

LOISIRS  
& CULTURE

Énergie,  
**MOBILITÉ,**  
NUMÉRIQUE

Environnement, Habitat,  
**SANTÉ ET BIEN-ÊTRE, SÉCURITÉ**

Alimentation

► **Correspond à  
une technologie clé 2015**

### MOTS CLÉS

Cobot, humain augmenté, prothèses,  
orthèses, réalité augmentée, préhension,  
manipulation, robotique industrielle,  
robotique collaborative, capacités  
sensorimotrices.



## Définition et périmètre

Le terme cobotique fait référence aux dispositifs dits de robotique collaborative ou encore de robotique interactive, dans l'industrie ou dans le monde professionnel. Le principe du « cobot » consiste à faire interagir le système robotique avec les humains pour obtenir un comportement synergique afin d'assister l'homme dans une tâche ou sur une mission par des apports de :

- Puissance : soulever des charges, compenser l'effort, etc., tout en laissant à l'humain l'exécution du geste ;
- Précision : apporter à l'opérateur de la précision et de la sûreté dans le geste ;
- Perception : augmenter la perception de l'humain par des apports tactiles, visuels, auditifs, etc. (cf. technologie clé « Technologies immersives ») ;
- Cognition : guider la tâche de l'humain dans une tâche complexe...

Au-delà de cette définition, la notion d'humain augmenté fait référence à l'extension des capacités de l'humain par des technologies intégrées à son anatomie sous forme de prothèses ou d'orthèses pour pallier un handicap (comme par exemple les articulations ou membres robotisés pour personnes amputées<sup>1</sup>) ou encore des interfaces de perception intégrant des moyens de détection ou de pilotage neuronal.

### ■ Santé et bien-être

Les dispositifs robotiques comme le Locomat ou le MIT-Manus font aujourd'hui partie des outils utilisés pour la rééducation fonctionnelle. Des orthèses, ou encore des exosquelettes robotisés, sont envisagés pour assister ou suppléer les fonctions motrices. Les prothèses médicales, qu'il s'agisse d'organes artificiels tels que le cœur artificiel Carmat ou les rétines artificielles, ou de lunettes intégrant des caméras, permettent déjà de recouvrer des fonctions biologiques élémentaires défaillantes. La robotique offre des voies pour reconstruire et commander sous une forme artificielle des membres entiers (bras, jambe, main). Hugh Herr, ingénieur américain, professeur au MIT et lui-même amputé des deux jambes a mis au point la prothèse BiOM T2 System, alliant bionique et biomimétique. La cheville bionique est adaptée sur-mesure à chaque patient à l'aide

1 – Cf. cheville robotisée de BiOM.

d'un logiciel qui programme les paramètres déployés à toutes les étapes de la marche lors des premiers essais – le *Personal Bionic Tuning*.

Les robots de chirurgie minimalement invasive comme ceux d'Endocontrol constituent des évolutions sous des formes cobotiques de robots télé-opérés comme le Da Vinci de la société américaine Intuitive Surgical.

### ■ Mobilité

Les techniques et les technologies de la robotique interactive peuvent contribuer à l'autonomie des personnes handicapées notamment pour constituer des aides à la mobilité à travers des commandes avancées de déambulateurs ou des fauteuils roulants énergisés. Les orthèses énergisées sont des moyens envisagés pour l'augmentation des capacités humaines notamment pour le transport de charges. La fonction de déplacement de biens ou d'équipements aux côtés des humains dans des environnements contraints fait l'objet de nombreux développements. La maîtrise de ces interactions physiques ou non physiques ouvrira des perspectives importantes à l'assistance à la manipulation mobile, la téléprésence et la télé médecine mais aussi plus largement à la robotique d'assistance aux personnes.

### ■ Industrie

Le secteur de l'industrie restera incontestablement le plus fort débouché de la cobotique à moyen terme. Les ambitions d'*Industrie du futur* constituent un effet de levier considérable pour le développement des robots collaboratifs, et ouvrent la voie à de nombreuses nouvelles applications. Les cobots permettent avant tout d'apporter une aide dans des activités professionnelles pour des besoins relatifs à la dextérité (précision, amplitude), la puissance, la perception humaine (complémentaire à la perception visuelle, tactile, sonore, etc.). De nombreux produits voient le jour en ce moment, venus de fournisseurs étrangers de robots industriels comme Kuka, Yaskawa ou ABB mais aussi de nouveaux acteurs comme Rethink Technologies ou Kawada.

