

## Congrès

# QUELLE PLACE POUR LES ROBOTS D'ASSISTANCE PHYSIQUE EN 2030?

Paris, France, 3 décembre 2013

Synthèse du séminaire INRS « Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France »

Le premier exercice de prospective piloté par l'INRS était consacré à l'utilisation des robots d'assistance physique (RAP) à l'horizon 2030. Différents scénarios, de la « rapophilie » à la « rapophobie », ont été construits, en fonction de contextes politique, économique et social différents. Avec un objectif: imaginer des futurs possibles pour l'utilisation de ces robots dans le monde du travail.

*TO WHAT EXTENT WILL PHYSICAL ASSISTANCE ROBOTS BE IN USE BY 2030? - The first forward-looking exercise devoted to the use of physical assistance robots by 2030 has been conducted by INRS. Various scenarios, ranging from "robophilic" to "robophobic" were constructed, depending on different political, economical, and social contexts. With one objective: to imagine the possible futures for such robots in the world of work.*

### GROUPE DE TRAVAIL RAP

Jean-Jacques Atain-Kouadio (INRS), Agnès Aublet-Cuvelier (INRS), Rachel Barbet-Detraye (CCMSA), Séverine Brunet (INRS), Philippe Charpentier (INRS), Dominique Chouanière (INRS), Stéphanie Devel (INRS), Annie Dussuet (Université de Nantes), Elodie Falconnet (CETIM), Charles Fattal (CEN Robotique), Carole Gayet (INRS), Nathalie Guillemy (INRS), Michel Héry (INRS), Louis Laurent (ANSES), Adel Sghaier (INRS), Jérôme Triolet (INRS) et Guy Wéltitz (expert).

La restitution de ce travail de prospective mené par l'INRS en partenariat avec l'ANSES<sup>1</sup>, la CCMSA<sup>2</sup>, le CEN-Robotique<sup>3</sup>, le CETIM<sup>4</sup> et l'Université de Nantes, a eu lieu le 3 décembre 2013 à Paris en présence de membres du Conseil d'administration de l'institut ainsi que de représentants de la CAT-MP<sup>5</sup> de la CNAMTS, de membres du réseau Prévention des risques professionnels (Carsat) et de personnalités qualifiées.

Cette restitution constituait l'aboutissement d'une opération menée pendant plus d'un an, accompagnée par le cabinet Futuribles et marquée par différentes étapes:

- le choix des variables susceptibles d'influencer le développement des robots d'assistance physique (RAP) (Cf. Encadré), tant au niveau du contexte (que seront la société et le monde du travail en 2030?), de l'offre (quels types de robots seront disponibles, quelles performances peut-on en attendre?) et de la demande (quels seront les besoins des différents secteurs, industriels, services ou aide à la personne?);
- pour chacune de ces variables, la détermination d'hypothèses de développement au cours de la période considérée;
- la combinaison de ces hypothèses pour aboutir à la création de scénarios contrastés décrivant les futurs possibles d'ici l'échéance choisie;
- la déclinaison de ces scénarios en termes de santé et de sécurité au travail et les conséquences pour la prévention des risques professionnels.

### ENCADRÉ LES RAP

Les RAP sont des équipements de travail collaboratifs qui interagissent avec l'homme au sein d'un espace de travail partagé. Les barrières physiques qui protégeaient les opérateurs des mouvements potentiellement dangereux des robots n'existent plus. Les RAP peuvent collaborer avec un opérateur sous la forme de robots industriels collaboratifs, de robots humanoïdes ou d'exosquelettes. Parmi leurs principaux secteurs d'intervention, on peut citer:

- **l'industrie:** les RAP permettent de combiner les performances des robots (précision, puissance, endurance) avec les compétences humaines, par exemple pour des robots à guidage manuel sur des tâches pour lesquelles les outils utilisés sont lourds;
- **la logistique:** pour le port des charges lourdes lors de différentes opérations de manutention en entrepôt ou en livraison;
- **le BTP:** des exosquelettes pourraient constituer des aides à la manutention;
- **l'aide à la personne:** des robots sont déjà utilisés pour aider les soignants à soulever les personnes.

Pour plus de détails, on renverra à l'article « L'homme au travail et le robot: une relation à inventer » paru dans la revue HST en juin 2013 [1].

## Les scénarios

Cet exercice de prospective a conduit à l'élaboration de quatre scénarios contrastés, autant de futurs possibles envisagés pour les RAP et leur place dans le monde du travail en 2030.

