

Robotique

L'HOMME AU TRAVAIL ET LE ROBOT: UNE RELATION À INVENTER

Qu'ils soient industriels, de service professionnel ou d'assistance à la personne, les robots se diversifient et investissent de plus en plus de secteurs d'activité. Ils peuvent aujourd'hui collaborer avec l'homme et représentent une réelle opportunité pour le soulager dans ses tâches. Mais ils apportent avec eux de nouveaux risques pour la santé et la sécurité de l'opérateur, que les entreprises et les acteurs de prévention doivent prendre en compte.

WORKING WITH ROBOTS: A NEW RELATIONSHIP TO BE INVENTED - Be they industrial, or used for occupational services or for assisting with personal care, robots and logic controllers are diversifying and are to be found in increasing numbers of sectors of activity. Today, they can work with humans and they represent a genuine opportunity for relieving humans of some of their workload. But, they also bring new risks for the health and safety of operators, and firms and OSH players need to take such risks into account.

PHILIPPE
CHARPENTIER,
ADEL
SGHAIER,
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

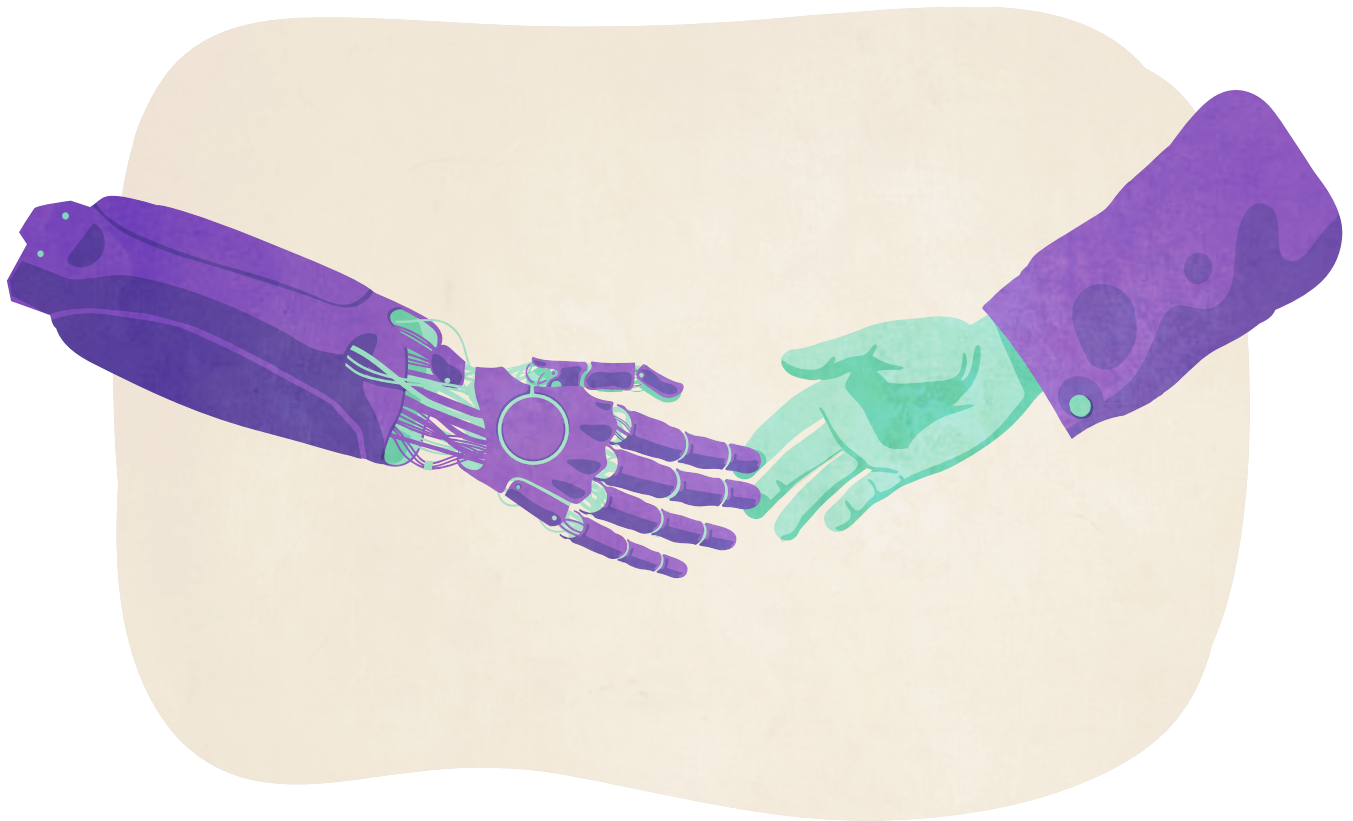
Depuis quelques années, les progrès scientifiques et technologiques réalisés dans les différents domaines – mécanique, électronique, automatique et informatique – impactant la robotique ont élargi le spectre de ses applications. Elles sont ainsi de plus en plus nombreuses et variées dans le domaine manufacturier où elles sont utilisées pour réaliser des tâches complexes, pénibles ou répétitives, ou pour opérer dans des milieux inaccessibles à l'homme (nucléaire, exploration planétaire, etc.). Parallèlement, de nouveaux types de robots ont fait leur apparition – robots de service professionnel ou d'assistance à la personne, en particulier des personnes handicapées ou âgées – que l'on trouve aujourd'hui à l'état de prototype ou en phase de commercialisation. Les prévisions pour les décennies à venir laissent présager une forte croissance du marché de ces systèmes robotisés. Dans le monde du travail, la plupart de ces applications ont pour conséquence de faire sortir les robots des cages dans lesquelles ils étaient le plus souvent placés, supprimant par là même les barrières physiques qui protégeaient les opéra-