En France, le fabricant auxerrois de robots collaboratifs et d'exosquelettes RB3D a déjà installé ses cobots dans plusieurs entreprises industrielles françaises. D'une manière générale, la France industrielle est plus que jamais impliquée sur l'Usine du Futur comme en témoignent les industriels aéronautiques Figeac, qui investit plus de 35 M€ en 2015 pour construire une usine entièrement robotisée, ou encore Airbus, qui s'affiche comme

véritable pilote industriel sur plusieurs projets robotiques : Omnirob (projet Valeri) qui vise à intégrer davantage de robots sur les lignes d'assemblages aéronautiques, et le robot Asimov qui contribue à déployer davantage de machines collaboratives et intelligentes dans les usines Airbus de Nantes, Saint-Nazaire et Hambourg d'ici 2016, notamment pour l'assemblage de l'A380 et de l'A350 et la réalisation de tâches pénibles : peinture, soudage, portage de pièces lourdes.

## Pourquoi cette technologie est-elle clé ?

■ Elle est un facteur de compétitivité pour l'industrie manufacturière

Les robots collaboratifs sont incontestablement un levier de compétitivité pour les industriels et les usines de production. Fortement liés à la robotique autonome, leur capacité d'adaptation et d'interaction avec l'homme et leur environnement leur offre beaucoup plus de flexibilité et leur permettra de réaliser des tâches à faible valeur ajoutée en assistance à un opérateur humain sans nuire à sa sécurité.

Bien que faiblement automatisée (par rapport à l'industrie automobile), l'industrie aéronautique présente un grand potentiel pour les applications des robots

collaboratifs, en raison de séries plus restreintes et d'un usage moins ancré de la robotisation « traditionnelle ». Il en est de même pour l'industrie agro-alimentaire ou la logistique où les besoins en termes de manipulation et de mobilité sont importants avec une très grande diversité de tâches et des environnements « humains ».

Par ailleurs, le cobot est vu favorablement comme un outil permettant de diminuer la pénibilité du travail et les troubles musculosquelettiques. Reportant sur la machine la partie pénible de la tâche (le poids, les vibrations, etc.) et laissant un rôle de contrôle à l'opérateur, le cobot est par ailleurs mieux perçu en entreprise que le robot autonome car moins « menaçant » pour l'emploi.

La robotique collaborative est un marché en devenir qui présente un potentiel très important, comme nous venons de l'évoquer dans bon nombre de secteurs industriels et artisanaux mais aussi dans le domaine médical et de l'assistance à la personne. La France peut prendre une part importante dans ce marché compte tenu de son potentiel d'innovation tant sur les aspects matériels que logiciels de cette nouvelle forme de robotique et s'appuyer sur son réseau d'intégrateurs pour multiplier les expérimentations de déploiement.

## Liens avec d'autres technologies clés

### Les technologies clés qui influencent la technologie Cobotique et humain augmenté sont :

1	Matériaux avancés et actifs
2	Capteurs
3	Valorisation et intelligence des données massives
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
6	Infrastructures de 5 <sup>ème</sup> génération
7	Systèmes embarqués et distribués, sécurisés et sûrs
9	Fabrication additive
11	Intelligence artificielle
12	Robotique autonome
13	Communications sécurisées

### Les technologies influencées par la technologie Cobotique et humain augmenté sont :

1	Matériaux avancés et actifs
2	Capteurs
3	Valorisation et intelligence des données massives
4	Modélisation, simulation et ingénierie numérique
5	Internet des objets
9	Fabrication additive
11	Intelligence artificielle
12	Robotique autonome
13	Communications sécurisées
14	Technologies immersives
19	Analyse comportementale

**Les technologies clés qui influencent la technologie Cobotique et humain augmenté sont :**

14	Technologies immersives
19	Analyse comportementale
20	Nouvelles intégrations matériel-logiciel
32	Technologies d'imagerie pour la santé
34	Authentification forte
46	Nanoélectronique
47	Technologies de conception de contenus et d'expériences

**Les technologies influencées par la technologie Cobotique et humain augmenté sont :**

20	Nouvelles intégrations matériel-logiciel
33	Exploitation numérique des données de santé
46	Nanoélectronique

## Les marchés

Les premières applications des cobots ont été envisagées au niveau industriel comme robots de production. Toutefois, au-delà des industriels, les professionnels misent également sur la force du collectif humain-robot, voire robot-robot.

