

DOSSIER DE VEILLE

UNITEC

OCTOBRE 2018

Les Dossiers de Veille ont pour objectif de vous offrir une analyse des grandes tendances numériques qui bouleversent le monde économique actuel.

COBOTIQUE : QUAND HOMMES ET ROBOTS COLLABORENT

RÉSUMÉ

Alors que le débat fait rage entre les tenants d'un progrès bon pour l'homme et le travail et ceux défendant l'idée que les robots et l'automatisation vont détruire des millions d'emplois de par le monde, ce dossier de veille a pour objectif de montrer qu'une troisième voie est en train d'apparaître, à la faveur d'un progrès technique qui tient compte de l'humain, celle de la cobotique. La cobotique, ou système cobotique, est l'union de la robotisation avec l'humain dans l'objectif de rendre plus efficace et moins traumatisant le travail. En plein essor grâce à la recherche scientifique, la cobotique trouve des débouchés dans de nombreux secteurs d'activité. Nous avons choisi de nous arrêter sur deux grands domaines particulièrement porteurs pour la cobotique : celui de l'usine du futur dans lequel le mouvement cobotique est bien entamé et celui de la santé où la cobotique s'installe dans les blocs opératoires mais facilite également la phase de rééducation fonctionnelle des traumatisés.



En octobre 2017, l'Arabie Saoudite a octroyé la citoyenneté saoudienne à un robot nommé Sophia¹, lors de la première édition du sommet [Future Investment Initiative](#), soulevant un tollé dans le monde entier, l'Arabie Saoudite n'étant pas connue pour ses positions en faveur des citoyennes saoudiennes et des femmes en général². Au-delà de la polémique sur le statut des femmes dans ce pays, l'exemple de Sophia questionne sur la relation que nous entretenons, en tant qu'humain, avec les robots. La série télévisée suédoise [Real Humans](#) questionnait déjà ce rapport, dans une société où les robots humanoïdes étaient dotés de la parole, d'une intelligence semblable à celle des humains et surtout étaient capables d'empathie et de sentiments³. Pour autant, si aujourd'hui nous sommes encore loin de vivre en harmonie avec des robots humanoïdes⁴, il est clair que la question de la robotisation et de l'automatisation de nos sociétés se fait de plus en plus pressante. [Boston Dynamics](#), spin-off émanant du M.I.T. fait également couler beaucoup d'encre. Si l'entreprise ne cherche pas à produire fidèlement des robots humanoïdes⁵, les recherches qu'elle mène sur la robotique et l'intelligence artificielle sont impressionnantes. L'entreprise produit une [série de robots](#) dotés d'une intelligence artificielle puissante (et inspiré par les animaux - anibots)

qui leur permet d'évoluer en milieu ouvert en toute autonomie. Les [vidéos proposées par l'entreprise](#) font le tour du monde depuis maintenant quelques années et laissent envisager, dans les mois à venir, une offre de robots totalement autonomes, à des fins militaires notamment, très performante. D'aucuns voient dans les travaux de la société [un futur angoissant](#) lors duquel les robots autonomes et dotés d'une intelligence artificielle [s'imposeraient à l'homme](#). Ce rapport à la robotique n'est pas nouveau.

¹ Sophia est un robot humanoïde produit par la firme hongkongaise [Hanson Robotics](#).

² Le [rapport mondial sur l'inégalité entre les sexes](#) publié par le Forum économique mondial en 2017 place l'Arabie saoudite à la 138e place sur 144.

³ Des chercheurs du CNRS ont publié un article sur la série : <https://lejournald.cnrs.fr/articles/real-humans-revu-par-les-chercheurs-1>

⁴ Harmony est le nom donné à un robot sexuel humanoïde produit par [Real Robotics](#). Voir la [Note de Veille Unitec du mois de septembre 2018 sur le site Unitec.fr](#)

⁵ Son robot [Atlas](#) reste néanmoins l'un des robots humanoïdes les plus performants au monde.

Comme nous le verrons dans les premières pages de ce dossier, dès l'introduction des premiers systèmes automatisés et robotisés, les hommes ont toujours craint que la technique ne les remplace voire les annihile. Dans le monde du travail, l'aversion pour le robot s'incarne au travers de luttes qui n'empêcheront pas, dans certains secteurs comme celui de l'automobile, l'apparition sur les chaînes de production, de plus en plus de robots.

Pour autant, dans une société moderne et connectée, la recherche de compétitivité passe par une impulsion faisant passer le monde industriel classique à ce qu'il convient d'appeler l'usine du futur. En 2013, le ministre du Redressement productif, Arnaud Montebourg lance **ROBOT Start PME**, un programme de soutien aux PME primo-accédantes à la robotisation. L'objectif affiché est d'aider les PME et les PMI à intégrer dans leurs chaînes de production des systèmes robotisés en se reposant sur l'argument selon lequel la robotisation serait un levier efficace pour maintenir l'activité et l'emploi en France, et même relocaliser. Elle constituerait ainsi une réponse adaptée à la nécessité de montée en gamme et en qualité de l'industrie française dans un contexte de concurrence internationale accrue. La France comptait en effet, en 2013, deux fois moins de robots de production que l'Italie et quatre fois moins que l'Allemagne. Après 4 ans⁶, son bilan est assez inégal. Il n'aura permis d'équiper que 150 entreprises, moitié moins que prévu. En revanche, les bénéfices sont réels, selon **une étude** menée par le Cetim : + 86 % de productivité, + 68 % de rentabilité, +18 % de chiffre d'affaires, +90% d'amélioration des conditions de travail sur deux ans mais la robotique effraie encore notamment au niveau social. Ce plan d'accès à la robotique s'inscrit dans un mouvement plus large de modernisation de l'appareil

productif français, à savoir l'usine du futur. Cependant, cette problématique doit **répondre à des enjeux** pour lesquels la robotique ne peut apporter, à elle seule, que des réponses incomplètes. L'usine du futur telle qu'elle est envisagée, notamment par la **Fédération des Industries Mécaniques (FIM)**, doit nécessairement replacer l'humain, c'est-à-dire l'opérateur, au centre de son organisation sous peine de laisser certains enjeux - comme les enjeux sociaux et sociétaux - de côté. C'est une des raisons pour laquelle la cobotique s'invite dans les usines en voie de modernisation au côté d'autres innovations comme la réalité augmentée, la maintenance prédictive, la digitalisation de la production, ou encore le Big Data. Depuis une dizaine d'années, on constate une accélération du mouvement d'intégration des systèmes cobotiques depuis les usines jusque dans les blocs opératoires⁷. Ce mouvement est l'une des **8 tendances technologiques 2018** mises en avant par Deloitte. De plus en plus, les industries utilisatrices de systèmes robotiques se tournent vers des solutions dans lesquels les robots et les hommes travaillent conjointement et où les premiers ne viennent plus remplacer les seconds. La cobotique - pour robotique collaborative, nous y reviendrons - est cette nouvelle approche de la technique dans laquelle l'entreprise va tirer partie simultanément des forces de la machine robotisée (cadence, précision, résistance, ...) et de l'opérateur (prise de décision, intelligence, ...). En effet, elle connaît un véritable engouement et un développement à travers le monde se traduisant par une augmentation de la diversité de l'offre de robots collaboratifs. La France, si elle n'est pas encore au même niveau de maturité que d'autres pays (on pense aux Etats-Unis, à la Chine ou à l'Allemagne plus près de nous) en matière d'équipement, possède, en revanche, de nombreuses entreprises

proposant une offre de solutions variées et adaptées à différents secteurs d'activités (industrie, santé, logistique, aide et assistance, etc.).

L'objectif de ce nouveau dossier de veille est de montrer en quoi la cobotique est une solution d'avenir⁸ dans un grand nombre d'activités pour lesquelles l'entreprise tirerait partie d'une collaboration entre la machine et l'homme. Pour cela, après une mise en perspective historique de l'évolution de la robotique vers la cobotique, nous définirons précisément ce qu'est et ce que n'est pas la cobotique puis nous présenterons les grands enjeux auxquels devront répondre à la fois les professionnels du sujet mais aussi les entreprises intégratrices de solution. Enfin, nous nous intéresserons plus particulièrement à deux grands domaines pour lesquels les enjeux sont importants, notamment au niveau de la Nouvelle-Aquitaine : l'usine et l'industrie plus généralement ainsi que le secteur médical dans lequel l'arrivée de la cobotique pourrait révolutionner les interventions en blocs opératoires mais aussi la rééducation fonctionnelle des traumatisés.

⁶ Le programme s'est arrêté fin 2017 et n'a pas été reconduit par l'actuel gouvernement.

⁷ Ses champs d'application sont variés, puisqu'il est très présent dans l'industrie, mais est aussi une perspective importante pour le domaine du nucléaire (collaboration à distance), de la santé (chirurgie, rééducation, aide et suppléance), de la domotique, le domaine militaire, ou encore pour l'éducation.

⁸ LAPEC fait de la cobotique une filière pourvoyeuse d'emplois : [doc à télécharger](#).

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



I - Du robot au Cobot : les enjeux de la robotique collaborative

Depuis l'après-guerre, la robotique s'est largement répandue dans l'industrie. Développée à l'origine pour être autonome, dans un souci de travailler à la place de l'Humain et d'effectuer des tâches difficiles ou rébarbatives, elle devient aujourd'hui collaborative.



A - Le robot se libère autant qu'il libère l'homme

a. Transformations récentes et émancipation

1. Histoire de l'évolution de la robotique

Au XVIII^e siècle, les ancêtres des robots sont les automates. Les premiers robots à proprement parler sont les appareils qui, synthèses des automates⁹ et des ordinateurs, peuvent effectuer de façon automatique des tâches physiques à la place des humains, ceci de façon plus efficace, en rapidité et en précision. En 1954, l'Américain George Devol dépose le [brevet](#) de Unimate, premier robot industriel. Il s'agit d'un bras articulé capable de transférer un objet d'un endroit à un autre et inspiré des téléopérateurs utilisés dans l'industrie nucléaire dans les années 1950 pour la manipulation d'éléments radioactifs. En 1956, la société Unimation Inc., est créée par Joseph Engelberger, associé de Devol. En 1961, Unimate est installé aux lignes d'assemblage de l'usine Ewing Township (appartenant à General Motors). Il est chargé de saisir des pièces de métal à très haute température et de les déplacer dans des bains de refroidissement. À l'époque, la direction de General Motors ne diffuse pas l'information, estimant qu'il s'agissait d'un procédé expérimental risquant de ne pas fonctionner. Elle finit cependant par passer commande de 66 exemplaires.

Principales définitions associées à la robotique

Robot

D'après la norme NF EN ISO 10218-1, c'est un bras manipulateur programmable destiné à des applications multiples. Il évolue sur au moins trois axes et peut être fixe ou mobile. Si un robot est utilisé dans un environnement industriel, alors on parle de robot industriel. Un robot n'est pas considéré comme une machine à part entière mais comme une quasi-machine, dès lors qu'il est vendu sans outils et sans application dédiée.

Système robot

D'après la norme NF EN ISO 10218-1, c'est un robot complété par tous les équipements externes (outils, axes externes, machines, etc.) qui lui permettent d'accomplir sa tâche. Un système robot constitue donc une machine au sens de la directive 2006/42/CE.

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 partagé (appelé également espace de travail collaboratif) et de l'espace contrôlé (protection périmétrique).

Robot d'assistance physique

Robot utilisé pour apporter une assistance physique à l'opérateur. Lorsqu'il s'agit d'un bras robot industriel piloté à la main, il est alors considéré comme un robot industriel collaboratif et doit donc répondre aux exigences de sécurité d'une machine.

Source : www.inrs.fr

En 1968, Unimation est le leader du marché mondial de la robotique. En 1976, la première entreprise à adopter ses produits en France est Renault. En 1983, la société [Westinghouse](#) (à l'origine des premiers robots humanoïdes) rachète Unimation Inc. avant de la revendre à [Stäubli](#) trois ans plus tard.

⁹ Un [automate](#) est un dispositif reproduisant en autonomie une séquence d'actions prédéterminées sans l'intervention humaine, le système fait toujours la même chose, ou s'adapte à des conditions environnementales perçues par ses capteurs. L'automate est un objet programmé. Parmi les automates les plus fameux, on peut citer le [Canard Digérateur](#) de Jacques de Vaucanson fabriqué en 1738, véritable prouesse technologique.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de





Premier robot Unimates en fonderie sous pression en 1961 chez GM

L'origine du mot robot provient de la langue tchèque dans laquelle son ancêtre «robot» signifie travail forcé. Le terme robot apparaît pour la première fois dans la pièce de théâtre de science-fiction de l'auteur [Karel Čapek](#) : R. U. R. (Rossum's Universal Robots). Le terme de robotique quant à lui est apparu en 1942 dans le recueil de nouvelles rédigé par Isaac Asimov et intitulé «Les robots». Il n'existe pas de définition unique néanmoins tous les spécialistes s'accordent pour dire qu'un robot est l'association indissociable de trois éléments :

- Une unité de programmation pour « raisonner », élément électronique qui fait office de cerveau,
- Des capteurs qui servent à appréhender l'environnement, éléments qui s'apparentent aux sens humains,
- Des actionneurs enfin pour interagir avec le monde réel, les « membres » du robot en quelques sortes.