### 1. RAP de circonstance

Dans un contexte marqué par une situation économique fluctuante et une transition écologique tout juste amorcée, le recours aux RAP est surtout réservé aux activités pour lesquelles ils permettent de dégager une valeur ajoutée significative. Bien qu'aucune rupture politique ni sociétale majeure ne soit intervenue au cours de la période 2015 - 2030, les difficultés économiques ont fait qu'un soutien constant a manqué au développement de ces équipements robotisés (notamment de l'État à travers des politiques volontaristes d'aide à la recherche et à l'équipement). Aucun seuil technologique majeur n'a été franchi. Ce sont des secteurs considérés comme prioritaires et dans lesquels l'utilisation des RAP permet de dégager une plus-value significative qui ont constitué le moteur de leur développement :

- dans l'industrie, l'expérience acquise dans le domaine du nucléaire (tant pour le démantèlement des centrales les plus anciennes que pour le pilotage de celles de nouvelle génération) a rejailli sur d'autres secteurs de process : même si l'activité a manqué de dynamisme, le développement de quelques nouvelles installations à forte valeur ajoutée (chimie durable, nouveaux matériaux) ou l'adaptation d'autres plus anciennes dans la (péto)chimie ou la sidérurgie s'est fait dans un contexte d'automatisation, grâce à l'utilisation des RAP ;
- il en est de même pour l'industrie manufacturière dans laquelle on a assisté au développement de nouveaux procédés manufacturiers collaboratifs et de la « cobotique »<sup>6</sup>, qui peuvent associer automatisation et utilisation des RAP ;
- dans le secteur sanitaire, la robotique médicale à usage chirurgical s'est développée là où elle offre un retour sur investissement. Par exemple pour la chirurgie, ce sont donc les interventions longues, complexes qui sont concernées ;
- en matière d'aide à la personne, on a assisté à une robotisation modérée, restreinte pour l'essentiel aux établissements : exosquelettes pour les aidants, robots mobilisateurs aidés et exosquelettes pour les aidés. Il s'agit en particulier de favoriser les transferts lit/fauteuil, fauteuil/toilette, tout en demandant à l'aidant des efforts moindres et mieux gérés et en assurant au soigné un plus grand confort ;
- dans le domaine militaire, la tendance est au « soldat augmenté » ou au robot télécommandé (type drone), se traduisant par une utilisation massive

d'exosquelettes et de robots d'aide au port des charges.

Un débat relativement serein sur l'usage de la robotique s'est poursuivi tout au long de la période entre la société, les experts, le pouvoir politique et le monde de l'industrie. Pour les RAP, il s'est traduit par la mise en place d'un cadre normatif, dans lequel des études d'évaluation concertées des risques se développent, dans un contexte de négociations multilatérales entre les différentes parties prenantes.

### 2. « Rapophobie »

La période 2015 - 2030 a été marquée au niveau mondial par la succession et l'enchevêtrement de nombreuses crises politiques et économiques graves. Dans un contexte européen difficile, la crise économique en France s'est aggravée. Elle s'est accompagnée d'une crise morale de la société, marquée par un repli sur soi et un refus de la nouveauté et de l'altérité. Le débat social s'est progressivement bloqué. La « risquophobie » a atteint rapidement un niveau très élevé. Plusieurs crises (contrôles insuffisants lors de la mise sur le marché de médicaments, exposition non contrôlée à différents types de polluants, scandales alimentaires, atteinte à la vie privée par des systèmes d'information, etc.) ont eu pour résultat de développer une perte de confiance envers les pouvoirs publics, les sciences et techniques, les entreprises... et même de la société civile envers elle-même.

Dans un contexte économique difficile, marqué notamment par un chômage de masse et l'absence de ressources financières, l'accompagnement des transferts technologiques par l'État a été réduit à la portion congrue. Les contraintes renforcées sur la disponibilité des matières premières et le coût croissant de l'énergie ont également concouru à freiner le développement technologique et, plus particulièrement, celui des RAP dans un contexte où l'innovation est devenue suspecte.