teurs ou les tiers des mouvements dangereux des robots. Ainsi, les robots deviennent collaboratifs et interagissent avec l'homme au sein d'un espace de travail partagé. Mais une telle cohabitation au sein d'un même espace de travail peut engendrer des risques pour la sécurité et la santé des opérateurs (collisions, troubles musculosquelettiques, risques psychosociaux, surcharge mentale...). Dès lors, comment protéger les opérateurs, en particulier en cas de défaillance de la commande, de mauvaise programmation ou de réaction fortuite du robot ou de l'opérateur placés dans des situations nouvelles ou inattendues ?

La recherche en prévention

Les travaux actuels de recherche s'orientent principalement sur l'interaction entre le robot, l'environnement et surtout l'utilisateur. Dans le champ de la prévention, les recherches portent principalement, pour l'ensemble des robots, sur :

- les moyens mécaniques de rendre les robots moins dangereux, en limitant la force des impacts (robots à masse faible, actionneurs à raideur variable);
- la commande du robot (commande du robot en



effort/capteurs d'efforts, technique d'évitement de collisions);

- les moyens de perception de l'environnement (détection par vision, capteurs tactiles).

Des réponses ont ainsi été apportées par les concepteurs des robots de nouvelle génération, avec pour objectif d'éliminer les dommages causés lors d'une collision entre une partie du robot et l'utilisateur. Par exemple, une des solutions pour réduire ces dommages est d'utiliser des actionneurs électriques à raideurs variables qui permettent d'augmenter la

compliance des articulations des robots travaillant à proximité de l'homme, c'est-à-dire permettre au robot d'avoir un comportement souple en cas de collision. Les éléments compliant permettent de découpler l'inertie de la partie en collision du reste du robot [4].

Les systèmes de commande ont également fait l'objet d'innovations. Pour faciliter le mouvement de leurs axes dans un environnement fixe et connu, les robots industriels classiques sont généralement commandés en position. Dans le cadre de la robo-

ENCADRÉ 1

LES PRINCIPAUX TYPES DE ROBOTS UTILISÉS DANS LE MONDE DU TRAVAIL

- **Les robots industriels** sont des machines automatisées permettant de déplacer des objets, destinées à être utilisées dans les applications d'automatisation industrielle. Leur commande est automatique, reprogrammable, multi-applications. Ils peuvent être programmés suivant trois axes ou plus et peuvent être fixes ou mobiles. (cf. ISO 10218-1) [1].

- **Les robots de service professionnel** sont des « robots de service utilisés pour une tâche commerciale, habituellement par un opérateur qualifié » (cf. ISO 8373) [2]. Tous

les robots se substituant à l'homme pour réaliser des tâches dans le cadre professionnel entrent donc dans cette catégorie: robots de nettoyage de lieux publics, robots de distribution dans les hôpitaux, etc. En lien avec la télé-opération, ces robots pourront aussi être utilisés dans le monde professionnel pour éviter des expositions à certains risques, par exemple dans des environnements agressifs.