Ces trois éléments donnent la capacité aux robots d'analyser leur environnement, de décider et d'agir sur le monde réel. Certains spécialistes de la robotique ajoutent à ces trois points l'autonomie sur laquelle se portent aujourd'hui de nombreuses recherches et qui apparaît comme l'enjeu de la robotique de demain.

Selon la dernière étude de l'[International Federation of Robotics](#) (IFR) parue en 2017, il y avait 1.828.000 robots industriels en activité fin 2016 par le monde. Ce nombre, selon les prévisions de la Fédération pourrait atteindre 3.053.000 unités en 2020, soit une progression annuelle de 14% entre 2018 et 2020. L'Asie serait en tête avec un taux de croissance annuel moyen de 17% sur la même période, devant les Etats-Unis (12%/an) et l'Europe qui continue son décrochage avec 7%/an. Sur la seule année 2016, ce sont près de 300.000 nouveaux robots industriels qui sont entrés en activité. Au niveau des pays, la Corée du Sud est leader avec une densité de robots pour 10.000 opérateurs près de 8 fois supérieure à la moyenne mondiale (613 robots pour 10.000 employés d'usine). La Chine est le pays qui connaît la croissance la plus forte puisqu'un tiers des achats de robots en 2017 a été réalisé par ce pays. L'industrie automobile¹⁰ reste en tête des secteurs d'activité (35% des ventes de robots en 2016 est en direction de cette industrie) qui utilisent les robots et continue à robotiser les chaînes de production (+12%/an entre 2011 et 2016). Le secteur de l'électronique arrive en deuxième position (31%) loin devant la métallurgie (10%).

¹⁰ Historiquement, et depuis le début du 20ème siècle, les modèles innovants d'organisation du travail sont souvent nés dans l'industrie automobile. Le taylorisme (s'il n'est pas à proprement parlé né dans ce secteur il a été utilisé entre autres par Renault), le fordisme et le toyotisme ont mis en avant l'automatisation de certaines tâches comme valeur ajoutée.

Classification des robots en 4 catégories par l'Association Française de robotisation industrielle

L'AFRI propose une classification des robots industriels selon 4 grandes catégories :

Classe A les manipulateurs manuels: engin motorisé commandé par un homme et ayant au moins quatre degrés de liberté.

Classe B les manipulateurs automatiques : engin de manipulation avec un minimum de deux degrés de liberté. Il suit un cycle automatique selon une séquence fixe ou variable.

Classe C Les robots programmables : manipulateur automatique ayant au moins trois axes dont deux au moins sont programmables.

Classe D Les robots intelligents : manipulateur capable d'analyser les modifications de son environnement et de réagir en conséquence

Source : [«Robots industriels : concepts, définitions et classifications»](#), Philippe Coiffet, Membre de l'Académie des technologies



Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



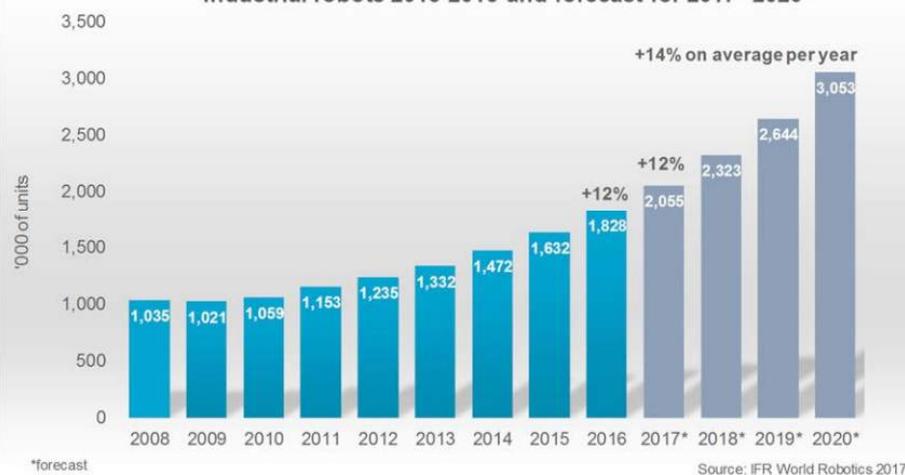
La recherche en robotique en Nouvelle-Aquitaine ne manque pas d'atouts

Les travaux autour de la robotique ne sont pas tous anxiogènes. Dans le milieu universitaire, les recherches en matière de robotique progressent très rapidement. En Nouvelle-Aquitaine, plusieurs laboratoires de recherche ont axé leurs travaux autour du développement technique de robots mais aussi des suites logicielles permettant d'implémenter les systèmes robotiques dans divers domaines d'activités. [L'ESTIA](#) à Bidart propose des formations en robotique comme celle de «[Conception des systèmes mécatroniques](#)». Sur le campus bordelais, le [LaBRI](#) abrite un projet de recherche sur la robotique humanoïde - [Rhuban](#) - dont l'équipe de football de robots humanoïdes est triple championne du monde de sa catégorie (2016, 2017, 2018) à la [RoboCup](#), compétition internationale de robotique¹¹. En 2013, la Région Nouvelle-Aquitaine (en partenariat avec [l'Agence de Développement et d'Innovation](#) et [Bordeaux INP](#)) a décidé de fédérer l'ensemble des acteurs de la filière - institutionnels, centres de recherche et professionnels - dans un cluster [Aquitaine Robotics](#) autour de 3 domaines : Robotique manufacturière et logistique, robotique en milieu ouvert (agricole, forestière, viticole, de sécurité, ...), robotique de service personnelle. Toujours à Bordeaux, [l'ENSC](#) forme des ingénieurs en cognitique spécialisés en neurosciences cognitives, en interactions Homme-Machine, en intelligence artificielle ou encore en automatique et modélisation. L'Université de Poitiers a mis en place [DextRobUP](#) - une plateforme dédiée à la manipulation dextre et à la robotique collaborative dont l'objectif est de développer de hautes compétences en matière de robotique et de cobotique mises à disposition, à travers un dispositif, de partenaires ayant pour objectif le déploiement de systèmes robotisés et/ou cobotisés. Cette plateforme appartient au programme [Ro-BioSS](#) dont les recherches portent sur la coordination des systèmes multicorps en fusionnant les concepts propres à la robotique et à la biomécanique du mouvement humain.

2. De la robotique à la cobotique

Cependant, depuis une vingtaine d'années, la quête d'autonomie pure des machines n'est plus le seul objectif de la recherche en automatisme et de l'industrie cliente de la robotique. De plus en plus, l'offre s'oriente vers des robots de moins en moins autonomes et de plus en plus passifs, soumis à l'opérateur avec lequel il va interagir. Selon Bernard Claverie, la cobotique « est mise en œuvre comme réponse pratique dans des situations où la robotique n'a pas de justification, alors que l'opérateur humain est indispensable mais confronté à des tâches difficiles ou pénibles, ou répétitives et à très faible valeur ajoutée¹². » En d'autres termes, la cobotique vise à réconcilier l'homme et la machine en vue de constituer un système à la fois plus efficace et plus intelligent.

Estimated worldwide operational stock of industrial robots 2015-2016 and forecast for 2017*-2020*

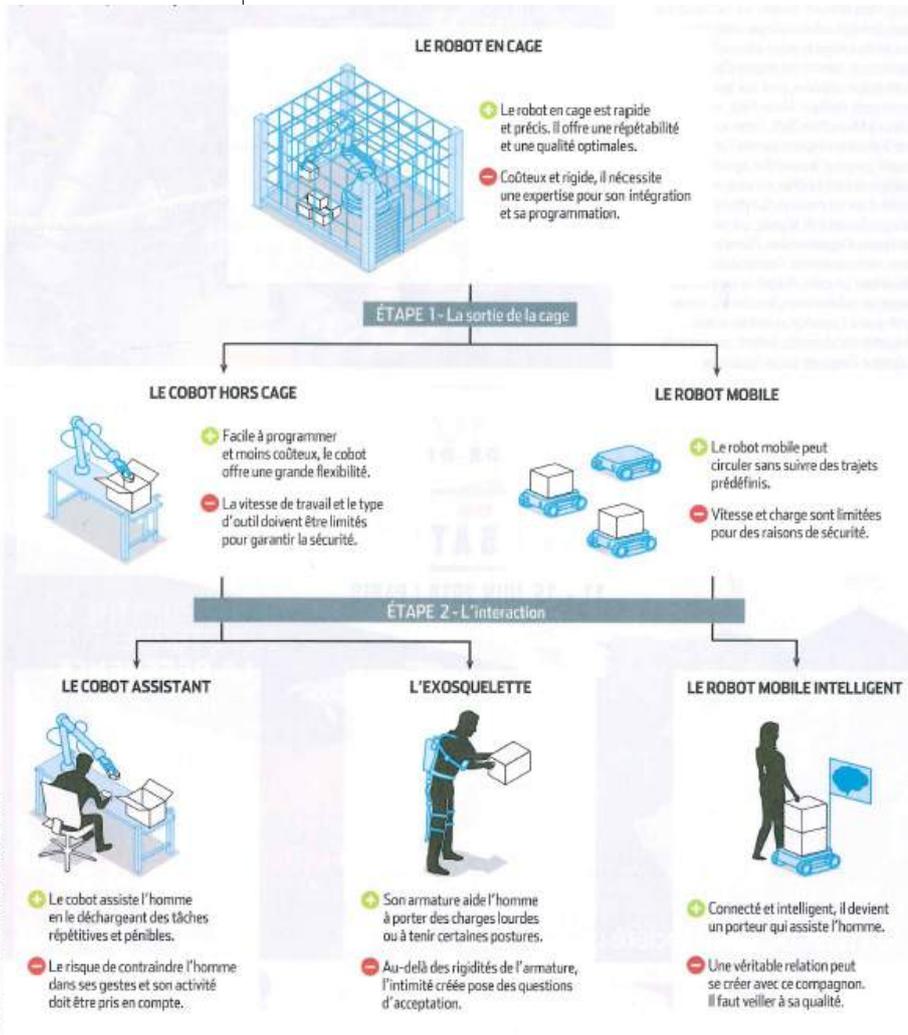


¹¹ Le 19 juin 2018, la fédération internationale a attribué l'organisation de la RoboCup 2020 à la ville de Bordeaux.

¹² Bernard Claverie, Benoît Le Blanc, Pascal Fouillat, *La cobotique : la robotique soumise*, Communication & Organisation (GREC/O), Presses Universitaires de Bordeaux, 2013, 44, p.203-214.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com





Du bras robotisé au robot collaboratif. D'après l'Usine Nouvelle, n° 3561, Mai 2018

Selon [Wikipédia](#), « la cobotique est le domaine de la collaboration homme-robot, c'est à dire de l'interaction, directe ou téléopérée, entre homme(s) et robot(s) pour atteindre un objectif commun. Ce domaine est à l'interface de la cognitive et du facteur humain (comportement, décision, robustesse et contrôle de l'erreur), de la biomécanique (modélisation du comportement et de la dynamique des mouvements) et de la robotique (utilisation d'artefacts pour produire des comportements mécaniques fiables, précis et/ou répétitifs à des fins industrielles, militaires, agricoles, de santé, de convivialité...). N'étant incluse dans aucune de ces disciplines, la cobotique est bien un sujet transdisciplinaire. »

Chiffres Cobots : 4300 cobots vendus dans le monde en 2015 contre 253000 robots industriels

En 2021 le marché des cobots pourrait atteindre 2 milliards de dollars

Avec 23500 cobots en circulation, Universal Robots domine le marché

Le terme provient du mot anglais «*cobot*», néologisme issu de «*coopération*» et «*robotique*». Il a été proposé en 1996 par J. E. Colgate, W. Wannasuphprasit et M. A. Peshkin, professeurs à la Northwestern University. Il a été introduit et initialement utilisé pour désigner des dispositifs d'assistance physique passifs qui guident les opérateurs et interagissent avec eux. On parle alors de coactivité. Cette notion sous-entend la suppression totale ou partielle des barrières physiques entre l'homme et le robot, afin qu'ils puissent interagir. Cette interaction se décline, selon l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) de différentes façons :

- L'homme et le robot concourent à la réalisation de tâches distinctes dans un même environnement. Il s'agit alors d'un partage d'espace de travail.
- L'homme et le robot travaillent simultanément à la réalisation d'une tâche commune. On parle dans ce cas d'une collaboration directe.
- L'homme et le robot travaillent à tour de rôle à la réalisation d'une même tâche. La collaboration est alors indirecte.
- L'homme est assisté par le robot dans la réalisation d'une tâche. Dans ce cas, le robot procure une assistance physique au geste en soulageant l'opérateur dans l'exécution de ses mouvements.