Ainsi, la pénurie de ressources financières et l'absence de progrès technologiques significatifs, conjuguées aux fortes réticences de la société, font que le développement des RAP est resté confiné à des secteurs d'exception :

- celui du nucléaire qui est demeuré, en France, un secteur majeur dans la production d'électricité. La gestion du parc existant et notamment les opérations de démantèlement comme la mise en route des centrales de nouvelle génération ont favorisé l'utilisation de robots de télé-opération destinés à limiter l'exposition des travailleurs aux radiations ;
- dans une moindre mesure, le domaine militaire, les options retenues privilégiant une robotisation autonome ou des systèmes télécommandés alors que le combattant humain (« augmenté » par



un équipement en robots d'assistance physique de type exosquelette au sens large) n'est plus engagé que de façon limitée au cours d'opérations spécifiques.

### 3. RAP pour tous ou « rapophilie »

Les années 2020 ont été marquées par une succession d'innovations technologiques majeures dans différents domaines, qui ont eu pour effet de doper la production et de redynamiser le tissu industriel, augmentant de façon significative la richesse de la société. Les investissements dans des installations et des techniques nouvelles se sont multipliés. Ils font la part belle aux RAP qui permettent d'assurer une flexibilité et une adaptabilité de la production meilleure que la robotisation en cage ou l'automatisation complète. Les progrès en per-

des mutations importantes liées à la révolution technologique en cours, mais elle les a intégrées sans difficulté notable. La croissance retrouvée et ses fruits partagés, notamment à travers la mise en place d'une sécurisation sociale ont concouru à la sérénité des débats. Les RAP améliorent et enrichissent les conditions de travail. Ils favorisent le maintien dans l'emploi du travailleur vieillissant, notion très importante dans le contexte de raréfaction et de vieillissement de la population active, et diminuent la pénibilité de certaines tâches.

Ce développement des RAP s'est traduit par un changement radical de certaines pratiques notamment écologiques.

Dans le secteur primaire, ce changement s'est traduit par une évolution du modèle de production agricole qui se caractérise par un renforcement



© Serge Marillon/INRS

ception et en locomotion ont permis de mieux les intégrer dans leur environnement de travail. La mécatronique a également fortement progressé, mais c'est au niveau de l'intelligence artificielle que le saut technologique a été le plus important. Les RAP de 2030, produits d'évolutions constantes depuis 2015, sont devenus de vrais partenaires habiles et « intelligents » sur les chaînes de montage. Ils ont également acquis une excellente dextérité et une capacité d'initiative dans les téléopérations menées en milieu hostile pour l'homme. Ils sont devenus des partenaires à part entière.

Le caractère accéléré de ces évolutions technologiques n'a pas eu d'effet de repoussoir sur la société. Au contraire, un débat serein s'est poursuivi entre la société, les experts, le pouvoir politique et le monde de l'industrie: la société a pourtant connu

de l'agriculture raisonnée dans une démarche de développement durable et de maintien de l'agriculture de proximité. On assiste également à une augmentation de l'offre de produits biologiques. Ces évolutions n'ont été rendues possibles que par l'utilisation de matériels plus petits et collaboratifs de type RAP qui viennent augmenter la productivité pour des opérations comme le désherbage ou la taille et limiter le recours aux intrants.

Les industries de process ont subi des bouleversements, en particulier les industries pétrolière et chimique avec l'adaptation à de nouvelles formes d'énergie fossiles disponibles et la mise en place d'une gestion des ressources basée sur une économie circulaire et une chimie durable.

De même, la sidérurgie et l'électrometallurgie ont été confrontées à la nécessité de développer des

matériaux radicalement nouveaux, ce qui les a obligées à rénover leurs installations et à créer de nouvelles unités utilisant des RAP (confrontation de l'homme à des milieux dangereux par exemple). L'industrie manufacturière, quant à elle, a pleinement bénéficié du changement de paradigme technologique qui caractérise la période, au niveau de la productivité, de la qualité de la production, de la flexibilité et de l'adaptabilité de l'appareil productif. L'heure est à l'usine multi-productions fabriquant des séries limitées de produits durables. Les RAP sont les instruments de cette flexibilité.

Même si la part relative de marché du nucléaire a diminué, le parc de centrales à faire fonctionner (voire à démanteler) est suffisamment grand pour maintenir une activité dynamique, incluant le développement de nouveaux réacteurs.

De façon globale, dans le secteur secondaire, les RAP ont trouvé de nombreuses applications (substitution de l'homme pour des tâches effectuées en milieu hostile ou pénibles). Ils sont des éléments essentiels d'un système industriel fortement renouvelé pour s'adapter aux nouvelles exigences de la production.