■ Robots industriels : un marché de plus en plus tiré par l'Asie

Les ventes mondiales de robots de production ont progressé de 12 % en 2013 et atteignent leur plus haut niveau jamais enregistré pour une année à 178 132 unités<sup>2</sup>. Les ventes se sont élevées à 225 000 unités en 2014, soit +27 % par rapport à 2013 (contre +15 % initialement prévu). La Chine et la Corée du Sud sont les plus gros acquéreurs de robots industriels en 2014 avec respectivement 56 000 robots (24,8 %) et 40 000 robots (17 %). Le taux de croissance annuel moyen estimé entre 2015 et 2017 est de +12 % au niveau mondial.

Au sein de ce marché, la part naissante de la cobotique est difficile à évaluer à 5 ans, mais il est raisonnable de penser qu'elle sera significative, tirée par la nécessité de lutter contre la pénibilité et les troubles musculo-squelettiques dans les entreprises industrielles et de maintenance (en partage avec la robotique autonome) : BTP, logistique, industrie mécanique et industries d'assemblage, artisanat à plus long terme. Le moteur essentiel sera le gain de compétitivité des entreprises.

<sup>2</sup> – Chiffres de l'International Robotics Federation, *World Robotics 2014*

■ Robots collaboratifs médicaux : vers plus de précision et d'assistance

Les ventes de robots médicaux ont quant à elles chuté de 2 % et atteignent 1 300 unités dont 1 000 robots d'assistance au chirurgien. Les ventes ont cependant augmenté en valeur et atteignent 1,45 Md\$ en 2013. Les 300 robots restants sont essentiellement des petites tables médicalisées mobiles et autonomes et quelques exosquelettes.

■ Prothèses - Dispositifs Médicaux d'Implantation (DMI)

- Prothèses orthopédiques
- Prothèses cardio-vasculaires
- Prothèses neurologiques
- Autres segments

■ Orthèses

## Les défis technologiques à relever

Fortement lié à la fiche technologies clés « robotique autonome », les défis technologiques à relever sont essentiellement axés sur la capacité des robots à interagir de manière sûre avec l'homme et réaliser des fonctions variées souvent à faible cadence dans des environnements relativement dynamiques. Il leur est nécessaire pour cela d'intégrer des composants leur permettant de comprendre les activités humaines et les anticiper. Le robot doit aussi avoir un comportement déterministe et prédictible par l'homme.

Dans ces objectifs, la perception de l'environnement y compris humain, les lois de commande assurant des

mouvements sûrs ainsi que l'adaptation du comportement et les capacités d'apprentissage sont des dimensions essentielles.

#### ■ La perception

Un des enjeux forts autour de la perception est l'utilisation de capteurs bas coûts pour rendre possible le déploiement des robots dans un modèle économique contraint (entreprise, système de santé...). Ces capteurs doivent au-delà fournir une information robuste (par fusion de données notamment) dès lors qu'elle engage des questions de sûreté de fonctionnement.

Les informations nécessaires à la mise en œuvre de robots collaboratifs sont relatives à la localisation des personnes situées dans l'environnement du robot et à leur mouvement. La perception des efforts d'interaction physiques par des capteurs répartis dans la structure ou localisés aux interfaces de manipulation doit permettre de commander les mouvements du robot en réponse à une interaction physique.

#### ■ L'intelligence

On attend de ces robots qu'ils puissent être programmés de manière plus intuitive et plus interactive. À ce titre l'apprentissage par démonstration et les autres techniques d'apprentissage constituent des voies de développement de cette adaptation continue du comportement du cobot ou de la prothèse à son contexte d'emploi, mettant en œuvre des technologies relevant de l'intelligence artificielle (autre technologie clé).

#### ■ La planification et la commande

La commande de tels robots doit permettre de réaliser des trajectoires spécifiées directement au niveau de l'objectif de la tâche. La construction des enchaînements des mouvements élémentaires doit bénéficier de moyens permettant la prise en compte des incertitudes et des aléas. En outre, les lois de commande doivent pouvoir prendre en compte des contraintes ainsi que des objectifs de manière dynamique et surtout robuste. Pouvoir produire des mouvements s'adaptant à des environnements dynamiques et sûrs pour les personnes est une propriété essentielle au déploiement de ces systèmes.