Comme le montre le schéma réalisé par l'Usine Nouvelle, la cobotique se décline en différentes solutions :

- L'îlot robotisé flexible. C'est la solution qui se rapproche le plus de la robotique traditionnelle mais qui dispose de dispositifs de sécurité (capteurs, caméras ...) rendant l'interaction entre l'homme et le robot plus aisée. L'homme et le robot coopèrent,

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



l'humain délègue des tâches au cobot. Le robot effectue des tâches répétitives afin de garantir une qualité constante et/ou un temps de cycle optimisé.

- L'îlot robotisé collaboratif. Cette solution est basée sur le partage des tâches entre le robot et l'homme, ils travaillent ensemble dans une même zone. Souvent le robot assiste l'opérateur lorsque le geste de celui-ci est trop complexe pour être automatisé.

- Le robot mobile collaboratif. Cette solution est toujours basée sur le partage des tâches et l'assistance du robot mais celui-ci peut être déplacé sur différentes lignes par exemple afin de répondre à des besoins ponctuels.

- Le cobot. Cette solution correspond à un équipement motorisé qui assiste l'opérateur dans ses gestes. Il permet d'amplifier la force d'un opérateur, de compenser le poids d'un outil, d'amortir les vibrations ou autre phénomène engendrant fatigue et troubles musculo-squelettiques (TMS). Le cobot permet également de garantir la répétabilité d'un mode opératoire, le guidage d'un mouvement.

- L'exosquelette. Cette solution correspond à un équipement articulé et motorisé fixé sur le corps au niveau des jambes et du bassin, voire également sur les épaules et les bras. Il facilite les mouvements en ajoutant la force de moteurs électriques.

Au final, selon [Jacob Pascual Pape](#), Directeur général d'Universal Robots pour l'Europe du Sud, « une définition souvent donnée consiste à dire que le cobot joue un rôle d'assistant auprès de l'opérateur pour effectuer certaines tâches répétitives, difficiles ou fastidieuses ».

Dans le cadre d'une comanipulation, à savoir lorsque l'opérateur et le robot

travaillent à une tâche commune, Xavier Lamy¹³ distingue trois formes principales :

1. La comanipulation parallèle : le robot copie le mouvement de l'humain et ajoute sa force à l'effort de l'humain.

2. La comanipulation orthétique : le robot ressemble à une prothèse de type exosquelette ou orthèse. Côté opérateur, les efforts peuvent être répartis en plusieurs points de contact sur le membre de l'opérateur.

3. La comanipulation sérielle : dans ce cas l'opérateur humain, le robot et l'outil forment une chaîne cinématique ; les mouvements finaux de l'outil résultent de ceux de l'opérateur et du robot, généralement via un appareil portatif mais des synergies bien plus complexes sont possibles.

De plus, contrairement au robot traditionnel qui est cantonné à l'exécution d'une seule et même tâche (et qui nécessite d'être reprogrammé pour effectuer de nouvelles actions), le cobot est réputé plus flexible et plus versatile. Ceci est possible parce que le cobot n'est pas confiné dans un espace clos (comme peut l'être le robot), qu'il peut évoluer aux côtés de l'opérateur mais aussi parce qu'il est programmable à la tâche, de manière plus facile par un programmeur ou par l'opérateur directement si celui-ci possède les compétences. Le cobot est associé à l'opérateur pour lui apporter de la puissance (soulever des charges, compenser l'effort tout en laissant l'humain exécuter le geste), de la précision (accompagner l'humain dans les gestes les plus minutieux) et de la cognition (avec l'idée ici de guider la tâche à accomplir par l'humain - nous retrouverons cette caractéristique plus particulièrement dans le milieu médical de la rééducation).

b. Cohabitation Humain-Robot

1. Acceptabilité de la machine

L'introduction d'un robot ou d'un cobot dans un univers professionnel n'est pas anodin. La personne qui entrera en interaction avec celui-ci doit accepter sa présence, accepter le fait qu'il est possible qu'elle lui délègue tout ou partie de son travail, voire même une partie de son espace de travail. Cette question de l'acceptation de la machine par l'homme est essentielle au succès de la démarche d'introduire un cobot dans l'univers professionnel. Dès lors que l'opérateur refuse cette collaboration, le projet est en passe d'échouer. Il est donc indispensable de penser, dès la phase de conception, à l'ergonomie de l'interaction entre le robot/cobot et son utilisateur/partenaire.

L'histoire de la robotique industrielle regorge d'exemples de rapports conflictuels entre opérateurs et responsables techniques dès lors que des machines - ou leurs ancêtres - sont introduites dans le processus de production. Dès le Moyen-âge, l'utilisation des machines d'imprimerie créèrent des [révoltes à Lyon](#), le perfectionnement des presses ayant entraîné une diminution de la demande de main d'œuvre et une baisse substantielle des salaires. A Londres, au XVIème siècle, des rébellions de travailleurs refusant l'arrivée de [machines automatisées](#) créèrent de grandes grèves allant jusqu'à des actes de vandalisme. En France, plus tard, la [révolte des](#)

¹³ Xavier Lamy, 2011, [Conception d'une Interface de Pilotage d'un Cobot](#), Thèse de doctorat, Institut Pierre et Marie Curie.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



Canuts de Lyon, entre 1831 et 1848, faisant suite à celles des luddistes anglais en 1811, représente parfaitement les craintes contre l'excès de machinisme et les implications de l'introduction de machines à tisser automatisées sur les conditions de travail des ouvriers. L'échec de cette révolte (dont la principale revendication était la fixation d'un salaire minimum pour les artisans canuts) marque définitivement l'entrée¹⁴ de la société occidentale dans l'ère de l'automatisation, de la machinerie et de la modernité. Dès lors, les progrès techniques successifs n'ont fait qu'augmenter la part de la robotisation dans la répartition entre force de travail manuelle et automatisation des procédés de fabrication.

Aujourd'hui encore, près de 500 ans après l'introduction des premières véritables machines robotisées dans l'univers du travail, les robots font peur. D'un côté, les robots sont vus comme une véritable aubaine car ils peuvent fonctionner 24 heures sur 24, sans interruption ni revendication. En termes de productivité, un robot bien programmé peu très rapidement dépasser la productivité d'un opérateur spécialisé. Du côté des travailleurs, le robot est perçu comme une menace réelle pouvant conduire sinon à la perte de son emploi du moins à une remise en cause des qualités du travail effectué par l'opérateur. Pourtant, les robots se sont véritablement installés dans les usines dès lors qu'ils ont été en mesure de remplacer les opérateurs sur des tâches répétitives (palettisation, opérations de pick and place), des tâches nécessitant des forces particulièrement importantes (comme la manipulation de pièces lourdes ou imposantes) ou sur des tâches dangereuses (manipulation de pièces chaudes, opérations de soudage, opérations dégageant des émissions de gaz, etc.). Ce remplacement a réorienté la main d'œuvre vers des postes à valeur ajoutée (certains

opérateurs devenant des contrôleurs ou des programmeurs de robots¹⁵) ou, à un niveau macroéconomique (selon les théories de Schumpeter et Sauvy), a conduit à la destruction créatrice d'emplois qui peuvent être déversés vers d'autres secteurs d'activités. Bien entendu, du point de vue de l'ouvrier, cette destruction d'emploi est vécue de manière dramatique si elle n'est pas accompagnée, par l'entreprise ou par la société dans son ensemble, d'un programme de requalification et à la formation. C'est une des raisons pour lesquelles, l'automatisation et la robotisation sont vécues, de l'intérieur, comme une véritable menace pour l'emploi et un facteur exacerbé de précarité. L'automatisation à marche forcée pourrait même, d'ici 2030, déstabiliser non seulement le marché de l'emploi mais aussi toute la classe moyenne qui occupe les emplois les plus exposés à l'automatisation et à la robotisation.

2. Impacts psycho-sociaux et organisationnels, enjeux de sécurité

L'utilisation d'un robot collaboratif expose les salariés à des risques inhérents aux machines, auxquels il est aujourd'hui indispensable d'ajouter d'autres risques liés à la coactivité et à la promiscuité machine/opérateur. L'INRS identifie les principaux risques, selon la norme NF EN ISO 12100. (cf tableau ci-dessous)

¹⁴ La première révolution industrielle étant concomitante à la Révolte des Canuts, cette dernière n'est qu'un symptôme parmi d'autres comme l'invention de la machine à vapeur, celle de la sidérurgie, etc.

¹⁵ Un membre de l'IRT Jules Verne explique alors qu'« un soudeur ne perdra plus 70% de son temps à préparer son matériel et le métier de soudeur deviendra celui de coboticien-soudeur ».

Risques	Origines	Conséquences
Mécaniques	Mouvement (bras, pinces, outil, pièce manipulée) dans l'espace d'évolution de l'opérateur. Chute ou éjection de pièces ou produits...	<ul style="list-style-type: none"> • Écrasement • Cisaillement • Coupure ou sectionnement • Choc • Perforation ou piqûre • Friction, abrasion...
Thermiques	Contact avec des éléments chauds Température excessive liée au processus...	<ul style="list-style-type: none"> • Brûlure (chaude ou froide) • Lésion (yeux, peau) produite par rayonnement
Vibrations	Contacts avec des éléments en vibration (guidage manuel par exemple) ...	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue • Dommages neurobiologiques • Désordres vasculaires • Choc
Non-respect des principes ergonomiques	Mouvements imprévisibles du robot dans l'espace de travail collaboratif Contraintes physiques, psychiques ou mentales du fait de contacts « homme-robot » répétitifs Éclairage local insuffisant	<ul style="list-style-type: none"> • Troubles musculosquelettiques (TMS) • Fatigue • Stress • Surcharge mentale...

Source : Identification des risques par l'INRS

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de





Cédric Villani • Crédits : Etienne Laurent - AFP

Les [troubles musculosquelettiques](#) sont également un point important qu'il ne faut pas négliger lors de la mise en œuvre d'une politique axée sur la robotique. Les robots collaboratifs sont, par leurs fonctions et leurs natures, réputés venir alléger le travail des opérateurs et doivent donc réduire l'occurrence de TMS dans toutes leurs composantes¹⁶. Cependant, il est important de tenir compte du fait que, contrairement au robot autonome qui n'implique pas l'opérateur, le cobot nécessite la présence de l'humain avec lequel il collabore. Et cette collaboration entraîne l'exécution de nouveaux gestes (qui peuvent remplacer des gestes qui sont dorénavant exécutés par le robot) qui, par leur répétition et par la cadence imposée par la machine, peuvent s'avérer être également traumatisants.

Mais l'introduction d'un cobot auprès d'un opérateur peut également faire naître des traumatismes non plus physiques mais psychologiques. En effet, pour l'opérateur, travailler conjointement avec un cobot n'est pas anodin. Plusieurs points sont à aborder ici. Tout d'abord, la présence du cobot

peut augmenter le stress de l'opérateur qui doit, en plus de son attention sur ses tâches, apprendre à gérer sa présence : rester attentif aux déplacements du cobot, à ses mouvements peut, à terme, conduire à une fatigue psychologique augmentant ainsi la probabilité d'occurrence des TMS. L'arrivée d'un robot collaboratif dans un espace de travail peut également entraîner une réduction du sentiment d'autonomie de l'opérateur. En effet, le fait que le cobot impose un rythme, une méthode et un process peut donner le sentiment d'une déshumanisation du travail réalisé et de pertes d'initiatives. Il est donc important d'intégrer l'opérateur à la démarche de mise en œuvre de la robotique collaborative dès le départ. Celui-ci doit être partie prenante de la stratégie, dès la définition des besoins jusqu'à la scénarisation des différentes situations de travail qui seront alors rencontrées. C'est ce que recommande le député Cédric Villani dans son rapport [«Donner un sens à l'intelligence artificielle»](#) qu'il a remis au Premier Ministre le 28 mars 2018 lorsqu'il écrit *« la définition de ce mode de complémentarité doit faire*

l'objet d'un dialogue large, qui intègre en premier lieu les salariés. Il s'agira notamment de concilier la volonté de développer les marges de manœuvre des individus et les effets potentiellement négatifs des injonctions à la créativité, qui peuvent être source de difficultés pour beaucoup d'individus.» L'ENSAM Lille propose une formation [Expert en robotique collaborative pour l'industrie du futur](#) dans laquelle une place importante est accordée à l'interaction homme-machine sous différents aspects (acceptabilité, définition du process, etc.) mais aussi sa place au sein du collectif. Le cobot sera d'autant mieux accepté qu'il ne remettra pas en cause les relations existantes entre les opérateurs eux-mêmes. Un cobot qui aide à la manipulation des pièces lourdes pouvant supprimer l'aide informelle qui peut exister entre collègues.

