

2030 RAP

Utilisation des robots d'assistance physique à l'horizon 2030 en France





**Utilisation des robots d'assistance physique
à l'horizon 2030 en France**

Avis au lecteur

La prospective n'est pas une prédiction de l'avenir
Elle n'est pas non plus une prévision qui serait
le prolongement des tendances passées.

La prospective prend en compte les tendances
et les discontinuités pour décrire des futurs possibles
et assurer une aide à la prise de décision

Les scénarios proposés dans ce recueil sont
le fruit d'un travail collectif. Ils ne préjugent en rien
des opinions et souhaits des participant(e)s
aux différents groupes de travail qui ont collaboré
à la rédaction des divers documents.

Sommaire

| | |
|--|-----|
| ■ Mot du directeur général de l'INRS | 5 |
| ■ Méthodologie de la démarche..... | 7 |
| ■ Les RAP : éléments de contexte | 13 |
| ■ Fiches variables | 29 |
| > CONTEXTE | |
| ■ Évolution démographique générale : vieillissement (tendance lourde)..... | 31 |
| ■ Démographie de la main d'œuvre | 37 |
| ■ Formation professionnelle | 43 |
| ■ Politiques de l'emploi | 53 |
| ■ La nature des activités productives en France..... | 59 |
| ■ La définition d'un Robot d'Assistance Physique (RAP) est-elle connotée par une perception sociale ? | 67 |
| ■ Acceptabilité des robots (société, entreprises, prescripteurs) | 81 |
| > OFFRE | |
| ■ Évolutions technologiques | 89 |
| ■ Énergie et matières premières | 99 |
| ■ Disponibilité et qualité d'offre de services client associés (service après-vente, formation, installation, maintenance)..... | 107 |
| ■ Les acteurs de la filière. Le tissu industriel | 111 |
| ■ Soutiens à la filière robotique | 119 |
| ■ Incitations à l'utilisation | 127 |
| ■ Périmètre géographique du marché des robots..... | 131 |
| > DEMANDE | |
| ■ Demande de robots d'assistance physique dans le secteur de l'agriculture | 143 |
| ■ L'évolution de la logistique et des nouvelles technologies..... | 157 |
| ■ Développement des secteurs porteurs..... | 163 |
| ■ Demande de robots d'assistance physique dans le secteur de la gestion des déchets | 167 |
| ■ Demande des industries de process et de production d'énergie..... | 173 |
| ■ Demande dans le BTP | 183 |
| ■ Défense, protection civile | 191 |
| ■ Aide à la personne (domicile et établissements) | 199 |
| ■ Robotique et santé | 205 |
| ■ Demande dans l'industrie manufacturière..... | 215 |
| ■ Description des scénarios | 221 |
| ■ Impacts en santé et sécurité au travail des scénarios et les conséquences sur les besoins en prévention..... | 241 |
| ■ Le séminaire de présentation de l'exercice de prospective RAP 2030.. | 255 |

*Cet exercice de prospective a fait l'objet
d'un séminaire de présentation interne
le 3 décembre 2013.*

Mot du directeur général de l'INRS

Pourquoi une démarche de prospective à l'INRS?

L'INRS a pour mission la prévention des maladies professionnelles et accidents du travail. Dans ce cadre, sous l'impulsion des partenaires sociaux, l'Institut a mis en place depuis près de deux ans une démarche structurée de veille et de prospective.

La prospective n'est évidemment pas une démarche divinatoire, mais une démarche déterministe et holistique qui vise à se préparer aujourd'hui à demain.

Ce n'est pas prévoir l'avenir, et l'INRS n'a ni ce rôle, ni cette prétention, mais la démarche prospective vise pour l'Institut à élaborer des scénarios possibles pour la prévention, et ce, sur la base des données et travaux disponibles à l'Institut, ou dans d'autres organismes français ou étrangers.

Synthétiser les tendances, prévoir des scénarios qui vont nous aider à prendre les bonnes décisions dans notre démarche de prévention, essayer d'identifier les impacts pour la prévention de ces scénarios, telles sont quelques-unes des questions que nous allons nous poser pendant ce séminaire.

Nous avons choisi pour ce premier exercice de prospective de l'Institut le sujet des robots d'assistance physique, qui constitue déjà une tendance industrielle, pour lequel nous devons être présents en termes de prévention.

À travers ces travaux, avec la participation de tous les acteurs de la Branche accidents du travail/maladies professionnelles (ATMP) - la Direction des risques professionnels de la Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAM/DRP), les Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT) -, c'est aussi la capacité de la Branche ATMP à se préparer aux sujets de prévention de demain.

Ainsi pour ce travail sur les robots d'assistance physique, nous avons fait appel à de nombreux acteurs hors INRS pour animer et nous apporter leur contribution. Qu'ils soient issus des centres techniques, des universités, des CARSAT, des entreprises, ils nous ont apporté leur expertise pour la construction de scénarios, qui a représenté un énorme travail. Mais ce n'est qu'au prix de cette très importante réflexion et formalisation des scénarios que ce séminaire sera utile.

Je remercie donc tous les experts et intervenants dans ces travaux, ainsi que toute l'équipe qui a préparé depuis de nombreux mois cet ouvrage.

Stéphane PIMBERT
Directeur général INRS

Méthodologie de la démarche

La demande de réalisation d'opérations de prospective à l'INRS

A travers des exercices préalables à l'établissement de ses programmes d'activité à moyen terme associant à différents niveaux l'ensemble de ses experts, l'INRS est familier des opérations visant à orienter ses activités et ses ressources en fonction des besoins du monde de la prévention des risques professionnels. Cependant, autour de l'année 2005, son conseil d'administration a souhaité la création d'une entité « Veille et prospective » au sein de l'institut, chargée de lui fournir des éléments d'information permettant de nourrir la réflexion sur les orientations à donner à la politique de l'institut. L'horizon temporel visé n'est plus alors à quelques années, mais plutôt à 15 à 30 ans. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce premier exercice de prospective organisé par l'INRS en liaison avec quelques organismes partenaires.

La démarche prospective

La vocation d'un exercice de prospective n'est pas de décrire le futur, mais des futurs possibles. La prospective n'est pas non plus la prévision d'un avenir qui serait une prolongation des tendances du passé. Elle prend en effet en compte les discontinuités probables ou possibles. C'est un système dynamique qui explore les futurs possibles permettant ainsi d'identifier les évolutions souhaitables des organisations pour les mettre en phase avec les futurs changements des contextes dans lesquelles elles évoluent. C'est donc une aide à la définition d'une politique stratégique et à sa mise en œuvre. C'est un outil pour les décideurs dans la mesure où elle leur fournit des éléments d'aide pour les choix stratégiques qui leur incombent. Il permet aussi d'avoir ainsi une meilleure réactivité par rapport à une situation ou un événement.