- **Les robots d'assistance physique** sont « destinés à aider une personne à exécuter des tâches requises, en

complétant ou en augmentant ses capacités physiques. Les robots d'assistance physique sont conçus pour permettre à une personne faible ou âgée de remplir les mêmes fonctions qu'une personne valide, ainsi que pour augmenter les performances d'un utilisateur valide » (cf. ISO/DIS 13482) [3]. Ils peuvent être utilisés pour aider l'utilisateur à réaliser des tâches qu'il n'est plus capable de réaliser à cause de l'âge ou d'un handicap, mais aussi pour qu'un utilisateur valide réalise des tâches (répétitives, pénibles...) qui surpassent ses capacités.





© Gaël Kerbaol/INRS

Carrousel automatisé d'injection de mousse isolante

tique collaborative et en l'absence de dispositif de détection capable d'arrêter le robot, ce type de commande est inadapté et peut s'avérer dangereux. Il s'agit alors, en plus de l'asservissement de position, d'agir sur l'asservissement des efforts exercés par le robot sur l'environnement extérieur afin de détecter d'éventuelles collisions.

Enfin, les recherches portent sur les systèmes de détection de collision entre homme et robot. L'une des solutions consiste à utiliser des capteurs de contact ou de proximité. Associés à un système de commande adapté, ils permettent de stopper l'action du robot avant ou dès le début d'une collision avec l'utilisateur. Parallèlement, des travaux de recherche proposent d'équiper le robot d'un système de vision capable de détecter la proximité avec l'utilisateur, pour commander le mouvement en vue d'éviter les collisions. D'autres solutions (encore au stade de recherche) s'attachent à anticiper les mouvements de l'utilisateur grâce à des modèles prédictifs afin d'optimiser l'évitement de collisions.

Les nouvelles générations de robots

Ces différentes innovations permettent d'envisager de nouvelles générations de robots - comme les robots industriels collaboratifs, les robots humanoïdes, les robots mobiles et les exosquelettes - mieux à même de collaborer avec l'opérateur.

Des avancées considérables dans le domaine de la commande des robots humanoïdes ont permis d'améliorer le contrôle de la locomotion. La mobilité est une propriété intrinsèque du robot, qui s'applique aussi bien à un robot industriel qu'à un robot de service. La difficulté majeure dans la conception d'un robot mobile (déplacement sous son propre contrôle) est la navigation. Afin que la base du robot se déplace avec précision et sans risque de collision avec des obstacles, il est nécessaire de concevoir des mécanismes de déplacement (trajectoires prédéterminées ou trajectoires dynamiques) et un système de perception de l'environnement. La commande d'un exosquelette - classé dans les robots d'assistance à la personne - diffère fondamentalement de la commande d'un robot classique. En effet, le mouvement de l'exosquelette doit être asservi au mouvement de l'utilisateur. Un exosquelette doit donc être muni de capteurs destinés à percevoir les mouvements de l'utilisateur. Deux stratégies de contrôle sont utilisées pour commander ces robots en mouvement. La première détecte et mesure l'effort exercé par l'utilisateur (par des capteurs d'efforts par exemple) sur l'exosquelette et commande ainsi le mouvement du robot. La seconde détermine les intentions de mouvement de l'utilisateur à travers des sondes myoélectriques qui mesurent le signal électrique envoyé par le

ENCADRÉ 2 LES PRINCIPAUX SECTEURS PROFESSIONNELS SUSCEPTIBLES DE RECOURIR AUX ROBOTS COLLABORATIFS

- **L'industrie.** Les robots industriels collaboratifs permettent de combiner les performances des robots (précision, puissance, endurance) avec les capacités et compétences humaines (intelligence, variabilité des gestes). L'industrie pourra aussi utiliser des robots d'assistance physique à guidage manuel (cf. Encadré 3) en vue d'éviter les TMS sur des tâches pour lesquelles les outils utilisés sont lourds.
- **La logistique.** Ce secteur pourrait, par exemple, faire appel à des aides robotisées pour le port de charges lourdes ou utiliser des robots mobiles.
- **Le BTP.** Certains robots d'assistance ou les exosquelettes pourraient trouver des applications dans ce secteur d'activité.
- **L'aide à la personne.** De nombreux laboratoires développent des prototypes de robots pour aider les soignants à soulever des personnes.

cerveau aux muscles. Il existe déjà des prototypes basés sur chacun de ces principes.