¹⁶ L'[Assurance Maladie](#) liste 4 grands facteurs favorisant les TMS : les facteurs biomécaniques et environnementaux, les contraintes psychosociales, les contraintes organisationnelles et les facteurs individuels.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



ROBOTS COLLABORATIFS : UN FONCTIONNEMENT REGLEMENTE

La [norme ISO 10218-1](#) définit quatre modes de fonctionnement collaboratif :

1- L'arrêt nominal de sécurité contrôlé : le robot s'arrête à l'approche d'un opérateur. Cet arrêt est déclenché par des dispositifs de sécurité (barrières immatérielles, scrutateurs, etc.) qui détectent la présence de l'opérateur.

2- Le guidage manuel : ce mode nécessite un contact continu entre le robot et l'opérateur. Il permet à ce dernier de guider facilement le robot ou au robot d'apporter une assistance physique à l'opérateur. Ce type d'interaction peut être utilisé aussi bien pour les robots d'assistance physique sans contention que pour les tâches d'apprentissage de robots industriels.

3- La vitesse et la distance de séparation contrôlées : ce principe de sécurité consiste à maintenir une distance de séparation entre l'opérateur et le système robot de manière dynamique. Cette distance ainsi que la vitesse doivent être contrôlées de manière sûre. Les valeurs limites de ces deux paramètres (vitesse et distance de séparation) sont déterminées lors de l'évaluation des risques. Aucune solution technologique mettant en œuvre ce principe n'est aujourd'hui commercialisée.

4- Limitation de la puissance et de la force du robot : à la différence des autres éléments de sécurité, celui-ci permet, sous certaines conditions, le contact entre l'opérateur et le système robot dans l'espace de travail collaboratif. Il impose toutefois la mise en place de dispositifs limitant les effets des impacts lors d'une collision.

Ces quatre modes peuvent être combinés entre eux, et leur choix se fera en fonction des résultats de l'analyse de risques. Il faut donc utiliser les modes de fonctionnement adaptés aux situations de travail.

Source : [Organisation Internationale de Normalisation](#)

B- Quels enjeux de la robotique collaborative ?

La mise en place d'un système cobotique permet, tout en conservant le savoir-faire humain – et parfois en le renforçant, de développer la flexibilité et la polyvalence de l'appareil productif. Là où le robot apporte précision et endurance, l'opérateur apporte expertise, intelligence et décision. Pour autant, afin de réussir parfaitement l'intégration d'un système cobotique dans une entreprise, plusieurs écueils doivent être évités.

a. Au niveau technologique

L'introduction d'éléments robotisés dans une chaîne de production nécessite en premier lieu des études préalables de faisabilité, à la fois technique et humaine. L'intégrateur, c'est-à-dire le technicien en charge de l'assemblage du système cobotique avec le système physique, doit pouvoir posséder un cahier des charges précis et opérationnel. Ce travail doit associer, dès le début, l'ensemble des parties prenantes et notamment les opérateurs qui seront en relation avec le cobot afin qu'il détermine les différentes options d'ergonomie lui facilitant le travail. Le besoin émanant de l'industriel ou du professionnel qui va vouloir intégrer un système cobotique doit parfaitement être établi sous risque de proposer une solution technologique inefficace et qui sera à terme vouée à l'échec. De même, il serait illusoire de vouloir robotiser (ou cobotiser) un process qui n'est pas maîtrisé sous peine de conduire à l'échec également.

L'un des intérêts de la cobotique par rapport à la robotique classique est qu'elle permet d'associer un opérateur et un robot (et non remplacer le premier par le second). Il existe donc une opportunité réelle d'augmenter la



Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



productivité du process en tirant parti de la conjonction des forces des acteurs : puissance, agilité et précision pour le robot ; intelligence, esprit critique et savoir-faire pour l'opérateur. Le nombre d'opérations humaines remplacées par des actions robotisées permet à l'opérateur de se concentrer sur des missions de contrôle et des tâches à plus forte valeur ajoutée. Le recours au cobot permettant d'augmenter la qualité et la reproductibilité des pièces.

b. Au niveau de la transformation de l'entreprise

L'introduction d'un système cobotique dans une entreprise impacte nécessairement l'ensemble des fonctions : les bureaux d'études en premier lieu qui doivent tirer parti des nouvelles possibilités offertes par la cobotique, mais aussi les opérateurs qui sont les premiers concernés. La maintenance joue également un rôle nouveau dans la mesure où une attention particulière doit être portée sur le bon fonctionnement de l'ensemble du système et sur le respect des normes de sécurité. Du côté des ressources humaines, le principal challenge qui se présente aux dirigeants sera celui du management de la performance dans laquelle la force de travail sera répartie entre l'homme et la machine. Comment évaluer les résultats d'un opérateur qui travaille en compagnie d'un cobot ? Quelles sont les nouvelles métriques qu'il conviendra d'utiliser pour mesurer la performance dans un système où la frontière entre l'homme et la machine a tendance à s'estomper ?

Au-delà, c'est la culture d'entreprise qui se transforme également : l'ensemble des employés doit être conscients que les cobots ne viennent pas remplacer la force de travail mais la compléter, l'augmenter et l'enrichir. De l'autre côté, les dirigeants et

les cadres de l'entreprise doivent également prendre conscience que la robotisation implique de laisser à la machine et à l'intelligence artificielle demain les clés pour organiser les tâches. Le fait d'imposer aux opérateurs cette situation de fait peut renforcer le sentiment d'«expropriation» de son travail de «dé-subjectivation» lors duquel «l'opérateur n'a plus la possibilité d'être créatif et innovant ni de [s]'incarner dans son travail¹⁷». L'entreprise doit donc veiller à ce que les salariés n'aient pas le sentiment d'être soumis à des autorités techniques, la machine et l'intelligence artificielle, contre laquelle ils ne peuvent opposer leur propre humanité. Cette articulation homme-machine questionne également l'évaluation des compétences à mettre en œuvre pour effectuer les tâches.

c. Sur les plans économiques ou sociaux

Enfin, la cobotique a également des arguments à faire valoir en matière économique et sociale. Du point de vue économique, l'introduction de la cobotique sur les chaînes de production permet une augmentation de la productivité¹⁸, une amélioration de la qualité, et une meilleure reproductibilité de cette qualité. Par ailleurs, dans certains secteurs d'activités, les cobots peuvent également pallier la pénurie de main d'œuvre constatée. Au niveau de l'entreprise, les robots collaboratifs permettent une diminution des coûts de production et offrent de nouvelles possibilités de production.

Du point de vue social, l'ergonomie des postes étant améliorée, il sera probable de voir diminuer les arrêts de de travail tout en constatant une augmentation de l'investissement de l'opérateur dans son travail. L'allègement de certaines tâches pourra également permettre aux femmes d'accéder plus facilement à certains

types d'emplois qui leur était compliqué d'exercer auparavant. Au niveau macro-économique, la cobotique peut également redonner goût aux métiers manuels et de production en les rendant plus attrayants et beaucoup plus valorisés. De même, pour certains, le développement de la cobotique aura un effet bénéfique sur l'emploi en réduisant les délocalisations des activités pénibles à faible valeur ajoutée (qui seront dorénavant réalisables sur le sol national par des robots) et pourrait même à terme conduire à la relocalisation de certaines activités. En 2016, l'allemand Adidas a décidé de [relocaliser sa production de chaussures en Allemagne](#) et la confier à une usine automatisée dans laquelle 160 personnes ont été recrutées (du cadre dirigeant à l'opérateur). En rapatriant cette production, l'entreprise cherche à réduire les coûts de transport, l'empreinte environnementale tout en économisant les salaires des opérateurs chinois qui ne cessent d'augmenter.

[Deux arguments importants](#) plaident pour une relocalisation de la production dans des entreprises robotisées/cobotisées :

- Les robots accroissent l'automatisation et la productivité des entreprises, ce qui rend l'arbitrage de la main-d'œuvre des pays à faible coût moins attrayant et les économies d'échelle plus importantes.
- Ils permettent également plus de flexibilité aux entreprises et une production de solutions individualisées plus efficace, ce qui les encourage à produire au plus proche de leurs clients (chaînes de valeur locales).

¹⁷ Marc-Eric Bobillier Chaumon, interview réalisée par L'Usine Nouvelle, n°3561, mai 2018.

¹⁸ En effet, quand le coût du travail est en moyenne basse de 8,25 dollars de l'heure en Pologne et en moyenne haute de 39,81 dollars en France, un cobot comme Baxter peut émerger à 5,1 dollars de l'heure.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



II - Le déploiement de la robotique collaborative

La robotique collaborative se développe dans six grands domaines : la cobotique industrielle, la cobotique médicale, la cobotique militaire, la cobotique agricole et enfin la cobotique domestique. Dans ce qui suit, nous traiterons plus particulièrement des deux premiers secteurs en fort développement : la cobotique industrielle et la cobotique médicale.

A - La cobotique s'installe au coeur des usines

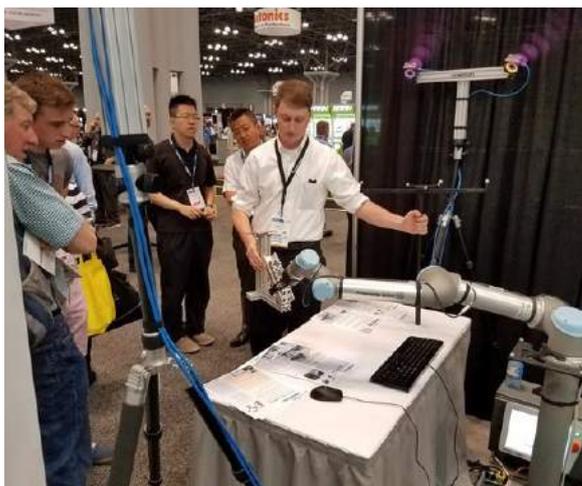
1. Le cobot, véritable compagnon de travail

La cobotique industrielle, comme sa grande sœur la robotique, s'est développée en grande partie grâce à l'industrie automobile. En effet, la production de masse, l'augmentation des cadences et les progrès technologiques font qu'aujourd'hui, l'automobile est le premier secteur d'activité industrielle à déployer massivement des cobots. Après avoir cherché à remplacer les ouvriers par des robots sur les chaînes de production, l'industrie automobile se tourne dorénavant vers la cobotique. Ford, par exemple, vante les mérites de l'association entre un opérateur et un cobot sur les chaînes de production de la Ford Fiesta en Allemagne, notamment pour la pose des pare-chocs, opération minutieuse nécessitant force et dextérité.

Pour Karl Anton, directeur des opérations véhicules de Ford Europe, les cobots « *aident à rendre les tâches plus faciles, plus sûres et plus rapides, en complément des employés* ». Audi, en 2015, a été l'un des tous premiers à installer des robots collaboratifs sur ses chaînes de montage. Le projet InPART4you consiste à installer un robot de type KR5Si conçu par MSK-Systeme. La principale caractéristique de ce bras robot est d'être équipé de multiples dispositifs de protection pour permettre de l'installer sur un poste de travail sans le protéger par une enceinte close.

L'ouvrier chargé de monter le vase d'expansion de liquide de refroidissement est assisté du robot. C'est lui qui prend la pièce en question dans le bac et la tend à l'ouvrier. Ce dernier se déplace moins et n'a plus à se baisser pour prendre la pièce dans le bac. En Allemagne, Volkswagen a choisi de collaborer avec la société danoise,

Universal Robots, leader mondial sur le secteur de la cobotique, pour associer à certains opérateurs sur les lignes d'assemblage des moteurs le robot collaboratif UR5. L'objectif est de soulager le travail de deux employés, qui consiste à insérer les bougies de préchauffage dans une culasse très étroite. En France, l'industrie automobile mise également beaucoup sur le développement de la cobotique dans ses usines. Le groupe PSA Peugeot-Citroën et l'école des Mines ParisTech ont créé en juin 2011 une chaire de recherche dans le domaine de la collaboration homme-robot. L'objectif visé de cette collaboration qui s'est achevée en 2016 était d'étudier concrètement les conditions d'acceptabilité de la machine par l'homme à travers différents cas d'études. Dans un premier temps, il s'agissait de valider, par la mise en place d'une tâche abstraite d'échange de pièces entre robot et opérateur, la pertinence de la méthodologie choisie pour évaluer l'acceptabilité. Il s'agissait ensuite d'étudier l'intérêt de la cobotisation sur un poste de montage. Le but de la robotisation d'une telle tâche est de soulager les contraintes ergonomiques de l'opérateur sur ce poste par l'introduction d'un robot, l'opérateur restant disponible à proximité du robot pour effectuer des tâches supplémentaires. Enfin, le troisième cas d'étude s'est concentré sur un poste de travail d'assemblage de durite d'air. Il s'agit d'un robot capable d'assister un opérateur dans sa tâche d'assemblage. Différentes situations ont été observées selon qu'elles entraînent plus ou moins d'interaction entre l'opérateur et le robot.