Il existe plusieurs méthodes de prospective. Celle qui a été choisie pour cet exercice est dite « méthodes des scénarios contrastés ». Cette méthode s'appuie sur un système de variables ou un ensemble de facteurs identifiés comme ayant une influence sur le futur du système étudié. La variation de ces facteurs va permettre de décrire des scénarios possibles.

La méthode des scénarios

Cette méthode consiste à élaborer des scénarios qui décrivent différents futurs possibles à moyen et à long terme selon l'échéance choisie. La construction de ces scénarios s'appuie sur un système de variables ou sur un ensemble de facteurs identifiés pour lesquels des hypothèses d'évolution sont formulées au regard de la rétrospective et de la prospective envisagées pour chaque variable.

Sur la base des évolutions imaginées de ces variables, des hypothèses sont décrites et la combinaison de ces hypothèses aboutit à la construction de scénarios. Ces scénarios décrivent donc des futurs possibles en s'appuyant sur un système rigoureux de variables identifiées.

Les fiches variables

Les variables clés pour le système étudié sont identifiées par des experts issus de disciplines et de secteurs d'activité concernés plus ou moins directement par le sujet étudié et susceptibles d'apporter un éclairage (juridique, médical, sociologique, physiologique, ergonomique, mécanique, technologique,...) sur les secteurs concernés par ce sujet et/ou susceptibles de l'impacter. Les variables sont retenues dans la mesure où elles peuvent influencer sur l'évolution de la problématique. Elles doivent rendre compte des principales inflexions et/ou ruptures possibles ou probables du domaine. Il est essentiel que le groupe d'experts soit le plus large possible en termes de disciplines afin de prendre en compte chaque facette de la problématique.

Pour chacune des variables, une fiche est établie. Cette fiche est constituée d'une synthèse historique (rétrospective), des principales orientations ou des évolutions majeures identifiées au cours des 20 dernières années : les acteurs à l'œuvre, les ruptures intervenues, les changements de référentiel, etc. Elle comprend aussi une description du futur imaginé de la variable basé sur cette rétrospective, intégrant des hypothèses de continuité ou des hypothèses de rupture.

Ces fiches permettent une représentation du système en dynamique puisqu'elles prennent en compte les mécanismes mis en œuvre et la façon dont ils se poursuivent.

Les hypothèses

La rétrospective a permis d'identifier les évolutions de la variable : les tendances lourdes, les inflexions ou les ruptures intervenues dans le passé ainsi que les incertitudes majeures concernant l'avenir. C'est à partir de ces différents éléments que les hypothèses sont

construites. Il est important que les hypothèses formulées ne se réduisent pas aux évolutions souhaitables si on veut que soit prise en compte la totalité du champ des futurs : il s'agit d'essayer d'objectiver les possibilités d'évolution indépendamment du jugement que le rédacteur peut porter à leur égard.

De plus ces hypothèses doivent répondre à un certain nombre d'exigences : elles doivent illustrer l'ensemble du spectre des futurs possibles ; elles doivent être contrastées ; elles doivent être incompatibles entre elles (dans l'optique de la réalisation de scénarios contrastés) et porter uniquement sur le champ de la variable.

La construction des scénarios exploratoires

Les scénarios racontent des futurs possibles qu'ils soient souhaitables ou non. Ces scénarios décrivent une image de la situation à l'horizon envisagé. Ils sont construits à partir de la combinaison logique des hypothèses proposées pour chaque variable. Les scénarios décrits doivent être suffisamment contrastés pour d'offrir une vision la plus large des futurs possibles.

Au cours de l'exercice environ 3 à 4 scénarios sont retenus, ils sont choisis contrastés afin d'explorer la totalité du champ des possibles et donner une vision la plus large. Après seulement pourront être choisis les avenir souhaitables, les orientations stratégiques à donner, ainsi que leurs mises en œuvre : dès lors, ce n'est plus le prospectiviste qui intervient, mais les décideurs qui se servent des données qu'il met à leur disposition.

Le choix du sujet

La présence des robots d'assistance physique au poste de travail ne relève plus de la science fiction. Exosquelettes permettant d'accompagner le geste de travail en limitant la force à déployer, automates permettant d'aider au levage de personnes dans l'aide à domicile, etc., de plus en plus nombreux sont les exemples dans lesquels ces équipements de travail viennent assister le travailleur dans l'accomplissement de sa tâche. On trouvera plus loin un panorama rapide de la situation actuelle et des prévisions pour les années qui viennent.

Cette utilisation n'est pas sans poser des problèmes techniques et éthiques. Des dérives sont possibles :

- le même robot qui va assister le travailleur vieillissant dans l'accomplissement de sa tâche peut être utilisé pour augmenter la cadence imposée à un travailleur plus jeune avec pour conséquence possible qu'arrivé à l'âge du premier, le second expérimentera sur sa santé les mêmes conséquences d'un travail répétitif et contraint ;
- la présence d'un robot peut changer le rapport du travailleur à sa tâche, en la déshumanisant, avec toutes les conséquences connues en termes de risques psychosociaux liées notamment à la perte d'autonomie dans la décision ;

- dans le domaine de l'aide à la personne, cette utilisation peut ne pas être sans conséquence sur le ressenti de la personne soignée qui rejillira sur le soignant/aidant et sa pratique professionnelle ;
- etc.

C'est de cette question du développement de l'utilisation des robots d'assistance physique et de ses conséquences en termes de santé et de sécurité au travail que l'INRS a décidé de faire sa première opération de prospective. Plusieurs éléments ont guidé ce choix :

- l'expertise reconnue de l'institut dans l'aide à la conception d'équipements de travail permettant de travailler en santé et sécurité ;
- la possibilité de fédérer autour de cette opération plusieurs compétences de l'institut : spécialistes des machines, psychologues, ergonomes, physiologistes, etc. ;
- l'association de plusieurs départements (Ingénierie des équipements de travail, Expertise et conseil technique, Homme au travail et Études veille assistance documentaire à travers la mission Aide à la personne) au pilotage et à la réalisation de l'opération ;
- la capacité à développer des coopérations avec des partenaires extérieurs (Anses, CCMSA, Cen Robotique, Cetim, université de Nantes) issus du monde de la recherche et de l'entreprise ;
- les aspects économiques et sociétaux de la problématique.

