurs de se libérer autant de temps au bénéfice d'autres opérations que sur la première ligne.

→ Résultats issus des entretiens

Huit entretiens semi-directifs sur le ressenti des opérateurs vis-à-vis de la robotique collaborative ont été réalisés avec des salariés interagissant avec les robots collaboratifs. Ils ont été menés dans une pièce calme, propice à la discussion, et à l'écart des autres salariés de l'entreprise. Avec l'accord des salariés, ils ont été enregistrés et retranscrits dans leur intégralité. Les verbatim ont ensuite été classés selon trois principales thématiques : l'impact de l'intégration des robots collectifs sur l'activité des opérateurs, leurs conditions de travail, et leur ressenti. Les résultats sont les suivants :

- cinq opérateurs sur les huit interrogés ont considéré qu'apprendre à travailler avec le robot collaboratif et comprendre son fonctionnement a été « simple ». Ils ont souligné que l'appropriation de cette technologie a été rapide. Après une année d'utilisation, les trois quarts pensent avoir une bonne compréhension des opérations effectuées par les robots, ainsi que de leurs trajectoires. Ils considèrent qu'ils savent comment se positionner par rapport à eux et les distances à maintenir. Au final, ils se sentent à l'aise dans la situation de travail, ont confiance et n'ont pas peur du contact avec les robots ;
- la majeure partie d'entre eux (six sur huit) a explicité que leur activité est devenue moins physique, avec une diminution des gestes répétitifs et une disparition de certaines opérations. Trois ont signalé qu'ils sont moins fatigués et ressentent moins de douleurs (au niveau du dos, des membres inférieurs et supérieurs), voire que certaines ont disparu ;
- la moitié des opérateurs a signalé que leur activité s'est enrichie grâce aux tâches de supervision. Cinq ont signalé une diminution de leur nervosité et tension ; ils ont dit être moins « stressés ». Deux d'entre eux ont parlé d'amélioration globale des conditions de travail ;
- une grande majorité (six sur huit) considère que, grâce à la prise en charge de certaines opérations par les robots collaboratifs, ils ont davantage de temps. Ainsi, ils parviennent à mieux s'organiser, à mieux anticiper (par exemple en préparant à l'avance des cartons), à mieux réguler le flux



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2017

de production et à davantage aider leurs collègues (notamment dans la régulation des incidents). En termes de cadence, la moitié a précisé qu'elle est restée identique, voire un peu plus lente qu'avant l'intégration des robots.

Au final, la majorité des opérateurs (six sur huit) pensent que l'intégration de la robotique collaborative avait amélioré leur poste et leurs conditions de travail. Ils disent avoir le sentiment d'avoir gagné en autonomie dans leur activité et se sentent valorisés de travailler au contact des nouvelles technologies.

Des réserves ont cependant été exprimées ; deux opérateurs ont signalé être gênés dans leur activité par la vitesse réduite des robots, qu'ils considéraient comme ralentissant le flux de production ; deux autres ont critiqué le fait que c'était à eux de s'adapter au robot et que l'interaction manquait de flexibilité, et la moitié des opérateurs a indiqué que le robot était venu remplacer un opérateur. Les incidents rapportés avec les robots étaient principalement des « bugs » qui, pour deux des opérateurs, sont « irritants ». Deux opérateurs ont rapporté des chocs dus au contact avec le robot collaboratif au niveau des membres supérieurs et de la tête. Les opérateurs ont formulé sous forme d'anecdotes que des opérateurs extérieurs, intervenant très rarement sur la ligne de production, ont également subi des chocs. Durant les observations, les auteurs ont identifié à plusieurs reprises des postures dynamiques d'évitement du bras du robot, effectuées par les opérateurs. De même, une situation qui a conduit à une

Entreprise de fabrication de plats préparés : des cobots installés sur les chaînes de production viennent en soutien des opérateurs, afin de limiter les gestes répétitifs et postures favorisant les risques de TMS.



compression, sans gravité, de la main d'un des opérateurs par le bras du robot collaboratif a été notée au cours de ces observations.

Discussion et conclusion

Cette étude met en évidence que l'intégration des robots collaboratifs a modifié l'activité physique et cognitive des opérateurs, qui semblent globalement satisfaits. L'entreprise a fait le choix d'intégrer cette technologie dans le but de réduire les facteurs de risques de TMS. De ce point de vue, certaines contraintes physiques semblent avoir diminué, puisqu'une partie des opérations répétitives sollicitant les membres supérieurs est prise en charge par les robots collaboratifs. Toutefois, d'autres opérations manuelles, sollicitant également les membres supérieurs, sont apparues. Ces résultats laissent donc supposer une diversification des gestes, mais le gain en termes de sollicitations biomécaniques reste à vérifier.