Démonstration du cobot UR5 d'Universal Robots avec notamment la fonction d'évitement de collisions © Universal Robots

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



De nombreuses entreprises se sont lancées, depuis le début des années 2000, sur le marché de la robotique collaborative. Les progrès dans les techniques de programmation des machines ainsi que sur le développement de l'intelligence artificielle ont permis à ces entreprises de proposer des technologies à la fois efficaces, sécurisées et pérennes.

Les bras articulés sont les cobots que l'on retrouve le plus souvent dans les usines car ils permettent une véritable collaboration entre l'opérateur et la machine. Ces bras sont articulés autour de plusieurs axes (entre 3 pour les plus simples et 6 voire 7 pour les plus sophistiqués) : souvent 3 axes sont destinés au positionnement et 3 axes à l'orientation permettant de déplacer et d'orienter un outil dans un espace de travail donné. Ils reproduisent ainsi les articulations des opérateurs et peuvent les remplacer efficacement. Certains bras sont programmés pour apprendre par eux-mêmes les gestes à reproduire grâce au machine learning.

HumaRobotics, basé à Bordeaux, est un acteur majeur de la robotique collaborative et a été choisi par l'américain **RethinkRobotics** pour distribuer le cobot **Sawyer**. Le spectre des secteurs d'activités est très large : l'industrie cosmétique, la plasturgie, l'usinage, l'aéronautique, l'industrie automobile, la logistique et l'industrie électronique. Le robot collaboratif est doté de 7 degrés de liberté lui permettant de reproduire bon nombre de gestes humains. Il est par ailleurs doté d'autres fonctionnalités comme la vision embarquée, le force sensing¹⁹, le mode palettisation, le système de repositionnement du robot et le système de gestion des signaux.

Toutes ces **caractéristiques** techniques font du robot un compagnon idéal dans de nombreux champs d'application dont :

- le packaging, la mise en carton, le conditionnement et la palettisation : dans ce cas, l'**opérateur avance les produits** de manière à ce que le bras articulé s'en empare et les place dans un carton ou sur une palette. Cela permet à l'opérateur humain de se délester des tâches répétitives tout en augmentant les cadences. **DHL**, l'entreprise logistique, a choisi Sawyer pour ses opérations de picking et de palettisation.

- Le chargement et déchargement de lignes : le cobot Sawyer permet une flexibilité accrue dans la modification des lignes de production. **General Electric**s a ainsi introduit ce robot afin de gagner en flexibilité (les lignes de production étant réputées non automatisables car trop compliquées à modifier et reprogrammer), en cadence et en réduction des TMS des opérateurs présents sur les chaînes.

- La réponse à la demande de personnalisation des produits par les clients: la versatilité du robot Sawyer permet à toute PME ou PMI de répondre très rapidement à une évolution de la demande ou du cahier des charges imposé par le client. **Acorn Sales**, une PME américaine familiale spécialisée dans les timbres, tampons, scellés et autres accessoires d'entreprise a fait appel au cobot Sawyer pour améliorer la qualité des produits, maintenir le rythme de production, réduire la dépendance aux fournisseurs et répondre aux attentes des clients. Au final, **la robotique a permis à l'entreprise de rester compétitive**.

Les exemples ne manquent pas : **Yaskawa**, entreprise nipponne, propose un robot collaboratif (le **MOTOMAN HC10**) équipé de 6 axes et d'une technologie de limite de force et de puissance qui garantit la sécurité de opérateurs en arrêtant le robot en cas de contact. **Yumi d'ABB** est un robot collaboratif de dernière génération,

connecté à l'Internet Industriel des Objets et doté de la **programmation par apprentissage** qui permet à l'opérateur d'enseigner au robot l'ensemble des mouvements par apprentissage manuel (évitant ainsi le recours à la programmation informatique). La société Ysibot²⁰ propose un cobot (le **Syb3**) spécialisé dans les opérations de ponçage dont l'objectif est de délester l'ouvrier de cette tâche fatigante. **Stäubli**, acteur suisse historique de l'automatisation et de la robotisation propose une **gamme de robots collaboratifs étendue**. Cette gamme, la TX2, propose des dispositifs cobotiques équipés de scanners laser reliés au contrôleur pour savoir quand un opérateur s'approche. Ce dispositif lui permet d'adapter sa vitesse selon la distance à laquelle se trouve l'être humain. L'objectif est alors de proposer un robot collaboratif en mesure de répondre aux hautes cadences du monde industriel tout en limitant son empreinte au sol et son coût d'intégration. Enfin, la société **RB3D** offre des assistants de charges c'est-à-dire des cobots qui permettent à l'opérateur de déplacer et de manipuler aisément outils, charges lourdes et pièces encombrantes.



19 Grâce aux capteurs de couple sensibles incorporés dans chacune de ses articulations, le robot est capable de contrôler l'effort ou la sensibilité appliquée selon les cas d'applications.

20 **L'entreprise** est une spin-off du CEA-List qui travaille au développement de la cobotique industrielle.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de





1A
100



Gripper



Electromagnet



Suction Cup



Hook

Le cobot 1A100 de RB3D est un robot collaboratif de nouvelle génération, qui présente des caractéristiques de fluidité et maniabilité exceptionnelles © RB3D

Certaines entreprises misent sur une offre de robots collaboratifs très simples à mettre en œuvre. Ces solutions partent du constat que la robotisation – et plus récemment la cobotisation – fait encore peur dans les entreprises : craintes exprimées en matière de coûts d'installation et de maintenance, craintes concernant la valeur ajoutée de l'automatisation, craintes sur les normes de sécurité ou encore craintes concernant la complexité à gérer une flotte de robots/cobots dans une usine et les rapports de force entre ces derniers et les salariés. Pour répondre à ces inquiétudes, [MIP Robotics](#) propose un bras mécanique programmable sans compétence informatique particulière. Ces robots simples d'utilisation, faciles à mettre en place en entreprise sont peu coûteux même pour des PME ou des PMI. La firme allemande KUKA propose également un cobot « ready to use ». Le [LBR iiisy](#), un cobot versatile qui peut s'installer très rapidement dans une multitude de configurations et reprogrammable très facilement à loisir.

Il est un autre domaine dans lequel la robotique collaborative commence à s'implanter : celui de la logistique. Dans la tendance actuelle de la modernisation des entrepôts, les entreprises de logistique n'hésitent plus à intégrer dans leur process un certain degré d'automatisation des tâches. L'objectif n'est pas de remplacer tous les opérateurs par des robots mais de les libérer de certaines tâches pénibles ou de les aider dans des tâches où l'humain est encore nécessaire (en travaillant sur l'ergonomie par exemple). Le géant du commerce en ligne [Cdiscount](#) l'a bien compris et a accueilli dès la première promotion de start-up accompagnées dans son incubateur [The Warehouse](#) deux entreprises proposant des solutions robotisées et cobotisées : [Nomagic.ai](#), qui propose des outils collaboratifs permettant de délester les opérateurs des opérations de pick and place dans les rayonnages des entrepôts ou pour les préparations de colis. Autre start-up, [Exotec Solutions](#) propose des systèmes de préparation de commande basés sur des flottes de robots évoluant

dans les trois dimensions permettant aux opérateurs initialement affectés au picking d'être redéployés sur des tâches à valeur ajoutée comme la programmation et le contrôle des robots. Ce marché de la cobotisation logistique est en pleine expansion comme en témoigne, outre l'initiative de [Cdiscount](#), la récente levée de fonds réalisée par [iFollow](#). Cette jeune société issue de Polytechnique a réalisé une première levée de fonds de 1,2M€ menée par [Axeleo Capital](#), [WaterStart Capital](#) (NCI), accompagné d'[X-Création](#) (incubateur de Polytechnique) et de [Business Angels](#). Un complément est issu de financements non-dilutifs ([Bpifrance](#) et [Caisse d'Épargne](#)). Ce premier tour de financement a pour objectif d'industrialiser la production, de distribuer 100 robots d'ici fin 2018 et de renforcer l'équipe. Les cobots proposés par l'entreprise sont les premiers robots autonomes d'assistance aux préparateurs de commande en entrepôts à températures négatives. Ils permettent d'accroître la productivité (de l'ordre de +30%) et de réduire considérablement la pénibilité du picking. Le robot collaboratif [iLogistics](#) assure une meilleure qualité de préparation, un pré-conditionnement des commandes, et une amélioration considérable des conditions de travail. Cette solution cobotique est capable de s'adapter à tout type de chariot et de porter 300 kg de marchandises à des températures allant jusqu'à -25°C.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



3 questions à Maxime Hardouin, directeur d'Aerospline, créateur de solutions cobots pour l'efficacité et la sécurité des métiers industriels reconnu officiellement comme intégrateur des solutions offertes par Universal Robots.

Maxime, pourquoi introduire la cobotique sur des postes de production ?

Cela fait 50 ans que la robotique conventionnelle participe à la production de masse. Avec réussite notamment dans l'automobile et dans un pays comme l'Allemagne qui possède beaucoup d'ETI productives pour un marché mondial. A côté de tout cela la France semble en retard dans la robotisation avec 50000 robots contre plus de 230000 en Allemagne.

Pourquoi? Le fait d'une industrie plus endogène tandis que les allemands exportent considérablement mais aussi l'absence de solutions robotiques en rapport avec la nature du tissu industriel français. Et c'est là qu'intervient le potentiel de la cobotique. Il se trouve que l'Europe est le deuxième continent au monde en équipements cobotiques. Et la France le premier pays d'Europe ! Au regard des 90% de PME de notre pays, il manquait 90% de la « bonne robotique », la robotique collaborative. En effet, les robots collaboratifs apportent des réponses inédites qui motivent leur incorporation en production. Dans un premier cas d'emploi, leur simplicité et l'accessibilité immédiate à des fonctions de préhension et déplacement en 3 dimensions en font des moyens aussi pratiques que des ordinateurs portables. Un idéal pour des petites entreprises comme par exemple les usineurs. Montage rapide, versatilité d'emploi, retour sur investissement rapide.

Dans un second cas, celui pour lequel AeroSpline s'est fait une réputation forte, il est possible de répondre à des problématiques de risques, toxicité, pénibilité sur des postes néanmoins très techniques comme l'assemblage aéronautique, le soudage, le sablage, le ponçage. Les métiers des sous-traitants aéronautiques se présentent ainsi souvent sur des lots très petits mais de très nombreuses références. Les gestes précis et les compétences élevées peuvent être aidés par nos cobots. Nous répondons de plus en plus à des besoins opératoires en inventant avec nos clients de nouveaux moyens collaboratifs homme-cobot. Notre plus grand plaisir vient de la reconnaissance des compagnons envers nos propositions : nous défendons des métiers au lieu de penser numérique ou délocalisation. A ce propos, trop de consultants racontent que les emplois manuels vont disparaître avec la robotique et que les entreprises vont embaucher des gens plus diplômés. Ce discours viral est non seulement décalé mais aussi toxique.

La réalité est que l'industrie a besoin de personnes bien formées non pas pour travailler dans des bureaux mais pour exercer un summum d'intelligence, aux arts manufacturiers. Car c'est cela la valeur de la France à défendre. Nos savoir-faire. AeroSpline arpente, à la demande, tant d'ateliers magnifiques où les gestes sont précis et précieux, issus d'une transmission longue, d'apprentissage et de culture générale. Je veux dire contre la pensée numérique immatérielle qu'une approche cobotique adresse mieux nos entreprises de belles factures en joaillerie, chaudronnerie, ébénisterie, construction navale, confection, malletier, matériel de vision ou aéronautique.

Quels sont les enjeux de la cobotique ?

L'enjeu est la défense de nos usines et de nos savoir-faire industriels sur le territoire Français. Il y a plus de 10 millions de personnes qui travaillent physiquement en France en production notamment dans l'industrie, la construction, l'agriculture. Aucune d'elle n'est prémunie totalement contre la pénibilité et l'usure du corps. Nous pensons qu'il faudra dans l'avenir 1 cobot pour 3 personnes soit plus de 3 millions de cobots.