À travers cette opération de prospective et au-delà de la fourniture d'éléments de réflexion et d'aide au choix à son conseil d'administration, il s'agit aussi pour l'INRS de s'affirmer comme un partenaire dans les développements à venir dans ce domaine dans les prochaines années. Il s'agit également, à travers l'affirmation de cette présence, d'imposer une réflexion sur les questions de santé et de sécurité au travail dans les opérations de développement des robots d'assistance physique.

Le dispositif de travail pour cet exercice prospectif

Cet exercice a été conduit par un groupe projet et un groupe de travail composé d'experts issus de différentes spécialités. Ce groupe a suivi une formation commune à la méthode des scénarios contrastés puis s'est réuni huit fois sur une période huit mois pour établir les scénarios exploratoires. L'exercice de prospective a été supervisé par un groupe de pilotage.

Le groupe d'experts

Le dispositif mis en place s'est appuyé sur un groupe de travail multidisciplinaire composé d'experts en provenance de différents horizons professionnels. Ce groupe a été chargé :

- de définir, sur proposition de l'équipe projet et en fonction des objectifs généraux fixés, la méthodologie et le champ de l'étude prospective (horizon temporel, territoires, activités, acteurs, etc.) ;
- d'identifier les variables ;
- de formuler des hypothèses puis de construire les scénarios et d'analyser leurs implications.

Dans le cas de cet exercice il est composé de personnels INRS et d'experts externes :

- **Jean-Jacques Atain-Kouadio**, physiologiste, INRS, responsable d'étude, laboratoire Biomécanique et ergonomie, département Homme au travail
- **Agnès Aublet-Cuvelier**, médecin physiologiste, INRS, chef du département Homme au travail
- **Rachel Barbet-Detraye**, ingénieur, ergonomiste, service de Prévention des risques professionnels, Caisse centrale de la mutualité sociale agricole
- **Philippe Charpentier**, automaticien, INRS, responsable du laboratoire Sécurité des systèmes automatisés, département Ingénieries des équipements de travail
- **Annie Dussuet**, sociologue, maître de conférences, université de Nantes
- **Élodie Falconnet**, ergonomiste, Centre technique des industries mécaniques (Cetim)
- **Charles Fattal**, médecin chef CMN Propara, Centre d'expertise national en robotique
- **Carole Gayet**, juriste, INRS, pilote de la thématique Aide à la personne
- **Louis Laurent**, physicien, Anses, directeur Recherche et veille
- **Adel Sghaier**, automaticien, INRS, responsable d'étude, laboratoire Sécurité des systèmes automatisés, département Ingénierie des équipements de travail
- **Jérôme Triolet**, ingénieur chimiste, INRS, responsable du département Expertise et conseil technique
- **Guy Welitz**, mécanicien, INRS, expert dans le domaine des équipements de travail : machines et équipements de production pour les industries, département Expertise et conseil technique

Les deux membres du groupe projet ont également participé aux travaux du groupe et contribué à la rédaction des fiches variables et des scénarios :

- **Stéphanie Devel**, documentaliste, INRS, mission Veille et prospective
- **Michel Héry**, ingénieur chimiste, INRS, mission Veille et prospective

Le secrétariat technique a été assuré par **Michel Talarmin**

Ont également été associés ponctuellement aux travaux du groupe pour la rédaction de fiche variable :

- **Jean-Claude André**, INSIS-CNRS, LRGP-UMR 7274
- **Bertrand Delecroix**, économiste, science de l'information, INRS, laboratoire Organisation, changement et prévention, département Homme au travail.

- **Virginie Govaere**, psycho-ergonome spécialisé en informatique, INRS, laboratoire Ergonomie et psychologie appliquées à la prévention, département Homme au travail

En liaison avec le groupe d'experts, il a été demandé à un groupe d'appui composé d'experts en santé et sécurité au travail d'imaginer la déclinaison des scénarios en termes de réponse de prévention et de positionnement technique de l'INRS. Il est composé de :

- **Séverine Brunet**, ingénieur généraliste, INRS, chef du département Ingénierie des équipements de travail
- **Dominique Chouanière**, médecin épidémiologiste, INRS, chargée de mission auprès du directeur général
- **Nathalie Guillemy**, juriste, INRS, directrice du centre de Paris
- **Jérôme Triolet**, ingénieur chimiste, INRS, chef du département Expertise et conseil techniques
- **Michel Héry**, ingénieur chimiste, INRS, mission Veille et prospective
- **Stéphanie Devel**, documentaliste, INRS, mission Veille et prospective

Il convient également de signaler le rôle déterminant de Futuribles dans cette opération, qui a accompagné le groupe d'experts lors de toutes les principales étapes de l'opération (formation des experts, détermination des variables, validation des fiches variables et en particulier des hypothèses, construction des (micro)-scénarios) :

- **François de Jovenel**
- **Cécile Wendling**

Les robots d'assistance physique : éléments de contexte

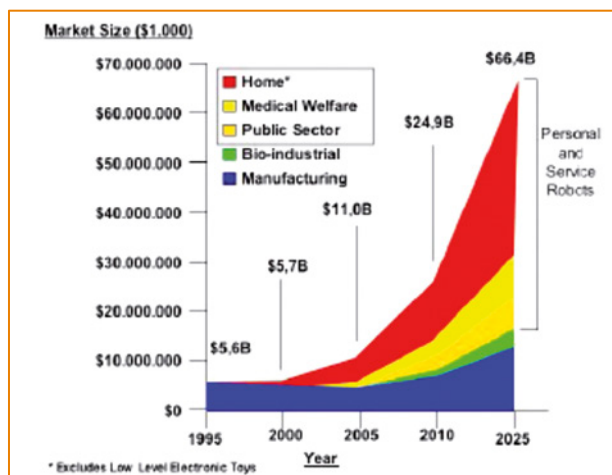
INRS, Département IET – Laboratoire SSA

Robotique et robots d'assistance physique

Éléments de contexte

Depuis quelques années, on assiste à des progrès scientifiques et technologiques dans les différents domaines impactant la robotique : mécanique, électronique, automatique et informatique. Les robots étaient essentiellement cantonnés au domaine manufacturier pour la réalisation de tâches complexes, pénibles et/ou répétitives ou pour opérer dans des milieux inaccessibles à l'homme (exploration planétaire, nucléaire...), mais le spectre de leurs applications envisageables s'élargit aujourd'hui considérablement. Outre les applications de plus en plus nombreuses et variées dans le domaine manufacturier, on trouve maintenant (encore à l'état de prototype ou en phase de commercialisation) des robots de service, des robots d'assistance ou encore des robots d'aide aux handicapés ou aux personnes âgées.