Bâtiment, travaux publics, logistique et transports bénéficient également du développement des RAP, notamment en matière de port de charges. Compte tenu de l'entrée dans une économie circulaire, les circuits de collecte et de traitement des déchets ont dû être complètement repensés et la nouvelle organisation a largement recours aux RAP, plus flexibles qu'une automatisation complète.

Dans le domaine de la santé, les RAP permettent des procédures chirurgicales moins invasives et de plus courte durée dans les interventions complexes et coûteuses. Dans le domaine de l'aide à la personne, le développement a été massif, tant au niveau de l'équipement des établissements que pour le maintien à domicile. Il a été facilité par de nombreux facteurs: coût raisonnable (production de masse), maintenance assurée, acceptation sociale, population de niveau de vie élevé et disposant d'une couverture sociale adaptée.

Bien que les armées aient plutôt, au final, privilégié une robotisation autonome, la diversité des terrains et des types d'engagement, impose cependant le maintien d'unités de soldats « augmentés » qui viennent plutôt en complément (et en seconde intention) de l'utilisation des unités entièrement robotisées.

#### 4. Peu de place pour les RAP

Les années 2020 ont vu le retour d'une croissance économique significative qui s'est accompagnée d'une hausse de la consommation. À l'échelle mondiale, cette reprise dans les pays occidentaux est apparue d'autant plus paradoxale qu'elle a coïncidé avec la survenue de crises politiques majeures

dans certains pays émergents et en voie de développement. En France, cette amélioration de la situation économique a plus profité aux services qu'à l'industrie. Les coûts de production ont fortement baissé grâce à une forte réduction du prix de revient de la main d'œuvre (dérégulation presque complète de l'emploi: contrats zéro heure, etc.). Une automatisation poussée des procédés (robots en cage) et la disponibilité d'une main d'œuvre abondante à faible coût (ouverture des frontières à une immigration choisie) ont limité le développement des RAP à certains secteurs d'activité comme le nucléaire et les services d'aide à la personne.

Dans le nucléaire, les RAP télé-opérés participent au démantèlement des plus anciennes installations et également au fonctionnement des centrales plus récentes. Dans l'aide à la personne, le recours à une main d'œuvre bon marché a entravé le développement de RAP sophistiqués, mais les foyers les plus aisés ont quand même acquis des équipements peu évolués pour des tâches comme l'entretien des sols et des vitres ou le repassage.

Dans le domaine de la défense, et en réaction aux violentes crises qui secouent le reste du monde, la priorité a été donnée aux robots autonomes ou télécommandés, avec le soutien exceptionnel de soldats « augmentés ».

#### Impact de ces scénarios sur la santé et la sécurité au travail et sur la prévention des risques professionnels

Après construction de ces scénarios, une réflexion a été initiée sur leurs conséquences en santé et sécurité au travail et en prévention des risques professionnels. Seuls les deux scénarios impliquant un développement significatif des RAP (RAP de circonstance et RAP pour tous ou « rapophilie ») ont été considérés.

Des effets favorables ont tout d'abord été identifiés:

- une réduction des contraintes biomécaniques et un allègement de la charge physique globale grâce à l'utilisation des exosquelettes. Ils favorisent aussi le retour ou le maintien dans l'emploi des travailleurs vieillissants, des insuffisants cardiaques, des travailleurs souffrant d'atteintes limitées de l'appareil locomoteur;
- les RAP télémanipulés permettent d'éviter totalement ou partiellement certaines expositions (chimique, biologique, radioactive, milieu hyperbare, températures extrêmes);
- les RAP de co-activité permettent une réduction des contraintes biomécaniques, ainsi que la soustraction à certaines expositions délétères et à des environnements accidentogènes.

Mais ces effets favorables peuvent être contrebalancés par des risques physiques dont voici les principaux:



- de possibles retentissements sur l'appareil locomoteur dus pour partie à la standardisation du geste et à la diminution de l'effort musculaire associé, fonte musculaire ou à l'inverse, sur-sollicitations locales (force, amplitudes articulaires, répétitivité, travail statique), zones de pression localisées liées au port du RAP, modification de la répartition des masses et de l'inertie de l'opérateur, risques de trouble de l'équilibre donc de chutes dans le cas de port d'exosquelettes, risques proprioceptifs;
- le port des RAP pourrait concerner des travailleurs jusqu'ici préservés (population vieillissante, travailleurs handicapés) chez lesquels ces conséquences pourraient être plus accentuées;
- en ce qui concerne les RAP télé-manipulés, ce sont, d'une part, les risques liés aux dysfonctionnements des équipements et leurs conséquences sur l'environnement et les travailleurs qui ont été identifiés et, d'autre part, des risques de TMS liés au travail statique ou à la réalisation de gestes précis et très fins pour actionner le RAP à distance;
- enfin pour les RAP de co-activité, ce sont les risques de heurt, d'écrasement, d'étouffement qui sont apparus prédominants...