Chaque cobot doit permettre de rendre les gestes plus efficaces, plus sûrs et de produire entre deux et quatre fois plus de valeur tout en réduisant fortement la non-qualité. Tous les professionnels aspirent naturellement à faire mieux mais subissent des contraintes pratiques qui les entravent et induisent une fatigue pernicieuse. L'exemple type de fatigue est celle de l'assemblage de vannes sur gammes spécifiques où la préhension induit une fatigue physique de la main et du corps au poste et où l'attention constante avec le regard rivé sur de petits composants et la pensée tenue au respect de la gamme sont générateurs de fatigue psychiques. L'enjeu sera de développer des solutions cobotiques transversales qui amortissent plus ou moins totalement les problèmes physiques et psychiques et permettent ainsi à ces professionnels d'exercer pleinement et dans de bien meilleures conditions l'excellence de leur métier.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



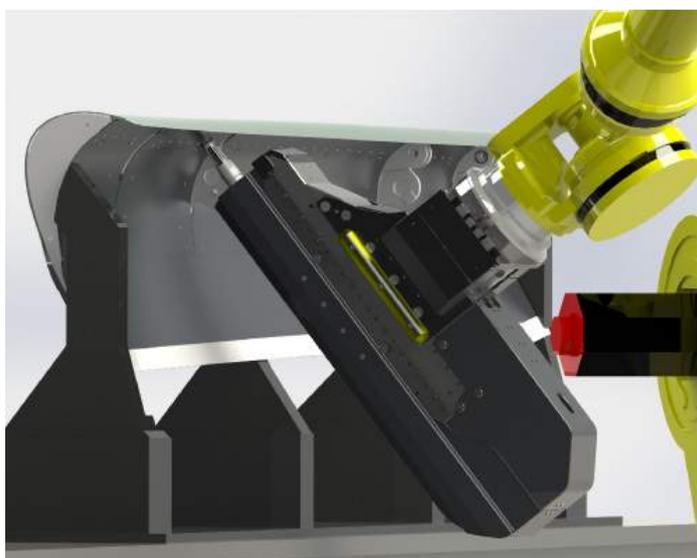
En outre pour ce qui concerne la défense des savoir-faire territoriaux, en France, il s'agit avant tout d'attirer les jeunes vers la formation aux métiers manuels. Je parle bien de métiers. Un travail à la chaîne est rarement un métier, un métier nécessite un apprentissage et de l'expérience. Alors que les métiers manuels font l'objet de mépris, nous pouvons témoigner que toutes les solutions cobotiques déployées par AeroSpline ont généré un attrait inédit dans les usines pour les jeunes. L'enjeu de la cobotique est donc de revisiter massivement les métiers pour provoquer un choc d'appétence. Notre avenir industriel sera ainsi celui d'entreprises alliant tradition et haute technologie, pensées et gestes, prisées sur le territoire comme à l'étranger.

Quelles sont les limites de la cobotique ?

La cobotique est à la dimension de l'Homme. Elle touche à des métiers à taille humaine. Ses limites sont probablement les activités à grande échelle, lourdes ou à très forte cadence, celles où la robotique conventionnelle prend sa place, derrière des barrières de sécurité, avec des solutions très puissantes et en même temps dangereuses.

AeroSpline®

new robotics



Effecteur Aerospline de perçage haute précision

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



2. Les exosquelettes : développer les capacités physiques en soulageant l'opérateur

Un autre marché émerge, à côté de la cobotique telle qu'elle est définie précédemment, en dehors de tout contact avec l'être humain. Il s'agit de la technologie liée aux exosquelettes. Par définition, l'exosquelette est «une caractéristique anatomique externe qui supporte et protège un animal. Beaucoup d'invertébrés, comme les insectes, les crustacés et les mollusques, possèdent un exosquelette²¹.» On peut faire remonter les premiers exosquelettes manufacturés aux armures des chevaliers du Moyen-Âge. Mais les contraintes physiques liées à ces armures ont entraîné l'abandon de tout intérêt jusqu'au début des années 60 lorsqu'un ingénieur, Ralph Mosher, voulait construire un exosquelette motorisé qui lui permettait de soulever 680kg, le Hardiman pour le compte de General Motors à des fins militaires²². Mais rapidement, le projet fut abandonné pour des raisons de sécurité. Au début des années 2000, la DARPA (le centre de recherches de l'Armée américaine) a relancé les recherches à des fins militaires (Human Performance Augmentation Programme) motivant de nombreux centres de recherche du monde entier à se lancer dans la course à l'exosquelette. Ceci a permis de nombreuses avancées, tant dans le spectre des fonctionnalités des robots que dans les caractéristiques intrinsèques (poids, adaptabilité, versatilité, etc.) Les exosquelettes proposent des solutions permettant d'augmenter les capacités physiques humaines, permettant d'alléger les efforts des opérateurs, assistant directement les opérateurs dans leurs tâches. Véritables assistants à l'effort, ce sont des structures qui doublent le corps humain pour lui octroyer des capacités physiques qu'il n'a plus ou qu'il n'a pas.

Exhaus est un acteur majeur proposant des solutions d'exosquelettes assistant à l'effort pour les opérateurs dans l'industrie. 6 exosquelettes sont proposés couvrant les opérations de picking, soulageant les gestes répétitifs, facilitant les opérations d'assemblage, assistant toutes les opérations nécessitant des déplacements, permettant une meilleure stabilisation lors d'opérations délicates ou accompagnant l'opérateur pour lui faciliter ses interventions. Le Japonais Cyberdyne

développe un exosquelette se présentant sous la forme d'une ceinture abdominale permettant de soulager les lombaires des ouvriers passant leurs journées à porter des charges lourdes. En lisant les signaux bioélectriques émis par l'opérateur, l'appareil aide les mouvements de ce dernier en fonction de ses intentions et réduit le stress appliqué sur la région lombaire lorsqu'il soulève ou porte des objets, permettant de travailler sans fatigue ni douleur.

²¹ Source [Wikipédia](#)

²² L'idée était de l'utiliser à bord de porte-avions pour le chargement des bombes, dans la construction sous-marine, dans les centrales nucléaires et dans l'espace.



Ford équipe certains ouvriers spécialisés dans l'assemblage de pièces automobiles de vestes exosquelettes proposés par la société Esko afin de les soulager © Esko

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



Très récemment, [Ford a équipé les ouvriers](#) d'une quinzaine d'usines dans le monde, d'exosquelettes soulageant les opérations d'assemblage réalisées les bras en l'air. La collaboration s'est faite avec la société Ekso qui propose un exosquelette ([EskoVest](#)) qui soulage les ouvriers qui utilisent de manière intense les membres supérieurs comme les bras. En France, RB3D a développé un exosquelette original qui est utilisé par le personnel qui nivelle au râteau l'enrobé sur les routes. L'exosquelette ([Exopush](#)) prend la forme d'un râteau classique dont le manche est équipé d'un moteur qui va accompagner et [découpler le geste de l'opérateur](#) réduisant ainsi l'effort et la fatigue associée. Enfin, l'entreprise californienne [Seismic](#) propose un exosquelette d'un genre un peu différent puisqu'il s'agit d'une combinaison à porter sur soi et qui permet d'alléger le corps des charges extrêmes pouvant être portées dans les entrepôts. Mais l'entreprise vise aussi et surtout le marché médical qui est le marché pour lequel les perspectives de croissance de la robotique sont les plus intéressantes.

Les risques liés à l'utilisation des exosquelettes de travail

Les exosquelettes représentent à la fois une grande opportunité d'améliorer la compétitivité et un effet bénéfique global sur la santé du travail, mais également des risques pour la sécurité des travailleurs qui interagissent avec ces machines.

Les risques mécaniques des exosquelettes

Le dysfonctionnement du système lui-même peut avoir différentes origines: mauvais réglage, défaillances ou pannes ou modifications hasardeuses des moyens de protection, défaillances du système électronique de commande, du logiciel. Cela entraîne une mauvaise coordination des mouvements pouvant sérieusement blesser l'utilisateur ou son entourage. Le risque peut avoir aussi une origine conceptuelle comme la mauvaise réaction à une situation anormale.

Les blessures par force d'impact et force de coincement/d'écrasement sont possibles, causées par les nouvelles capacités physiques décuplées mal maîtrisées par l'opérateur : par exemple, les outils eux-aussi doivent suivre la nouvelle cadence pour résister à la nouvelle puissance de l'opérateur et la casse des outils de travail et les projections et bris qui en résultent, peuvent être dangereuses.

La collision de l'exosquelette avec un autre opérateur hors du champ de vision lors du mouvement, avec son bras ou une pièce en cours de manipulation ou un outil solidaire du bras, peut engendrer de sérieuses blessures accentuées par l'énergie cinétique élevée et/ou par le caractère contondant ou tranchant de l'outil.

Il en est de même si l'utilisateur ne peut pas contrôler précisément son propre mouvement qui vient le heurter brutalement et brusquement, avec le choc douloureux du coup de bras appareillé par exemple.

Les risques physiques des exosquelettes

Le port d'un exosquelette a des effets sur la motricité générant des perturbations sensorielles. Un exosquelette entraîne des changements dans les façons de travailler, du point de vue des gestuelles et de la dynamique de l'utilisateur, qui peuvent être source de troubles proprioceptifs, de perte d'équilibre ou de chute car les repères sont modifiés, les efforts physiques sont différents, avec le report de certaines contraintes sur d'autres parties du corps qu'habituellement (par exemple sur les hanches) : d'où la possibilité d'un déplacement des TMS avec des points de compression différents !

Si l'utilisateur de l'exosquelette est amené à effectuer des mouvements fréquents et prolongés qui dépasse ses capacités de souplesse musculaire, des lésions articulaires peuvent survenir, dues au dépassement des limites physiologiques humaines hors assistance forcée.

Le travailleur étant en contact direct avec l'exosquelette, des risques d'allergies dus aux contacts de l'exosquelette avec la peau, de frottement ou d'abrasion peuvent engendrer des irritations ou plaies cutanées.

Une utilisation très prolongée et/ou trop fréquente d'un exosquelette peut provoquer une désadaptation musculaire lors d'une assistance physique systématique sur de longues périodes.

Plus généralement, dans cette association homme-robot, les conditions de travail peuvent être finalement éprouvantes et inconfortables du fait des hautes performances exigées en cadence et régularité du travail si les interfaces homme-machine et machine-homme manquent d'ergonomie robotique : l'augmentation de la productivité de l'entreprise grâce aux

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



exosquelettes se ferait alors au détriment de la santé des salariés et non pour l'amélioration des conditions de travail !

Les risques psychologiques des exosquelettes

Plus difficiles à appréhender, les risques psychologiques avec l'usage récent des exosquelettes sont encore peu connus par manque de recul et d'études, et il existe des lacunes entre la large et croissante diffusion des applications de la cobotique (robot collaboratif) et la connaissance de leur impact sur la santé psychique et l'augmentation du stress au travail :

- les réponses organisationnelles à toutes les exigences de productivité entraînées par la cobotisation qui s'étendent au personnel amené à travailler avec les exosquelettes, se caractérisent par une grande augmentation des pressions de toute nature sur les délais, la quantité, la qualité de la production.
- L'intensification de la charge mentale due à ces nouvelles technologies est facteur de risque psychologique.
- L'isolement au sein d'équipes clairsemées dans de vastes usines, la réduction d'autonomie, la perte d'identité d'homme-robot sont des conséquences possibles de la cobotisation : interaction constante entre le travailleur et l'exosquelette, peu de communication avec son entourage, perte d'initiative ou marge de manœuvre dans les opérations, les cadences et la précision, dépendance à la machine ressentie comme excessive sans possibilité d'évitement du fait de l'harnachement, survenue d'un sentiment de déshumanisation.
- Anxiété liée à l'appréhension des contacts répétés avec l'exosquelette.
- Ressenti physique de surpuissance de l'homme-robot entraînant des imprudences.
- Diminution de l'expertise avec perte de la technicité et la maîtrise du geste, de l'impact.

Source : [Officiel Prévention, santé et sécurité au travail](#)

la colonne vertébrale d'un patient en étant assistés par un cobot trans-orale (TORS) qui est une technique de chirurgie robotique **mini-invasive** dans laquelle le chirurgien utilise un bras robotisé muni d'outils chirurgicaux comme des bistouris, des pinces, des ciseaux, etc. Le recours à cette technique a permis à l'équipe médicale d'intervenir très tôt, de manière ultra localisée (ce qu'ils n'auraient pas pu faire sans l'aide du robot), en évitant toute complication post-opératoire (l'intervention sur le rachis pouvant provoquer une paralysie du patient). L'utilisation du robot trans-orale (TORS) permet, en outre, de passer de la radiothérapie à l'extraction active de la tumeur en opérant directement sur elle. « Il y a deux éléments qui rendent ce travail si excitant », a déclaré [le Dr Neil Malhotra](#). « L'une est que cela nous permet de se passer de soins palliatifs pour certains types de tumeurs, et dans certains cas, pour la première fois sans médicament. Pour le second point, cette approche est moins traumatisante pour le patient, ce qui signifie une meilleure récupération. » La chirurgie robotique présente donc un intérêt indéniable pour le patient qui peut très rapidement recouvrer une bonne santé sans devoir entamer des traitements curatifs longs et douloureux.