Et les prévisions laissent présager une forte croissance du marché des systèmes robotisés pour les décennies à venir, illustrée par la figure suivante. On peut noter que ces courbes ne considèrent pas le domaine militaire, qui pourrait influencer lui aussi le développement de la robotique.



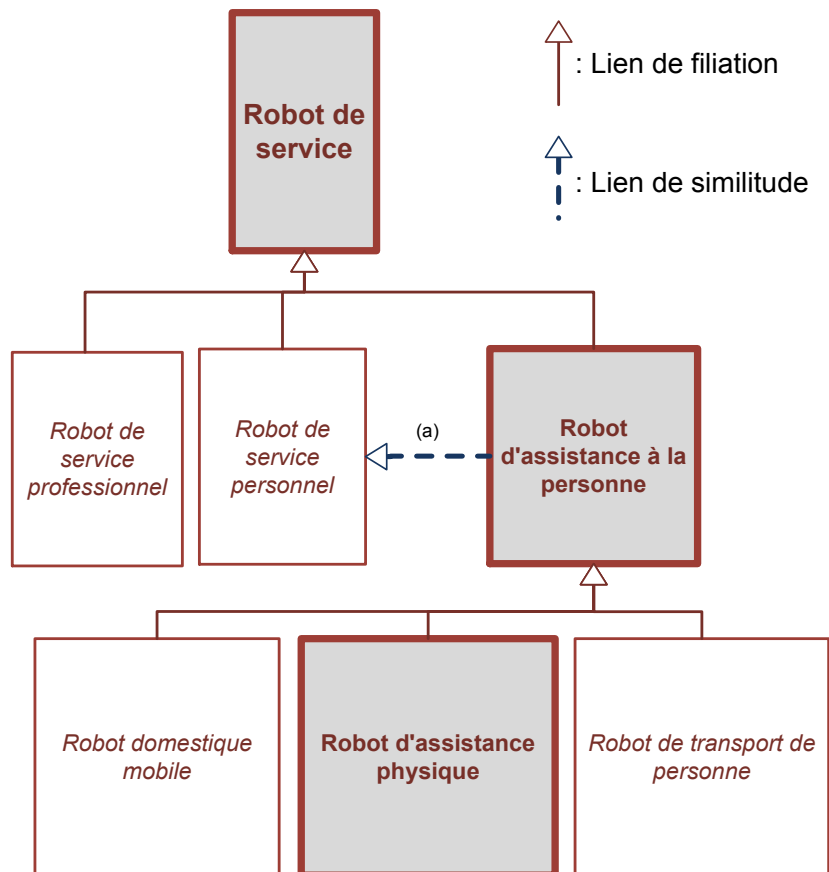
Source : Japan Robotics Association
Document EUROP, juillet 2005

La plupart de ces nouvelles applications vont amener les hommes à côtoyer les robots, sans que des barrières physiques ne les séparent des mouvements de ces robots. Ces évolutions sont facilitées par les progrès technologiques des systèmes permettant aux robots de « percevoir » le contexte, donc de coopérer.

Les robots deviennent coopératifs et sont conçus pour interagir avec l'homme au sein d'un espace de travail partagé dans lequel robot et humain peuvent réaliser des tâches simultanément.

Robots de service, robots d'assistance physique

Les robots de service sont une des catégories de robots présents sur le marché, pour lesquels on retrouve cette interaction homme/robot. Une classification basée sur la normalisation les répartit en plusieurs catégories.



Le **robot de service professionnel** est défini par la norme comme étant un « *robot de service utilisé pour une tâche commerciale¹, habituellement par un opérateur qualifié* ». Tous les robots se substituant à l'homme pour réaliser des tâches dans le cadre professionnel entrent donc dans cette catégorie, par exemple les robots de nettoyage de lieux publics ou les robots de distribution dans les hôpitaux. En lien avec la télé-opération, ces robots pourront aussi être utilisés dans le monde professionnel pour éviter des expositions à certains risques, par exemple dans des environnements agressifs.

¹ À interpréter par « utilisé dans le cadre professionnel ».

Un **robot de service personnel** est un « *robot de service utilisé pour une tâche non commerciale, habituellement par une personne non spécialisée* ». A la différence d'un robot de service professionnel, ces robots seront utilisés à titre privé par des personnes sans qualifications particulières. Les robots compagnons appartiennent à cette catégorie.

Un **robot d'assistance à la personne** est défini comme étant un « *robot de service permettant un contact physique avec les individus dans le but d'aider à accomplir des actions ou d'accomplir des actions qui contribuent directement à l'amélioration de la qualité de vie des individus, à l'exclusion des applications médicales* ». Ils se répartissent en :

- **robot domestique mobile**, « *capable de se déplacer librement pour exécuter une tâche prévue et/ou manipuler des objets (avec ou sans manipulateur)* ». Il s'agit de robots se déplaçant dans un environnement domestique ou dans des lieux publics (robot guide dans un musée) utilisés pour des applications qui n'entrent pas dans le cadre professionnel ;
- **robot d'assistance physique**, « *destiné à aider une personne à exécuter des tâches requises, en complétant ou en augmentant ses capacités². Un robot d'assistance physique est conçu pour permettre à une personne faible ou âgée de remplir les mêmes fonctions qu'une personne valide, ainsi qu'à augmenter les performances d'un utilisateur valide* ». Ils peuvent être utilisés pour aider l'utilisateur à réaliser des tâches qu'il n'est plus capable de réaliser à cause de l'âge ou d'un handicap, mais aussi pour permettre à un utilisateur valide de réaliser des tâches (répétitives, pénibles...) qui surpassent ses capacités. Entrent dans cette catégorie les robots destinés à démultiplier les efforts comme le Cobot développé par la société RB3D ou les exosquelettes ;
- **robot de transport de personne**, « *dont la finalité est de transporter des personnes vers un endroit différent par des moyens autonomes de navigation, de guidage et de locomotion* ». Ce type de robot concerne aussi bien des utilisateurs valides pour faciliter leurs déplacements que des utilisateurs à mobilité réduite pour surmonter leur invalidité. A terme, on peut s'attendre à ce que la frontière entre robot de transport de personne et véhicule personnel intelligent soit de plus en plus floue.