#### ■ Préhension

Le caractère « orienté industrie » des cobots implique la capacité à manipuler des pièces ou objets de différentes tailles, rigides et souples et plus ou moins

fragiles. La fonction de préhension est dans ce contexte absolument critique. Disposer de préhenseurs dextres pouvant saisir une grande variété d'objets placés dans des configurations variables constitue un enjeu majeur. Aujourd'hui les systèmes de préhension offrent des capacités d'adaptation trop limitées. Les préhenseurs articulés disponibles sur le marché sont beaucoup trop complexes et fragiles. Il est essentiel de pouvoir doter les systèmes de robotique collaborative de préhenseurs articulés et instrumentés de capteurs d'effort et de vision qui soient à la fois légers et robustes à l'usage.

#### ■ Interface cerveau-machine : vers le pilotage par la pensée

Du fauteuil roulant robotisé aux prothèses et orthèses de membres, le secteur de la santé affiche de nombreux progrès technologiques. Le contrôle de ces systèmes par des interfaces neuronales afférentes est aujourd'hui envisagé via des technologies de capteurs invasifs et non invasifs en exploitant les signaux corticaux. Après classification, les signaux cérébraux sont traduits en consignes pour produire des actions ou moduler des paramètres de commande. Il ne s'agit à ce jour que d'un domaine de recherche dans lequel de nombreux laboratoires de l'INSERM, de l'INRIA et du CNRS sont particulièrement actifs. Les perspectives offertes par ces technologies dépassent le domaine du handicap et peuvent concerner d'autres domaines dans lesquels elles constitueront des systèmes de pilotage alternatifs ou complémentaires à ceux engageant des modalités physiques.



## Les défis commerciaux et d'usages à relever

*Les défis commerciaux sont fortement liés à ceux de la technologie clé robotique autonome, mais se complètent de certains verrous propres aux secteurs d'application.*

### ■ Industrie et PME

Permettre aux industriels de s'équiper d'un robot collaboratif, capable d'effectuer de nombreuses tâches et de s'adapter plus rapidement aux aléas et aux changements de missions s'avèrerait être un levier considérable pour la compétitivité des entreprises. De nombreux soutiens à la robotisation ont été mis en place en France depuis 2012 (Robot StartPME, etc.) à destination des entreprises, principalement des PME.

Néanmoins, l'adoption de cobots dans les processus de l'entreprise repose sur une remise en question d'une partie de ces processus d'une part, de la place de l'opérateur d'autre part. Les impacts sont donc d'ordre organisationnel et social, que seuls les grands groupes industriels et ETI savent aujourd'hui appréhender.

### ■ Secteur médical

Si, comme pour les robots autonomes, l'arrivée de solutions intelligentes pousse à changer les habitudes et à revoir les modèles économiques, la cobotique pour la santé s'inscrit dans un cadre de financement et de qualification complexe ; les acteurs intervenant alors dans les modèles économiques sont nombreux : assurance maladie, mutuelles, établissements de santé, collectivités, familles...

Le principal défi commercial pour tous les dispositifs liés à la santé sera donc dans le modèle économique et dans l'homologation des systèmes qui seront considérés comme relevant du dispositif médical. Dans ce dernier cas, l'absence d'homologation globale au niveau européen constitue un facteur de risque pour les entreprises françaises face à leurs concurrentes des États Unis disposant d'un marché intérieur suffisant pour leur développement initial.

## Les enjeux réglementaires

Au-delà des homologations pour les dispositifs médicaux citées ci-dessus, le premier enjeu adressé par la normalisation (plus que par la réglementation), concerne la sécurité des personnes évoluant dans l'environnement du cobot ou en collaboration avec lui. Le groupe de travail ISO/TC 184/SC 2 travaille sur ces questions autour des normes publiées ou en cours d'élaboration : ISO 10-218 pour les robots industriels, ISO 13482 pour les robots d'assistance personnelle, IEC/NP 80601 pour les robots médicaux.... Les cobots sont par ailleurs soumis à la directive Machine 2006/42/CE, notamment pour les questions de sécurité et de responsabilité du fabricant pour mener une évaluation du risque.