B - La cobotique médicale

La robotique collaborative rencontre également un certain succès dans le milieu médical et plus particulièrement dans les blocs opératoires. En effet, de nombreuses solutions existent aujourd'hui pour assister, accompagner et aider le chirurgien à pratiquer son métier dans les meilleures conditions. On retrouve également de la cobotique dans l'univers de

la thérapie fonctionnelle qui constitue un débouché important pour les sociétés qui commercialisent des robots collaboratifs ou des exosquelettes.

1- Cobot d'assistance au praticien

Des médecins de [l'Hôpital Universitaire de Pennsylvanie](#) ont réussi la prouesse, en août 2017, de retirer une tumeur cancéreuse située dans



Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de





Le cobot Da Vinci XI est le leader dans les salles d'opération du monde entier
©Intuitive Surgical

L'urologie est la discipline phare de la chirurgie robotique, car elle représente près de 70 % des interventions réalisées avec assistance robotique, principalement pour des prostatectomies, mais aussi pour certaines ablations du rein ou la correction de malformations urinaires.

Aux États-Unis, environ 80 % des prostatectomies pour cancer de la prostate sont effectuées avec l'aide d'un robot, soit plus de 73 000 interventions par an.

Le robot intervient dans 4 types d'interventions :

- Prostatectomie radicale pour le cancer de la prostate : on retire alors la prostate chez l'homme, avec plus de précision du geste, plus de chance de ne pas léser les canaux urinaires et érectiles alentours.
- La néphrectomie partielle pour le traitement du cancer : cette opération consiste à retirer la partie d'un rein où une tumeur est logée.
- La cystectomie totale pour le traitement du cancer : lors de cette intervention, on retire la vessie atteinte d'une tumeur.
- La chirurgie fonctionnelle : pyeloplastie, chirurgie du prolapsus génital féminin, ...

Source : [Hôpital Saint Joseph de Marseille](#)

²³ Son coût élevé, de l'ordre de 2 millions d'euros auxquels il faut ajouter environ 150 000 euros de maintenance par an constitue un frein non négligeable à son développement rapide dans les hôpitaux français notamment.

Si cet exemple d'utilisation du TORS montre qu'il est aujourd'hui permis d'être optimiste quant à la chirurgie mini-invasive sur des parties du corps humain très sensibles (comme la colonne vertébrale, le cerveau, etc.), cette technique est utilisée depuis le début des années 2000, depuis notamment la mise en commercialisation d'un robot assistant qui a fait beaucoup parler de lui et qui est aujourd'hui présent dans plusieurs milliers de salles chirurgicales dans le monde entier, dont plus de 80 en France²³. Il s'agit du robot Da Vinci produit par l'entreprise américaine [Intuitive Surgical](#). Ce robot d'assistance chirurgicale, qui en est à sa 4^{ème} version depuis 1998, fait partie d'un système qui intègre différents robots (le [Da Vinci SP](#) le dernier né, le [Da Vinci X](#), le [Da Vinci XI](#) ainsi qu'une Surgeon Console

qui permet au chirurgien d'agir sur les bras des robots et de contrôler visuellement l'intervention grâce à des caméras 3D haute définition présentes au bout des bras des robots). Comme les autres robots trans-oraux qui ont été proposés depuis, le système Da Vinci permet des opérations moins invasives, une récupération du patient plus rapide, des cicatrices plus petites voire invisibles, ainsi qu'une réduction du nombre de complications et d'infections postopératoires, des pertes sanguines moins nombreuses durant l'opération, etc. A titre d'exemple, l'Hôpital Saint Joseph de Marseille utilise les solutions Da Vinci dans trois types d'interventions : [l'urologie](#), la [chirurgie digestive et endocrinienne](#) et la [chirurgie gynécologique](#).

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



La France est un acteur important dans le secteur de la cobotique médicale. La société [Endocontrol](#) développe des solutions d'aide aux chirurgiens dans la pratique de la coelioscopie en proposant des instruments robotisés soulageant les chirurgiens quotidiennement. [Jaimy](#) est un cobot proposant un [crochet monopolaire](#) (permettant des interventions facilitées dans les zones du corps difficiles d'accès) et un porte aiguille (facilitant les sutures intracorporelles). L'entreprise propose un autre produit [Vicky Ep](#), un porte endoscope motorisé éliminant les tremblements naturels d'une caméra guidée par l'humain ainsi que les contacts entre l'endoscope et les organes du patient. Le mot d'ordre d'Endocontrol est de «tirer le meilleur parti des capacités humaines (connaissance de la pathologie, capacité d'adaptation, flexibilité...) et de la robotique (précision, stabilité, reproductibilité, miniaturisation...)» afin de faire bénéficier à la fois les patients et les chirurgiens des dernières avancées technologiques. Autre exemple français, [Axylum Robotics](#) est une entreprise créée en 2011, issue de l'équipe Automatique Vision et Robotique de ICube (Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie) de l'Université de Strasbourg. Elle propose un robot d'assistance à la [Stimulation Magnétique Transcrânienne](#) (TMS) destiné aux professionnels de santé et aux chercheurs. Le cobot [Axylum Robotics TMS-Cobot](#) est destiné à contrôler la position, l'orientation et le contact d'une bobine²⁴ compatible de TMS, sous la supervision d'un système de suivi optique (sans IRM) ou de neuronavigation compatible (avec IRM). L'objectif est d'améliorer la précision et la répétabilité de l'opération (la précision du bras robotisé est de moins de 2 mm) tout en soulageant le praticien des tâches répétitives et fatigantes (comme le remplacement de la tête du patient en face de la bobine par exemple).

La robotique chirurgicale : le point de vue de Dominique Letourneau (extraits)

« La chirurgie robotique est peut-être efficace, ce qui n'est pas encore prouvé, mais elle n'est pas efficiente. Au-delà de l'investissement significatif, le surcoût d'une opération « robotisée » peut rapidement se chiffrer à plusieurs milliers d'euros compte tenu des frais de maintenance spécifique et des consommables dédiés. Ce surcoût est aussi la conséquence de la position de monopole presque absolu exercé par l'américain Intuitive Surgical, le fabricant du Da Vinci. Cette position dominante, qui a exclu la concurrence, lui permet de fixer ses conditions. Dès lors toute stratégie d'investissement au sein d'un hôpital ou d'une clinique en la matière suppose une véritable réflexion en amont de toutes les parties prenantes et un accord total entre les équipes médicales et les directions. »

« Bien entendu, l'émergence de nouveaux fabricants sur des projets moins massifs et avec des modèles économiques plus adaptés, favorisera la dissémination et déverrouillera le marché. Intuitive ne pourra pas refaire l'opération conduite en son temps et ayant débouché sur l'absorption de son principal concurrent, Computer Motion. Des nouveaux acteurs émergent d'origines diverses avec des propositions différenciées. »

« Même si la prudence doit l'emporter notamment par l'absence d'un recul suffisant, il est évident que la robotique est l'avenir de la chirurgie. L'enjeu passe bien sûr par la miniaturisation des robots, d'ores et déjà les perspectives opérationnelles des nano robots ne sont pas éloignées. C'est un phénomène général qui concerne tout le high-tech, auquel la chirurgie n'échappe pas. Néanmoins, il s'y rajoute un élément qui peut la rendre spécifique, c'est l'association de cette évolution technologique à celle concomitante des biothérapies. »

Dominique Letourneau
Président du directoire de la Fondation de l'Avenir

Retrouvez l'article complet sur le site de [Place de la Santé](#)

L'un des exemples les plus emblématiques de la cobotique française nous vient du montpelliérain Medtech (qui a été [racheté par l'américain Zimmer Biomet](#) en 2016) qui propose deux solutions permettant aux chirurgiens d'être assistés dans leur pratique opératoire par un cobot. [Rosa Spine](#) est un robot qui accompagne le chirurgien dans le cadre du traitement dégénératif, traumatologie, déformité et tumeurs de la colonne vertébrale. [Rosa Brain](#) est un dispositif cobotique qui assiste le chirurgien dans le cadre d'interventions chirurgicales, notamment des biopsies, des implantations d'électrodes pour des procédures fonctionnelles (stimulation du cortex

stimulation cérébrale profonde), des procédures de chirurgie à crâne ouvert faisant appel à un dispositif de navigation, des interventions endoscopiques. Les bénéfices des dispositifs Spine et Brain sont nombreux: pour le patient, les interventions sont moins risquées puisque le robot possède une précision et une agilité que ne possèdent pas les chirurgiens humains seuls. Du côté du praticien, la technologie haptique permet une

²⁴ C'est elle qui délivre les impulsions sur la tête du patient. Cette bobine est constituée d'un enroulement cylindrique de fils conducteurs sur un cercle.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



coopération optimale avec le cobot et une simplification des procédures chirurgicales. Enfin, les établissements de santé utilisant ces solutions de cobotique trouvent également des bénéfices non négligeables : un gain de temps tout au long du processus hospitalier, une diminution des coûts et une meilleure visibilité en tant qu'hôpital novateur.

2- Le cobot dans le cadre de la rééducation fonctionnelle

Le domaine de la santé intègre une autre famille de robots collaboratifs dans le cadre de la thérapie fonctionnelle. Les exemples d'initiatives ne manquent pas, qu'elles portent sur des thérapies post-traumatiques (notamment sur les articulations des membres inférieurs et supérieurs) ou sur les interfaces cerveaux-machines (ICM) permettant d'assister les personnes traumatisées à contrôler à nouveau leurs membres par la pensée (à la suite de lésions cérébrales notamment).

L'un des projets fondateurs remonte au début des années 2000, aux Etats-Unis, plus particulièrement au M.I.T. autour du professeur Neville Hogan et du [Département d'Ingénierie Mécanique](#) et du [Département du Cerveau et des Sciences Cognitives](#). Après plus de 11 années de recherche les équipes du Professeur Hogan ont mis au point un cobot permettant aux victimes d'AVC d'être accompagnées dans leurs thérapies. Le bras robotisé est fixé sur les bras et poignets des patients. Ces derniers ont pour objectifs de réaliser des exercices de mobilité. Si le cobot, appelé [MIT-Manus](#) ne détecte aucun mouvement, il va enclencher de lui-même le mouvement. En revanche, si le patient est capable d'entamer un geste, le cobot accompagne ce dernier en ajustant les niveaux d'assistance pour faciliter le mouvement. Le robot est [toujours utilisé aujourd'hui](#) mais

il a été généralisé à d'autres parties du corps (comme les membres inférieurs) et est capable de recueillir des données permettant au médecin de suivre l'évolution de la rééducation.

Depuis le projet Manus, d'autres sociétés se sont positionnées sur le marché de la cobotique thérapeutique fonctionnelle. La société suisse [Hocoma AG](#) propose une large gamme de cobots thérapeutiques depuis les premières phases de la rééducation post-traumatique jusqu'au traitement kinésithérapeutique. Le cobot [Erigo](#) par exemple est utilisé dans le cadre d'un programme de traitement précoce des patients souffrant de troubles neurologiques présentant une déficience sensorimotrice. L'objectif de ce traitement est de stabiliser le système cardiovasculaire et d'améliorer progressivement la capacité du patient à rester en position verticale, ainsi qu'à habituer lentement ses jambes à la tolérance au poids du patient. Un autre objectif du traitement après une blessure est d'induire un comportement physiologique après l'incident afin d'influencer positivement la

neuroplasticité et la récupération fonctionnelle et de prévenir les dommages secondaires tels que les contractures et l'atrophie musculaire. Le programme Erigo combine les deux traitements par une verticalisation progressive (0 à 90 °) tout en appliquant des mouvements continus en forme de pas, en soumettant les membres inférieurs des patients à un large éventail de mouvements et de charges. Le cobot permet de limiter les risques inhérents à l'utilisation des tables à bascule conventionnelles comme l'absence de mouvement des jambes empêchant une amélioration musculosquelettique et cardiovasculaire, un risque de lésion cérébrale secondaire due à une instabilité circulatoire et une durée d'entraînement limitée en raison du manque de stabilité cardiovasculaire du patient. Du côté du praticien, le cobot permet de réduire la fatigue physique liée à la manipulation du patient et de la table. Cette solution présente également l'avantage de n'impliquer qu'un seul praticien pour manipuler le cobot et réaliser l'ensemble des exercices et tests de manière sécurisée et efficace.