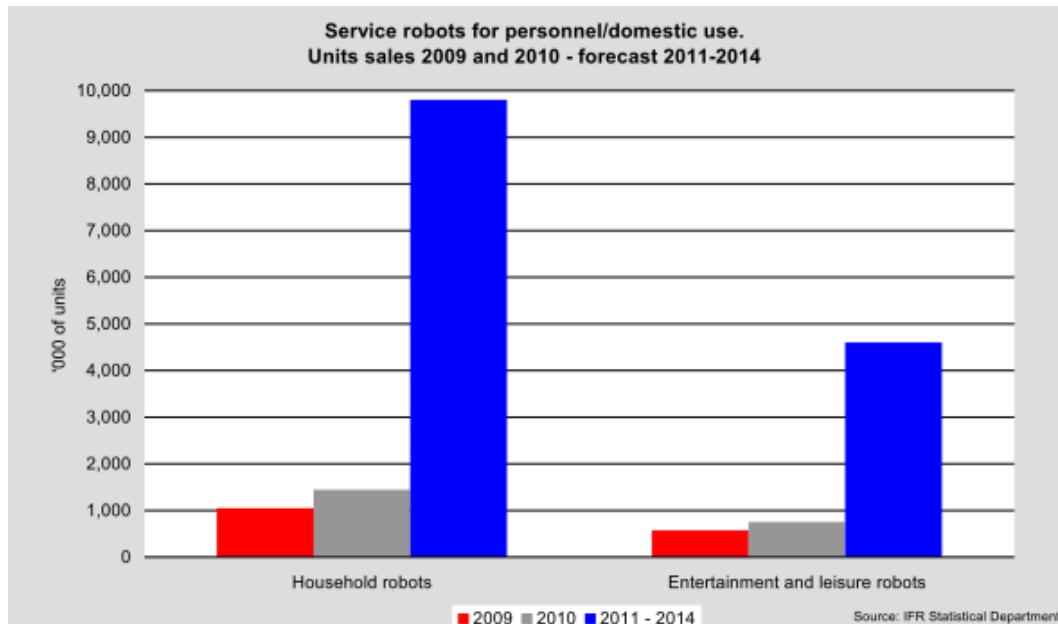
Le périmètre proposé pour la réflexion prospective est celui des parties grisées de la classification, à savoir les robots d'assistance physique dans le cadre professionnel.

Évolutions

Les domaines des services et de l'assistance à la personne représentent une part importante du développement de la robotique. Comme on vient de le voir, les robots de service ont en effet la capacité de fournir des solutions innovantes pour résoudre des problématiques telles que l'assistance à l'effort pour des populations diminuées par l'âge ou le handicap (robots d'assistance) ou encore pour améliorer la qualité de vie de personnes dans leurs activités quotidiennes, qu'elles soient professionnelles ou privées (robot de service professionnel et robot de service personnel).

² Compte tenu de la définition, seules les capacités physiques sont concernées.

Des études prospectives n'hésitent d'ailleurs pas à prédire une évolution très rapide du marché de la robotique de service, en particulier pour les applications domestiques (cf. courbes suivantes).



Même si ces chiffres peuvent paraître optimistes, il faut s'attendre à ce qu'à relativement court terme, des robots fassent partie de notre environnement quotidien et donc envisager dès maintenant de partager notre vie quotidienne (privée et professionnelle) avec ces équipements.

Conséquences en santé/sécurité

Si les robots de service ont des apports indéniables, leur utilisation peut poser des problèmes de sécurité, si les aspects techniques sont mal maîtrisés, mais aussi des problèmes de santé si leur introduction se faisait sans prendre correctement en compte les personnes amenées à les côtoyer et à les utiliser.

La prise en compte des aspects santé/sécurité des robots d'assistance est donc indispensable pour leur utilisation générale dans la société et leur acceptation. Il ne faudrait pas en effet qu'ils soient générateurs d'accidents. Le tableau ci-dessous, tiré de la norme ISO/DIS 13842, liste les phénomènes dangereux, susceptibles d'affecter la santé et la sécurité des personnes, d'une machine (tels que décrits par la directive machine) et coche ceux concernant les robots d'assistance physique.

| PHÉNOMÈNES DANGEREUX | ROBOT D'ASSISTANCE PHYSIQUE |
|---|-----------------------------|
| Mécaniques | X |
| Électriques | X |
| Thermiques | X |
| Engendrés par le bruit | |
| Engendrés par les vibrations | |
| Engendrés par les rayonnements | |
| Engendrés par des matériaux et des produits | X |
| Associés à l'environnement opérationnel | |
| Engendrés par le non-respect des principes ergonomiques | X |
| Combinés | |

Aspects sécurité

Les aspects sécurité sont essentiellement en relation avec les phénomènes dangereux mécaniques. Dans le cas des robots d'assistance physique, ce seront par exemple des collisions entre le bras du robot et l'opérateur, suite par exemple à la défaillance du système de commande.

Aspects santé

Parmi les problèmes autres que techniques pouvant être générés par l'utilisation de robots de service ou d'assistance, on trouve :

Les troubles musculosquelettiques

Les promoteurs du Cobot axent leur communication sur la réduction des TMS. Encore faut-il s'assurer que le recours à de tels équipements ne soit pas la source d'autres TMS.

L'acceptabilité, les risques psychosociaux

L'homme étant amené à agir en coactivité avec le robot, des questions peuvent se poser concernant : l'appréhension de certaines personnes face à une machine (pouvant être facilitée par le recours à des robots humanoïdes), la dépendance à la technologie pour la réalisation de la tâche, la crainte d'une perte de certains repères et de compétences techniques, la sensation d'une diminution de l'autonomie par l'utilisateur, le conflit entre ce que l'opérateur souhaiterait faire et ce qui est permis par le robot, la stigmatisation de la diminution des capacités...

Les assistances devront être acceptées par la profession et les partenaires sociaux. Parmi les blocages à considérer, on pourrait retrouver des considérations d'ordre économique, mais aussi « éthique » comme la crainte d'une « robotisation » de l'homme au travail ou le maintien coûte que coûte de l'homme à son travail, sans autres considérations.

La charge mentale

Pour une situation de travail donnée, le recours à un robot d'assistance pour réduire la charge physique d'un opérateur ne doit pas engendrer de charge mentale supplémentaire.

Autres...

Éléments de discussion

La réflexion prospective pourrait s'articuler autour de trois axes :

- **l'objet** : dans la famille des robots de service, on s'intéressera aux robots d'assistance physique (partie grisée de la classification).
Aujourd'hui, cette catégorie de robot d'assistance physique met en contact le robot et le salarié. Est-elle trop précise ou trop bornée pour un exercice prospectif ?
- **la problématique** : conséquences en termes de santé et sécurité.
Santé et sécurité, santé ou sécurité, pénibilité ???
 - santé : troubles musculosquelettiques, risques psychosociaux...
 - sécurité : collisions, bruit, vibration...
 - pénibilité : les robots, la réponse au décret ?
- **l'application** : à choisir ?
 - le BTP (c'est la cible identifiée des exosquelettes...) ?
 - l'aide aux soignants (manutention de malades...) ?
 - l'industrie manufacturière (le Cobot vise à soulager les efforts du salarié...).