Autre enjeu, réglementaire celui-ci, les risques faisant peser sur la vie privée les interfaces de vision augmentée (lunettes) utilisées sur l'espace public : des recours ont déjà été déposés à l'encontre des Google Glass. Ces recours n'ont cependant pas d'incidence sur les systèmes pour milieu professionnel (cf. fiche Technologies Immersives).

## Analyse AFOM

### ATOUTS

Une excellence de la recherche autour des compétences de la robotique, notamment sur l'intelligence artificielle, la perception et le traitement de l'information.

Le système français d'amorçage facilitant la création de startups (mais pas toujours leur développement)

### FAIBLESSES

La robotisation des industries françaises est très en retard, et elle souffre toujours d'un déficit chronique d'investissements.

### OPPORTUNITÉS

Le développement de fonds d'investissement spécialisés dans la robotique et le fort intérêt des fonds corporate.

Les évolutions attendues des systèmes de production (industrie 4.0)

### MENACES

Les États-Unis, l'Allemagne et l'Asie sont très en avance et continuent leur forte croissance de même que certains pays comme l'Italie ou la Suisse.

Le mouvement amorcé de consolidation des acteurs de robotique qui poussent les grands acteurs internationaux (GAFA) à racheter les pépites.

## Facteurs clés de succès et recommandations

La cobotique et l'humain augmenté, s'ils partagent des verrous et solutions technologiques, présentent des caractéristiques de marchés différentes :

- Dans les deux cas, le seul marché français est insuffisant pour porter le développement d'une offre commerciale. Pour une startup, il est donc essentiel de s'intéresser très rapidement à l'export en fonction de son ambition.
- La cobotique suppose également, en général, des changements dans les habitudes de travail qu'il convient de prendre en compte dans les démarches commerciales et de déploiement (conduite du changement).
- Les systèmes d'assistance font face à des enjeux importants de modèle économique, comme décrit précédemment. La prise en compte de ce modèle est en l'occurrence d'une importance égale à la

levée des verrous techniques pour le développement de l'activité des entreprises.

La cobotique est un domaine dans lequel la France doit être présente et a la capacité d'offrir des produits qui combinent matériels et logiciels. La cobotique constitue aussi une opportunité pour la France de se positionner sur certains nouveaux créneaux de la robotique industrielle, en s'appuyant sur le haut niveau académique de sa recherche, sur un tissu dense de startups et l'implication de grands prescripteurs dans les actions liées à l'Industrie 4.0. Un but du programme Industrie du futur de la Nouvelle France Industrielle est de constituer une offre française de robotique interactive et de veiller à l'appropriation de ces nouvelles technologies par les intégrateurs.

Le premier concours français sur la collaboration homme/robot et la cobotique en milieu

professionnel a eu lieu en février 2015. Ce concours a permis de récompenser 3 consortiums autour de projets de micro assemblage compact, d'assistants et instruments cobotiques de chirurgie, et d'assistance et de désherbage mécanique pour les agriculteurs. Ce concours a suscité beaucoup d'intérêt et a permis

de stimuler techniquement les différents acteurs de la robotique collaborative pour le développement de nouvelles applications. Renouveler et développer ce type de concours constitueraient un moyen efficace pour rapprocher les fabricants et les utilisateurs, stimuler l'innovation et attirer les financeurs.

## Acteurs clés

<b>Entreprises</b>	Aldebaran Robotics, Akeo+, Balyo, Naio Technologies, Neoditech, RB3D, Wandercraft...
<b>IRT, ITE, IHU</b>	IRT Saint-Exupéry, SystemX...
<b>Instituts Carnot</b>	CEA LIST, CEA LETI, INRIA, IRSTEA, I@L, LAAS CNRS, ONERA, TSN...
<b>Autres centres de recherches</b>	CRISTAL, CAOR/Mines ParisTech, ENSC, IRCCyN, ISIR, UTC...
<b>Pôles de compétitivité</b>	Aerospace Valley, CapDigital, EMC2, IDforCAR, I-Trans, LUTB, Mov'eo, Novalog, Picom, Systematic, Véhicule du futur, Viaméca...
<b>Autres (clusters, associations, fédération professionnelles, réseaux d'entreprises)</b>	CITC EuraRFID, FPDC, GdR Robotique, SYMOP, SYROBO...

## Position des acteurs français

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	
Dans la moyenne	●
En retard	

Position des entreprises françaises dans la compétition mondiale	
En position de leadership	●
Dans la moyenne	
En retard	