Le système Erigo Pro propose une assistance à la rééducation fonctionnelle pour des troubles sensorimoteurs © Hocoma AG

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



La Nouvelle-Aquitaine et l'Europe



avec le soutien de



La société Hocoma propose de nombreuses autres solutions thérapeutiques comme des cobots permettant de travailler la rééducation des bras et des mains (mouvement, manipulation et préhension) avec la gamme [Armeo](#) ou encore un ensemble de solutions cobotiques spécialement destinées à l'univers de la marche et de la rééducation à l'équilibre avec les solutions [Lokomat](#) et [Andago](#).

Autre domaine technologique qui relève de la cobotique thérapeutique, les exosquelettes sont définis comme «un dispositif d'amplification électrique, pneumatique ou hydraulique du mouvement de chaque segment du corps mobilisé dans le déplacement ou l'action pour lesquels il a été conçu»²⁵. Si certains préfèrent séparer cobot et exosquelette sur la base de la relation entre l'humain et la machine (l'humain est extérieur au cobot alors qu'il va porter sur lui l'exosquelette), il nous paraît pertinent, compte tenu des caractéristiques intrinsèques des exosquelettes (pas d'autonomie, dépendant de l'intention de l'humain, robot assistant) de les traiter ici à part entière, d'autant plus que les solutions ne manquent pas et que les exosquelettes (médicaux ou pas) semblent être l'avenir de la cobotique.

L'une des sociétés phare est la société japonaise Cyberdyne qui commercialise la solution [HAL Therapy](#). HAL est un exosquelette destiné aux patients qui doivent réapprendre à marcher par suite d'accidents, des traumatismes ou d'AVC. Le patient enfle l'exosquelette depuis le bassin jusqu'au pied et ce dernier va l'accompagner dans les étapes de l'apprentissage. L'exosquelette est équipé d'un système électronique qui va capter le signal électrique émis par le cerveau à l'attention des muscles (appelé le bio-electric signal) et être capable de lire les intentions de la personne. Une fois cette intention détectée, l'exosquelette va, grâce à des moteurs, accompagner le geste

en réduisant l'effort du patient. Le médecin va également pouvoir programmer le cobot pour que celui-ci aide plus ou moins le patient en fonction des besoins en matière de rééducation. [L'un des points forts du système HAL](#) c'est qu'il va capitaliser et apprendre les manières de mouvoir les membres des patients pour s'adapter à la progression et au rythme de l'apprentissage. De plus en plus de solutions sont commercialisées à travers le monde. [Rewalk Robotics](#), aux Etats-Unis commercialise des exosquelettes dans un but thérapeutique (le [ReWalk Rehabilitation System](#)) mais aussi une version « grand public » qui peut être utilisée au quotidien chez soi ou à l'extérieur (le [ReWalk Personal 6.0 System](#)). Ekso, dont nous avons déjà parlé, commercialise également des [exosquelettes à visée thérapeutique](#) destinés aux patients victimes d'AVC ou ayant subi une opération lourde de la colonne vertébrale ou des lésions profondes de la moelle épinière.

De la cobotique aux prothèses bioniques

L'évolution de la robotique vers la cobotique puis vers les exosquelettes débouchera inévitablement vers la question de la greffe de membres intelligents et robotiques²⁶ permettant aux personnes amputées de retrouver une forme d'intégrité physique et une autonomie dont la maladie ou les accidents les en ont privés. Hugh Herr, ingénieur américain, [professeur au MIT](#) et lui-même amputé des deux jambes a mis au point la prothèse [BiOM T2System](#) qui est une prothèse robotisée et biomimétique qui simule une cheville biologique et les muscles du mollet qui s'y connectent, permettant d'obtenir une démarche naturelle. Le système a connu plus de 20 versions successives, financées à hauteur de 50 millions de dollars par des subventions et du capital-risque.

Elle utilise une «propulsion bionique» alimentée par batterie, couplée à deux microprocesseurs et six capteurs environnementaux qui ajustent la raideur,

la position, la puissance déployée et le degré d'amortissement de la cheville plusieurs milliers de fois par seconde en deux points clés. Lors de l'impact du talon, le système contrôle la raideur de la cheville pour absorber le choc et porter le tibia vers l'avant. Ensuite, des algorithmes génèrent de l'énergie en fonction du terrain pour propulser le porteur en avant. La prothèse restaure la démarche naturelle, l'équilibre et la vitesse de marche, mais en absorbant les chocs et redistribuant l'énergie elle permet aussi de réduire les contraintes subies par les articulations des jambes et par le dos. Un détail critique car cela réduit fortement la probabilité d'apparition d'arthrose dans les membres atteint par rapport aux prothèses mécaniques ou hydrauliques. L'objectif de Hugh Herr est de vouloir rendre ce genre de technologie accessible au commun des mortels. Pour l'heure, d'autres questions doivent être réglées : le passage d'une production de laboratoire à une production de masse implique une industrialisation coûteuse. Par ailleurs, le laboratoire continue à travailler sur les algorithmes permettant d'individualiser au maximum les prothèses afin de correspondre au mieux aux caractéristiques du patient (*Personal Bionic Tuning*).

²⁵ In Claverie, Le Blanc et Fouillat, p. 210.

²⁶ Sans pour autant entrer dans le débat transhumaniste. On pourra, pour cela, se reporter à l'excellent livre co-écrit par Laurent Alexandre et Jean-Michel Besnier, *Les robots font-ils l'amour? Le transhumanisme en 12 questions*, Ed. Dunod.

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



3- Et demain, les Interfaces Cerveau-Machine ?

La recherche en robotique s'intéresse de plus en plus au concept d'Interfaces cerveau-machine (ou Brain-Computer Interfaces en anglais) c'est-à-dire à la capacité des ordinateurs à communiquer directement avec les cerveaux humains en vue de réaliser des actions directement par la pensée. Plus précisément, ces ICM (pour Interface Cerveau-Machine) sont « des dispositifs qui mesurent l'activité cérébrale et la convertissent en messages ou commandes ». Dans le cadre de la recherche médicale, ces dispositifs pourraient permettre à des personnes souffrants de handicaps physiques de retrouver une certaine forme d'autonomie. Par exemple, des personnes tétraplégiques pourraient contrôler un exosquelette par la seule pensée ou des personnes amputées pourraient activer un membre robotisé greffé par l'action du cerveau.

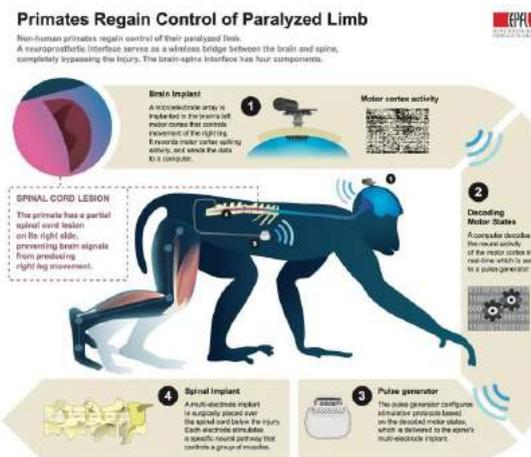
Cette révolution n'est aujourd'hui encore qu'au stade de recherche car elle se heurte encore à de nombreuses limites. Tout d'abord, afin de capter la pensée des patients il est primordial d'installer des capteurs sur ce dernier. Ceux-ci sont soit invasifs et placés directement en contact avec le cortex cérébral et captent directement les impulsions électriques, semi-invasifs et placés sous la membrane qui entoure le cerveau juste sous la boîte crânienne ou enfin non invasifs sous la forme d'un casque placé sur le crâne du patient. Or, dans les deux premiers cas, les capteurs doivent être biocompatibles afin d'éviter rejets et complications. Si la science avance, les capteurs nanotechnologiques biocompatibles ne sont pas généralisés et demanderont encore des années de recherche-développement pour être parfaitement opérationnels et sans danger pour l'homme.



L'exosquelette Rewalk permet aux paraplégiques de se déplacer sans fauteuil roulant © Rewalk Robotics

En 2015, une équipe supervisée par Erwan Bézard de l'Institut des Maladies Neurodégénératives de l'Université de Bordeaux a implanté une neuroprothèse dans un macaque paralysé d'un membre arrière. Cette prothèse, en court-circuitant la lésion, a restauré la communication entre le

cerveau et la région de la moelle épinière produisant les mouvements des membres inférieurs, grâce à des électrodes stimulant le réseau nerveux du singe. Cette prouesse, si elle est répliquable chez l'humain, pourrait permettre aux praticiens travaillant sur la rééducation fonctionnelle de sauter l'étape des exosquelettes.



27 *Maureen Clerc, Laurent Bougrain, Fabien Lotte. Les interfaces cerveau-ordinateur 2 : Technologie et applications. Maureen Clerc; Laurent Bougrain; Fabien Lotte. France. ISTE, 2016, 978-1-78405-148-8*

28 *Cette neuroprothèse a été conçue à l'EPFL (Lausanne, Suisse) et techniquement développée par un groupe international composé de Medtronic (USA), l'Université Brown (USA) et le Fraunhofer ICT-IMM (Mayence, Allemagne). Elle a ensuite été testée chez le primate en collaboration avec l'Université de Bordeaux et le Centre Hospitalier Universitaire de Lausanne (Suisse).*

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de



CONCLUSION

Comme nous l'avons vu dans ce dossier, les systèmes cobotiques gagnent jour après jour un peu plus les usines, les entrepôts, les blocs opératoires ou les salles de rééducation. On les retrouve dans une multitude de secteurs d'activités du fait de la facilité et de la rapidité avec laquelle ils peuvent être implémentés. Leur versatilité ainsi que leur souplesse permettent à l'intégrateur d'adapter et de réadapter les systèmes en fonction des configurations et des besoins propres à chaque opérateur ou à chaque ligne de production. Si les robots autonomes en site propre ont encore de beaux jours devant eux – et les statistiques le montrent – il est de plus en plus d'entreprises qui font le choix de la cobotique ; choix qui peut être technique, organisationnel ou même stratégique. Toutefois, intégrer un système cobotique en vue de mettre en place une coopération entre la machine et l'homme implique le respect de certaines normes de sécurité contraignantes.

Aujourd'hui, les caractéristiques intrinsèques des cobots ne permettent pas d'atteindre un niveau suffisant de sécurité pour être généralisé à tous les corps de métiers et à tous les secteurs d'activités. La recherche en sciences cognitives continue de progresser et de proposer des environnements robotisés de plus en plus sécurisés. Un des axes de recherche fondamentaux concerne la communication entre l'homme et la machine. Dans un système où les deux sont amenés à collaborer, la communication joue un rôle central non seulement pour assurer une efficacité dans l'exécution de la tâche mais aussi et surtout en matière de sécurité. C'est ce pan de la recherche scientifique qui est aujourd'hui en pleine explosion. Les chercheurs en sciences cognitives et en robotique travaillent à une meilleure coordination en temps réel homme-machine. Pour cela, la machine doit être en mesure de comprendre les intentions de l'opérateur. Cette compréhension est de deux natures : la compréhension explicite et la compréhension implicite. La première est basée sur la parole, les gestes ou encore les signaux haptiques ou tactiles. Dans les trois cas, les cobots ne sont pas encore suffisamment mûrs – et développés techniquement – pour être capables de détecter parfaitement ces intentions explicites. La compréhension implicite des intentions est encore plus compliquée à intégrer au système cobotique dans la mesure où ce dernier doit être en mesure de capter des intentions non volontairement émises par l'humain et, pour cela, qu'il possède « un modèle interne du partenaire humain » avec lequel il interagit. Si la reconnaissance faciale est techniquement au point (l'exemple chinois nous le confirme jour après jour), celle des émotions – et donc des intentions implicites – restent compliquée à mettre en œuvre. Selon Anna Tcherkassof, docteur en psychologie, « l'homme interprète les émotions à l'instant même où il les vit, et il les décode de manière subjective en fonction de son passé, de son expérience ou de son ressenti. La machine, elle, reste objective. Elle n'interprète pas. Elle décode en fonction des informations dont elle dispose. Et sur le registre émotionnel, elle ne dispose pas des bons sets pour effectuer une reconnaissance fiable. » De même, un autre pan de la recherche future en robotique repose sur la capacité de la machine à exprimer – de manière explicite et implicite – ses intentions à l'opérateur. De la résolution de cette double équation dépendra la rapidité du développement et de l'appropriation par les industries et les entreprises des systèmes cobotiques.



Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com