Ces risques sont communs aux deux scénarios. Cependant dans le scénario 3, le développement plus abouti des RAP peut avoir paradoxalement pour résultat d'accroître certains risques comme l'exposition aux champs électromagnétiques renforcés par l'augmentation de l'énergie embarquée. Cette même énergie embarquée peut majorer les risques d'incendie et d'explosion. Des robots plus mobiles sont aussi susceptibles d'augmenter les risques de collision et leur dangerosité. Par ailleurs, dans ce scénario, leur généralisation dans toute la société a pour conséquence de diffuser massivement les risques liés à leur utilisation.

Concernant la santé psychique, apports bénéfiques et effets adverses ont également été identifiés :

- pour les premiers, l'utilisation de RAP peut correspondre à un enrichissement des tâches pour le travailleur en attribuant aux robots les activités standardisées, reproductibles et à faible valeur intellectuelle ajoutée, permettant au travailleur de se concentrer sur des opérations plus intéressantes et plus valorisantes. Le travailleur étant aussi dispensé des activités dans les milieux délétères peut également avoir une approche plus sereine de son travail;
- les risques possibles concernent en particulier l'intensification du travail: la complexité induite par l'utilisation des RAP peut augmenter la charge mentale et entraîner une plus grande exigence attentionnelle. Ces phénomènes peuvent être encore accrus en cas de dysfonctionnements ou de nécessité de gérer des aléas de production.

L'interdépendance homme-robot peut également constituer un facteur de risques psychosociaux, surtout si l'organisation du travail conduit à mettre, d'une façon ou d'une autre, l'homme sous la dépendance du robot ou en concurrence avec lui. On peut donc aboutir à des situations de responsabilisation accrue, génératrices de stress ou au contraire de déresponsabilisation du travailleur. Les rapports sociaux peuvent évidemment s'en trouver affectés si le travailleur n'a plus la possibilité d'établir des rapports de régulation avec ses pairs. Et il peut bien sûr également se sentir menacé dans son emploi.

Par rapport au premier, le troisième scénario, dans lequel le recours aux RAP est plus marqué, est susceptible d'entraîner à la fois une accentuation des effets positifs puisque ces équipements seront plus « intelligents » mais aussi des effets délétères puisque ces plus fortes potentialités sont susceptibles d'induire de plus grandes contraintes sur le mode d'organisation du travail des opérateurs. La réflexion dépasse d'ailleurs le strict niveau du travail puisqu'un développement important de l'utilisation des RAP peut fragiliser la société tout entière en raison de pertes de contrôle, liées notamment à des risques de hacking<sup>7</sup>.

Tous ces éléments, souvent contradictoires, témoignent de la complexité du sujet. Ils plaident aussi pour une prise en compte globale de ces questions à travers, notamment, la prise en compte de l'interactivité entre homme/robots. C'est autour de cette question des interactions que doit s'organiser la réflexion sur la formation des professionnels de la prévention, le développement massif des RAP selon un scénario de type « rapophilie » pouvant se traduire par un besoin en professionnels détenteurs d'un savoir spécialisé, les « rapologues ». ●

1. ANSES: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
2. CCMSA: Caisse centrale de la mutualité sociale agricole
3. CEN-Robotique: Centre d'expertise nationale en robotique
4. CETIM: Centre technique des industries mécaniques
5. CAT-MP: Commission des accidents du travail et des maladies professionnelles
6. La cobotique est une branche émergente de la technologie à l'interface de la cognitive et du facteur humain, de la biomécanique et de la robotique.
7. Par exemple, la prise de contrôle du système informatique du robot par une entité extérieure, pouvant le détourner de ses missions

## BIBLIOGRAPHIE

[1] P. CHARPENTIER, A. SGHAIER - L'homme au travail et le robot: une relation à inventer. *Hygiène et sécurité du travail*, 2013, 231, pp. 84-88.