Les problématiques de prévention en SST

L'introduction de ces nouveaux robots dans différents secteurs (cf. Encadré 2) ne va pas sans poser des questions de santé et de sécurité liées à la présence d'hommes et de robots dans un même espace de travail, soit pour travailler côte à côte, soit pour interagir avec ou sans contact physique [5, 6].

Les principaux risques pour la sécurité des opérateurs sont d'ordre mécanique (collision, happement, écrasement...). Dans une démarche de prévention classique, ce risque doit être supprimé: une collision entre un robot et un opérateur n'est pas admissible. D'autres approches pragmatiques revendiquent, pour les robots collaboratifs, un certain niveau de collision possible. Se pose alors la question des forces d'impacts admissibles.

L'utilisation de robots collaboratifs induit également des risques pour la santé de l'utilisateur, en particulier:

- les troubles musculosquelettiques (TMS): Les promoteurs de certains types de robot collaboratif (le Cobot par exemple) axent leur communication sur la réduction des TMS. Il reste cependant à s'assurer que le recours à de tels équipements réduise réellement les TMS et qu'il ne soit pas source d'autres TMS. Mis à part le soulagement que l'on peut attendre du support du poids de l'outil et de la multiplication d'effort, à ce jour, aucune étude ne donne la preuve de la réduction de TMS issue de l'utilisation de robots d'assistance physique;

- l'acceptabilité et les risques psychosociaux: L'homme étant amené à agir en coactivité avec le robot, des questions peuvent se poser concernant:

- l'appréhension de certaines personnes face à une machine,
- la dépendance à la technologie pour réaliser une tâche,
- la crainte de perdre certains repères et des compétences techniques,
- la sensation d'une diminution de l'autonomie par l'utilisateur,
- la stigmatisation de la diminution des capacités...

L'utilisation de robots d'assistance devra être acceptée par la profession et les partenaires sociaux. Parmi les blocages possibles, des considérations d'ordre économique ou éthique, comme la crainte d'une robotisation de l'homme au travail ou son maintien coûte que coûte au travail, pourraient être avancées;

- la charge mentale: Pour une situation de travail donnée, une réduction de charge physique pour l'opérateur ne doit pas engendrer de charge mentale supplémentaire. Le découplage entre l'outil et la main de l'opérateur, qui existe sur les robots d'assistance physique de type Cobot (cf. Encadré 3), peut,

par exemple, engendrer une surcharge mentale chez l'utilisateur afin de contrôler le robot et doser l'effort nécessaire pour la réalisation correcte de sa tâche.

Des observations sur le terrain

L'INRS a reçu ces derniers mois diverses sollicitations relatives à la santé ou à la sécurité d'opérateurs dans des situations de travail impliquant des robots collaboratifs. Les interrogations sont nom-

ENCADRÉ 3 LE COBOT

Il s'agit d'un robot collaboratif qui complète voire augmente les capacités physiques de l'opérateur. Ce type de robot tire partie des technologies développées pour les télémanipulateurs. En effet, le Cobot mesure les efforts exercés par l'opérateur par le biais d'un capteur positionné sur la poignée. Le contrôleur du robot interprète ces efforts afin de commander le mouvement du robot. L'utilisation du Cobot permet de soulager l'opérateur du poids et des vibrations de l'outil. Le Cobot permet aussi de multiplier les efforts exercés par l'opérateur.

breuses et vont du simple « *Est-ce dangereux?* » à « *Quel est l'avis de l'Institut sur l'utilisation des robots dans mon entreprise?* ». Face à ces nouvelles technologies et aux questions inédites qu'elles soulèvent, le manque de recul et de connaissances est évident. Chaque cas est particulier et nécessite une analyse spécifique et appliquée à la situation de travail considérée. Récemment, l'INRS a réalisé deux interventions en entreprise illustrant certaines des nouvelles problématiques de santé et de sécurité auxquelles le chargé de prévention en entreprise peut être confronté.