Exemples

Exosquelette

L'exosquelette ou squelette externe, par opposition à endosquelette, est un terme employé dans divers domaines, comme la zoologie (caractéristique anatomique qui supporte et protège un animal. Beaucoup d'invertébrés, comme les insectes, les crustacés et les mollusques, possèdent un exosquelette) et la robotique.

Exemple d'exosquelette d'assistance à l'effort. Il s'agit de structures mécaniques qui doublent celle du squelette humain et lui confèrent des capacités physiques qu'il n'a pas ou plus.

Crédit : RB3D

En robotique, un exosquelette est un équipement articulé et motorisé fixé sur le corps au niveau des jambes et du bassin, voire également sur les épaules et les bras.

C'est une armature solide qui se place par dessus un être vivant. Elle se compose de parties fixes et de parties amovibles qui imitent nos bras et nos jambes. Les exosquelettes robotisés actuels ont pour but d'aider un être humain à effectuer un mouvement.

Il facilite les mouvements en ajoutant la force de moteurs électriques. Les exosquelettes, encore en développement, sont destinés notamment aux fantassins des forces armées pour leur permettre de marcher longtemps et de porter des charges lourdes en réduisant leur fatigue.

Exemple d'exosquelette : Héraclès

Héraclès, le pendant d'Hercule (premier exosquelette européen développé par la PME française RB3D et soutenu par le ministère de la Défense à travers un financement de la direction générale de l'armement) dans la mythologie grecque, va plus loin. Capable d'embarquer jusqu'à 100 kg de charge à marche soutenue, il doit aussi pouvoir effectuer des petits sauts avec souplesse. Héraclès sera donc la version 2.0 d'une réussite annoncée.



Héraclès est un exosquelette, c'est-à-dire un équipement articulé et motorisé fixé sur le corps au niveau des jambes et du bassin. Il a pour but d'aider un être humain à effectuer un mouvement et à porter une charge, grâce à ses moteurs électriques. Héraclès est capable d'embarquer 100 kg de charge à marche soutenue et d'effectuer de petits sauts. Il a été développé par la PME française RB3D avec le soutien du ministère de la Défense.

Crédit : Philippe Stroppa/CEA, avec l'autorisation de RB3D

« Les trois millions d'euros que RB3D cherche à lever doivent permettre de financer une partie des recherches et de faire construire une nouvelle unité de production. Pour cela, une version civile d'Héraclès est aussi sur les rails. Elle doit servir aux pompiers et aussi à tous ceux qui ont à soulever de lourdes charges. RB3D prévoit la commercialisation de 200 exemplaires de cet exosquelette civil en 2015. »

Cobot (démultiplicateur d'efforts), robot d'assistance aux gestes

Le terme Cobot est la contraction d'un « robot collaboratif ». Ce type d'équipement permet d'assister l'homme au travail dans les tâches industrielles où il est nécessaire d'appliquer un effort pendant le travail, comme le ponçage, le meulage ou la manipulation.

La spécificité d'un Cobot est qu'il est une sorte d'outil de travail contrôlé par l'utilisateur. Le Cobot est donc piloté continuellement par l'homme au moyen d'une commande intuitive, et il se trouve alors délesté des efforts dans sa tâche. L'utilisateur peut se concentrer sur le contrôle du travail à accomplir mais aussi risque moins de subir de risques de TMS.

Exemple de Cobot : Cobot RB3D

Associant l'intelligence et l'adaptabilité des hommes à la force des robots, le Cobot RB3D est un bras mécatronique dédié à des tâches industrielles pénibles comme le meulage, le ponçage, le burinage ou encore la manipulation. L'opérateur manipule l'outil avec le bras instrumenté (là où une opération de parachèvement réclame un effort de 20 kg, le Cobot ne demande plus qu'un effort d'un kilo).

Ce robot collaboratif ou Cobot dédié à la génération d'effort, bénéficie d'un mode de commande intuitif, intégré au Cobot, qui amplifie l'effort de l'opérateur d'un facteur réglable de 1 à 50, en utilisant un unique capteur d'efforts. L'opérateur conserve ainsi une information quantitative du déroulement de la tâche par un retour d'effort paramétrable. L'inertie apparente et les autres imperfections éventuellement ressenties par l'opérateur (frottements par exemple) sont également grandement réduites par l'introduction du facteur d'amplification.

« Le Cobot RB3D a été conçu par RB3D, une PME de douze personnes, spécialisée dans la conception et la fabrication d'outillage intelligent. Grâce au réseau qu'elle a tissé, RB3D a lancé plusieurs collaborations de recherche avec des organismes de recherche technologique tels que le CEA et le Cetim.

Le Cetim a contribué au projet en structurant la démarche autour de la conception mécatronique. Son soutien important, via les meilleurs experts du domaine, a été mis en œuvre pour la conformité du produit final aux directives européennes, tant au niveau méthodologique qu'en termes de support technique et de démarche de certification. »

Robot chirurgical

Exemple de robot chirurgical : Da Vinci

« Le Da Vinci est composé de deux parties. La première se situe au-dessus de la personne à opérer et comporte trois (dans sa première version) ou quatre (à partir du modèle Da Vinci S) bras manipulateurs. Un bras tient une caméra endoscopique, les autres tiennent des instruments chirurgicaux tels qu'un bistouri, ou plus précisément un électrobistouri qui découpe les tissus à l'aide d'un courant électrique.

La seconde est située à quelques mètres de la première, et comporte un siège sur lequel s'assied le chirurgien, deux écrans devant lesquels ce dernier vient placer ses yeux et qui retransmettent en direct la vue en 3D de la caméra endoscopique située sur la première partie, et deux manettes pour contrôler les instruments chirurgicaux situés sur la première partie.»

Les deux parties sont reliées par de nombreux câbles afin de transmettre les données de contrôle dans un sens, et de vision dans l'autre.

Un Da Vinci coûte entre un et deux millions d'euros en France. Suivant les versions, il peut peser 650 kg ou 500 kg. Une version mesure environ deux mètres de haut et un mètre de profondeur.



Da Vinci est un robot chirurgical de dernière génération, qui permet aux chirurgiens de réaliser certaines interventions chirurgicales complexes et délicates, de manière moins invasive.

Crédit :©2015 Intuitive Surgical, Inc.

Plusieurs mécanismes de sécurité sont présents : les bras manipulateurs ne peuvent pas bouger si la tête du chirurgien n'est pas en contact avec la partie permettant de voir le champ opératoire, une protection empêche les bras d'endommager les tissus au niveau du trou par lequel ils pénètrent dans le corps, et une batterie de secours permet au Da Vinci de fonctionner pendant 20 minutes en cas de coupure de courant.