D'autre part, des tâches de supervision et de régulation sont venues enrichir l'activité des opérateurs. Ces activités cognitives sont en lien avec la notion de charge mentale, à savoir l'ensemble des ressources cognitives mobilisées par l'opérateur, qui lui permettent de répondre aux exigences de la tâche qu'il réalise [3]. Les opérateurs essaient d'adapter leur niveau de ressources cognitives sollicitées au niveau d'exigences de la tâche qu'ils perçoivent [4]. Ainsi, si les exigences deviennent trop élevées par rapport aux ressources cognitives, elles peuvent alors constituer un facteur de risque psychosocial. Or, même si les tâches de supervision et de régulation enrichissent l'activité des opérateurs, il est nécessaire de garder à l'esprit que ces dernières s'inscrivent dans un contexte de production. Ce contexte peut être amené à varier, et notamment à être plus contraignant sur certaines périodes (en particulier au moment des fêtes de fin d'année, dans le secteur agroalimentaire étudié), conduisant ainsi à une augmentation de la cadence de production. Si ce contexte se dégradait, par exemple avec un rythme de production plus élevé, asso-

cié à une augmentation des dysfonctionnements des machines qui a été observée, des questions liées à la surcharge mentale se poseraient. L'organisation de la production, ainsi que l'amélioration de la fiabilité des machines et du poste de travail, constituent des points de vigilance importants dans un contexte de prévention des TMS.

Concernant les contacts observés entre les opérateurs et les robots collaboratifs, ils sont acceptés par les opérateurs, qui se sentent responsables de leur occurrence. L'analyse des risques permet de les identifier, afin de définir les mesures de prévention adaptées (Cf. deux articles précédents³).

In fine, même si l'intégration d'un robot collaboratif peut être une solution parmi d'autres pour prévenir les TMS, il est avant tout nécessaire d'identifier le besoin réel auquel cette technologie peut répondre. Ensuite, il est indispensable de se questionner plus largement sur les transformations qu'elle va amener sur l'activité physique (réduction d'opérations, nouvelles opérations...) et cognitive des opérateurs, mais aussi sur le collectif et l'organisation.

De même, les risques mécaniques, ainsi que ceux liés aux procédés, doivent être identifiés pour être évités. Lorsqu'une telle technologie est intégrée au sein d'une ligne de production, une vérification et un suivi de la fiabilité des machines et autres éléments techniques en amont ou en aval sont nécessaires. Ainsi, une analyse des risques est indispensable à réaliser. Une fois intégré, un suivi structuré est à mettre en place pour s'assurer que l'interaction entre les opérateurs et les robots collaboratifs est de qualité et sans risque. Il serait alors intéressant de retourner dans cette entreprise, afin d'analyser les éventuelles évolutions sur la chaîne de production où les robots collaboratifs ont été intégrés. ●

1. Cet article aborde le cas d'une entreprise appréhendant la robotique collaborative sous l'angle d'un dispositif d'assistance physique à des fins de prévention des TMS. Deux des articles précédents l'abordent plus globalement comme un outil répondant à des besoins de flexibilité.

2. Voir : TILHAY D., BLAISE J.C. – Robotique collaborative : les enjeux en termes de prévention des risques professionnels ; et SGHAIER A., WIOLAND L. – Robots collaboratifs : de l'identification des risques aux solutions techniques et organisationnelles. Voir dans le présent dossier, pp. 20 et 30.

3. L'outil Captiv (sigle initial créé par l'INRS : Centrale d'acquisition de la pollution au travail informé par vidéo) a été développé pour l'analyse ergonomique des situations de travail. Voir : <https://www.teaergo.com/fr/captiv-solution-ergonomie-des-postes-de-travail/>.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ASSURANCE MALADIE – RISQUES PROFESSIONNELS – L'essentiel 2018 – Santé et sécurité au travail. Accessible sur : https://www.risquesprofessionnels.ameli.fr/fileadmin/user_upload/document_PDF_a_telecharger/brochures/L'essentiel2018_WEB.pdf.

[2] ROQUELAURE Y. – *Musculoskeletal disorders and psychosocial factors at work*. Bruxelles, ETUI, 2018, Rapport 142.

[3] LEPLAT J. – Les facteurs déterminant la charge de travail. *Le travail humain*, 1977, 40 (2), pp. 195-202.

[4] MARTIN C., HOURLIER S., CEGARRA J. – La charge mentale de travail : un concept qui reste indispensable, l'exemple de l'aéronautique. *Le travail humain*, 2013, 76 (4), pp. 258-308.

Remerciements

Les auteurs remercient Laurie Brun, Olivier Morel et Virginie Govaere pour leur participation, ainsi que le personnel de l'entreprise interrogée dans le cadre de cette étude.