La première intervention a concerné un équipementier automobile. Les raisons qui ont motivé l'entreprise à utiliser un robot étaient de soulager l'opérateur de la contrainte physique imposée par la réalisation de sa tâche. En effet, il s'agit d'un poste de travail qui implique le port de pièces lourdes et la manipulation d'outils lourds et à fortes vibrations - opérations particulièrement génératrices de TMS. Un robot d'assistance physique du type Cobot a été conçu afin de mécaniser ces opérations puis installé en vue de tester son utilisation. Les retours d'expérience ont mis en lumière certains points importants à considérer lorsqu'on envisage d'utiliser un Cobot:

- contrairement à ce que l'on peut imaginer, l'utilisation du Cobot n'est pas complètement intuitive et nécessite une période longue d'apprentissage (qui peut aller jusqu'à 6 mois);





© Gaël Kerbaol/INRS

Machines semi-automatiques permettant d'assembler les pièces électriques

- des modifications du Cobot ont été réalisées par l'entreprise, elles étaient nécessaires afin d'en améliorer les fonctionnalités et l'adaptation au poste de travail. Or, si elles ont lieu sur des dispositifs ou des mesures de sécurité définis suite à l'analyse des risques, ces modifications peuvent engendrer de nouveaux risques pour l'opérateur. Elles peuvent aussi remettre en cause la certification de l'installation.
 - Le Cobot réduit considérablement les retours d'efforts de l'outil vers l'opérateur, l'empêchant ainsi de doser son effort de la même façon que sur un poste de travail classique (sans Cobot). Cela le conduit généralement à compenser ce manque d'information par un retour visuel, pouvant induire une surcharge mentale de l'opérateur.
- Un deuxième cas d'application de ce type de robots a été observé chez un industriel de la fonderie. Cette entreprise envisageait d'utiliser un robot collaboratif pour un poste de travail de meulage

de grandes pièces métalliques. Outre l'objectif de réduction des TMS, l'entreprise souhaitait également rendre ce poste de travail plus attractif, notamment à l'égard des jeunes, afin de pallier la pénurie de main d'œuvre sur ce type de poste. Là encore, l'étude de la mise en œuvre du Cobot par l'INRS a soulevé plusieurs questions liées à la prévention devant être prises en compte si l'on envisage d'utiliser ce type de robot:

- l'utilisation d'un Cobot peut-il introduire des risques mécaniques supplémentaires du fait de la multiplication des efforts, a fortiori lorsqu'une personne peut se trouver à proximité de l'utilisateur du robot? Un geste intempestif ou incontrôlé de l'opérateur ne risque-t-il pas de se trouver amplifié par la machine?
- pour utiliser le Cobot, certains gestes et postures sont recommandés. Le fait de limiter ou de contraindre les mouvements de l'opérateur peut-il générer d'autres types de TMS?
- si l'utilisation du Cobot soulage partiellement l'opérateur des contraintes physiques liées au port et à la manipulation de l'outil, l'employeur ne sera-t-il pas tenté d'augmenter les cadences ou de réduire les périodes de repos?

De ces observations en entreprise peuvent être tirés des enseignements riches, en particulier sur la nécessité de prendre en compte les nouveaux risques que peut induire l'installation d'un robot. Les robots se diversifient, se perfectionnent et investissent des champs d'activité de plus en plus nombreux. D'un point de vue technologique, l'introduction de ces robots dans l'espace de travail représente, pour les entreprises et les activités de service, une formidable opportunité d'améliorer leur compétitivité. Mais elles ne doivent pas négliger les aspects de santé et de sécurité des salariés qui interagissent avec ces machines et, dans cette optique, rester vigilantes à l'égard des promesses des vendeurs. Les acteurs de prévention, en particulier l'INRS, doivent accompagner les entreprises pour que soient prises en compte ces questions de santé et de sécurité. ●

BIBLIOGRAPHIE

[1] NF EN ISO 10218-1 - Exigences de sécurité pour les robots industriels - Robots et dispositifs robotiques - Partie 1: Robots. Paris, AFNOR, 2011, 45 p.

[2] ISO/FDIS 8373 - Robots et composants robotiques - Vocabulaire. Paris, AFNOR, 2011, 37 p.

[3] ISO/DIS 13482 - Robots et composants robotiques - Exigences de sécurité - Robots non médicaux pour les soins personnels. Paris, AFNOR, 2011, 102 p.

[4] VAN DAMME M., BEYL P., VANDERBORGH T., VAN HAM R., VANDERNIEPEN I., MATTHYS A. ET AL. - *The Role of Compliance in*

Robot Safety. In: IARP Workshop on Technical Challenges for Dependable Robots in Human Environments (DRHE), 2010, pp. 65-71.

[5] SGHAIER A., CHARPENTIER P. - *Robotique et prévention des AT-MP: Étude d'instruction*. France, INRS. www.inrs.fr

[6] CHARPENTIER P., SGHAIER A. - *Robotique industrielle: accidentologie et coactivité homme-robot*. In: The 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems, 11-12 October 2012, Montréal, Canada. 2012, p. 6.