Le robot est contrôlé à distance par les mains du chirurgien à l'aide de télémanipulateurs et de caméras qui permettent une vision en trois dimensions et autorisent des mouvements de rotation impossibles à effectuer en coelioscopie classique. En clair, le médecin utilise une manette, dont les mouvements vont être reproduits par le robot, en filtrant les mouvements parasites (tremblements par exemple), et, si besoin, en amplifiant ou réduisant leur amplitude, afin d'obtenir une précision inaccessible pour un humain.

De plus, la forme des outils du robot permet d'effectuer des opérations mini-invasives qui auraient provoqué une cicatrice plus importante lors d'une intervention classique. Les bénéfices pour le patient sont remarquables : sa cicatrisation est plus rapide, son hospitalisation est plus courte, les douleurs post-opératoires sont moins importantes et le risque d'infection est réduit.

Confortablement installé derrière la console Da Vinci, le chirurgien dispose d'une vision en 3D haute résolution du champ opératoire, avec fonction d'agrandissement.

Ses gestes opératoires sont mis à l'échelle, filtrés et instantanément convertis en micromouvements extrêmement précis dans les bras du robot Da Vinci par des technologies robotiques et informatiques de pointe.

Ce système ne peut ni être programmé, ni prendre des décisions de manière autonome. Au contraire, chaque manœuvre chirurgicale doit être effectuée directement par le chirurgien.

Bras embarqué sur base mobile (de type Jaco)

Les politiques publiques d'accompagnement des personnes dépendantes s'appuient sur des dispositifs d'intervention diversifiés faisant appel à des aides humaines et des aides techniques.



Jaco est un bras robotisé manipulateur à six axes doté d'une main à trois doigts. Il permet d'améliorer significativement la vie des gens à mobilité réduite en rendant possible la réalisation d'actions complexes pour quiconque éprouve des difficultés motrices au haut du corps
Crédit : Kinova Robotics

Des réponses technologiques de plus en plus innovantes, basées sur des technologies de l'information et de la communication, la domotique, la robotique..., existent pour permettre aux personnes dépendantes de réaliser seules des tâches qu'elles étaient auparavant dans l'incapacité de réaliser sans aide humaine.

La robotique est utilisée en tant qu'outil de rééducation ou en tant qu'aide technique compensatrice des incapacités de préhension. Ils permettent un gain non négligeable en indépendance dans la vie quotidienne et sont parfois indispensables à une reprise professionnelle.

Le bras robotisé Jaco Édition Recherche est un outil révolutionnaire pouvant être utilisé dans une multitude d'applications en recherche. C'est un leader dans une nouvelle génération de robot léger et portable qui permet à son utilisateur d'interagir avec son environnement en toute sécurité, liberté et efficacité.

Il « *a pour objectif d'améliorer l'autonomie des personnes dépendantes (personnes âgées et ou handicapées moteur). Par exemple, Jaco, qui est "capable" de se saisir d'une paille sans l'endommager ou d'appuyer sur un bouton* ».

Jaco Édition Recherche peut être contrôlé avec un ordinateur ou avec la manette de contrôle Kinova à trois axes. Le contrôle est intuitif et permet aux utilisateurs de naviguer en utilisant trois modes différents : translation, rotation, et préhension. En outre, le système Kinova nommé *Intelligent Singularity Avoidance* garde le bras en toute sécurité, loin des endroits non désirés. Il est très flexible et peut s'adapter à tous les besoins des utilisateurs. En outre ce bras motorisé ne nécessite qu'une faible consommation d'énergie.

Robot de portage/transport autonome

Ri-Man

Il est « *destiné à aider le personnel soignant dans les hôpitaux. Ces robots seraient à terme capables de porter une personne et d'accomplir différentes tâches comme aider une personne à passer du lit à un fauteuil et vice versa* ».

Le robot Ri-Man pour robot *Interacting with Human* est spécialement conçu pour aider les personnes âgées : il voit, entend, sent et peut s'occuper des soins aux personnes en perte d'autonomie. Enfin c'est le but d'ici à cinq ans, qu'il puisse porter un humain de 70 kg ; en attendant Ri-Man peut porter un mannequin de 12 kg.

Pour que son contact avec les êtres humains soit plus agréable, le Ri-Man a été recouvert d'une couche de silicone de cinq millimètres d'épaisseur. Il est aussi équipé de capteurs qui lui permettent d'appréhender le poids et la position d'un corps. Il possède par ailleurs des micros pour analyser la provenance des sons, des capteurs olfactifs capables de reconnaître huit odeurs différentes et peut « voir » les mouvements d'un visage humain.

Riba-II la prochaine génération de robots de soins

Un nouveau robot, utilisant des capteurs tactiles de haute précision et équipé d'une technologie flexible de contrôle de la motorisation, a été développé en collaboration par le centre de recherche Riken et Tokai Rubber Industries (TRI) au Japon.

Ce robot peut soulever une personne pesant jusqu'à 80 kg, du sol jusqu'à un fauteuil roulant, libérant ainsi du temps au personnel d'établissement soignant et le soulageant d'une tâche parmi les plus difficiles et chronophages.



Romeo
*(robot de seconde
génération de
grande taille)*
est un robot
humanoïde
d'Aldebaran Robotics
qui vise à être
un véritable assistant
et compagnon
personnel
Crédit :
Sandro Salomone pour
Aldebaran Robotics

Robotique d'assistance

Humanoïde aux capacités gestuelles (Wabian 2 R)

L'industrie du robot s'était jusqu'à une certaine époque focalisée sur le développement de robots industriels pour des applications très spécifiques et limitées. Les demandes et modes ou tendances sociales ont cependant fait évoluer le robot vers de nouvelles sphères, comme les soins ou traitements médicaux, le sauvetage, les loisirs et spectacles. Bientôt, et ce n'est qu'une question de temps, les robots d'assistance trouveront leur place à côté de l'homme pour l'assister dans le quotidien.

Le but poursuivi dans le développement de ce robot humanoïde bipède est double, d'une part de créer un robot qui serait un partenaire de l'homme (« *Biped humanoid robot as a*

human partner») et d'autre part de créer un simulateur de mouvements humains (« *Application as a human motion simulator* »).

Pour la partie simulation de mouvements humains, on peut noter les expériences de simulations d'aide à la marche, qui ont permis de procéder à l'évaluation d'équipements et appareils d'aide à la marche.

Quand le robot téléporte l'humain pour faciliter la collaboration

Le projet européen Beaming permet à une personne de visualiser l'environnement perçu par un robot, qu'elle peut également diriger à distance.

En combinant la robotique, la vidéo et diverses autres technologies d'affichage et de détection, des scientifiques européens peuvent maintenant virtuellement vous «téléporter» dans des endroits situés à l'autre bout de la planète. Cela peut ressembler à de la science-fiction, alors qu'en fait cette nouvelle approche vous donne vraiment l'impression d'être présent.

Pour améliorer le travail collaboratif à distance, les technologies se multiplient. Mais pour les scientifiques du projet européen Beaming, il reste important de garder un lien physique. Pour eux, celui-ci peut passer par le robot.

Ils ont ainsi mis au point un système qui permet à une personne, où qu'elle soit, d'animer une machine présente dans un autre endroit, et de disposer aussi de son champ de vision. Du côté de l'humain, il est nécessaire de porter des lunettes de réalité augmentée, qui diffusent ce que perçoit la caméra du robot, située au niveau de ses yeux. La personne doit également enfiler une combinaison équipée de capteurs de mouvements, qui peuvent être reproduits en temps réel par la machine.

Robot de surveillance, de sécurité, d'accueil

C'est un robot de surveillance intérieure dédié aux entrepôts et sites industriels. Mobile, furtif, autonome et polyvalent, d'une autonomie de 8 à 10 heures, d'un poids de 45 kilos, il peut se déplacer sur 8 kilomètres. Équipé d'une caméra infrarouge, d'un laser longue portée et disposant d'une cartographie embarquée, il effectue des rondes automatisées sur un périmètre qui lui a été assigné et prévient immédiatement la personne chargée de la surveillance du site lors de la détection d'un incident.

Les interventions sont ainsi instantanées et calibrées avec une précision accrue, puisqu'il est possible de prendre la main à distance sur le robot pour afin d'effectuer une levée de doute grâce à la caméra et aux haut-parleurs intégrés.

Exemple de robot de surveillance : e-vigilante



e-vigilante

est un robot mobile et autonome destiné à la surveillance intérieure des entrepôts et sites industriels. Il effectue des rondes automatisées et prévient immédiatement la personne en charge de la surveillance du site lors de la détection d'un incident.

Crédit : © EOS Innovation.

L'idée de l'e-vigilante est simple : le robot mène de manière autonome sa ronde dans l'entrepôt, et signale à un centre de sécurité toute anomalie. La caméra infrarouge permet de lever le doute quant à l'anomalie et, le cas échéant, avertir la police d'une effraction. Cette application industrielle est plus simple pour un robot que la surveillance de bureau, par exemple, puisqu'il n'y a ni porte à ouvrir, ni escaliers à gravir.

« Développé par une start-up, EOS - Innovation, le robot mobile de surveillance e-vigilante va être déployé dans un entrepôt Casino, après un premier test chez Renault. La start-up espère lancer la fabrication d'une première série dès cette année, avant une commercialisation en 2014. »

Cellule collaborative

La robotique est un des axes qui permettront aux entreprises de notre territoire d'accroître leur compétitivité. Elle permet également d'améliorer les conditions de travail à travers la robotique collaborative.

Une enquête réalisée récemment par la Fédération internationale de la robotique (*International Federation of Robotics*) a identifié les **10 raisons principales qui motivent les fabricants à robotiser** :

- réduire les coûts de production,
- améliorer la qualité des pièces de façon durable,
- améliorer la qualité des postes de travail des opérateurs,
- accroître les volumes de production,
- accroître la flexibilité des lignes de production,
- réduire les taux de rebuts et augmenter le rendement,
- se conformer aux normes de sécurité et améliorer les conditions de santé et de sécurité sur le lieu de travail,
- réduire le taux de rotation de la main d'œuvre et les difficultés liées au recrutement,
- réduire les stocks et les en-cours,
- réduire la surface au sol utilisée pour la production.

Autorisés par de nouvelles technologies, de nouveaux concepts, basés sur une collaboration fluide de l'homme avec le robot, tendent à se diffuser. Ils visent par exemple à faciliter le paramétrage et le réglage lors des changements de série, à rendre plus simple l'approvisionnement et l'accès au produit sur les lignes pour les équipes de production et introduisent aussi une interaction directe de l'homme avec le robot pour la réalisation d'opérations pénibles ou complexes jusqu'alors difficilement automatisables.

À titre d'exemple, dans une cellule de palettisation, c'est la position de l'opérateur par rapport au robot qui déclenche le ralentissement, puis l'arrêt de la machine. L'utilisation de scrutateurs laser permet d'analyser en permanence la position de l'opérateur dans l'enceinte pour déclencher automatiquement une adaptation de la cadence robot.

Un robot pour les centrales nucléaires

En cas d'incident, une centrale nucléaire est sans conteste un des lieux les plus hostiles qui soient pour l'être humain.

Les radiations dégagées, même lorsqu'elles sont faibles, sont en effet très dangereuses

Robosimian est un robot d'intervention en environnement hostile et/ou dangereux pour l'homme. Il est équipé de quatre membres (s'inspire des chimpanzés et ressemble à une araignée). Ce robot est capable d'ouvrir une porte, de se dresser sur ses deux "membres postérieurs", de passer au-dessus d'obstacles, de porter des charges et même de manipuler des objets.

Crédit : NASA/JPL-Caltech



pour les personnes chargées d'intervenir. Pour remplacer celles-ci, des chercheurs ont mis au point un robot mobile capable de se déplacer à l'intérieur d'une centrale nucléaire et d'y effectuer des tâches certes simples mais pouvant s'avérer salvatrices.

Développé par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), ce robot est entièrement téléopéré, c'est-à-dire commandé depuis l'extérieur.

La seule solution pour communiquer avec des robots autonomes est la transmission hertzienne mais cela ne va pas sans difficultés

Les robots d'intérieur sont dotés d'un bras manipulateur dont l'extrémité est munie d'une pince. Ils peuvent, entre autres, faire des relevés de la radioactivité, prendre la température, franchir des obstacles, ouvrir des portes, fermer des vannes, monter un escalier, voire tenir une lance incendie.

Ces robots peuvent endurer 100 000 rems, soit une dose de radiation 2000 fois supérieure à celle mettant en danger la vie des hommes. Leur processeur est protégé par du plomb disposé en couche épaisse.

Ils sont munis d'un câble de 350 mètres, pour assurer le pilotage à distance (le wifi n'étant pas fonctionnel dans un bâtiment aussi bétonné qu'une centrale). Le pilotage s'effectue donc à distance grâce aux caméras, aux micros et aux lumières fixés sur le robot.

Exemples de robot d'intervention d'urgence

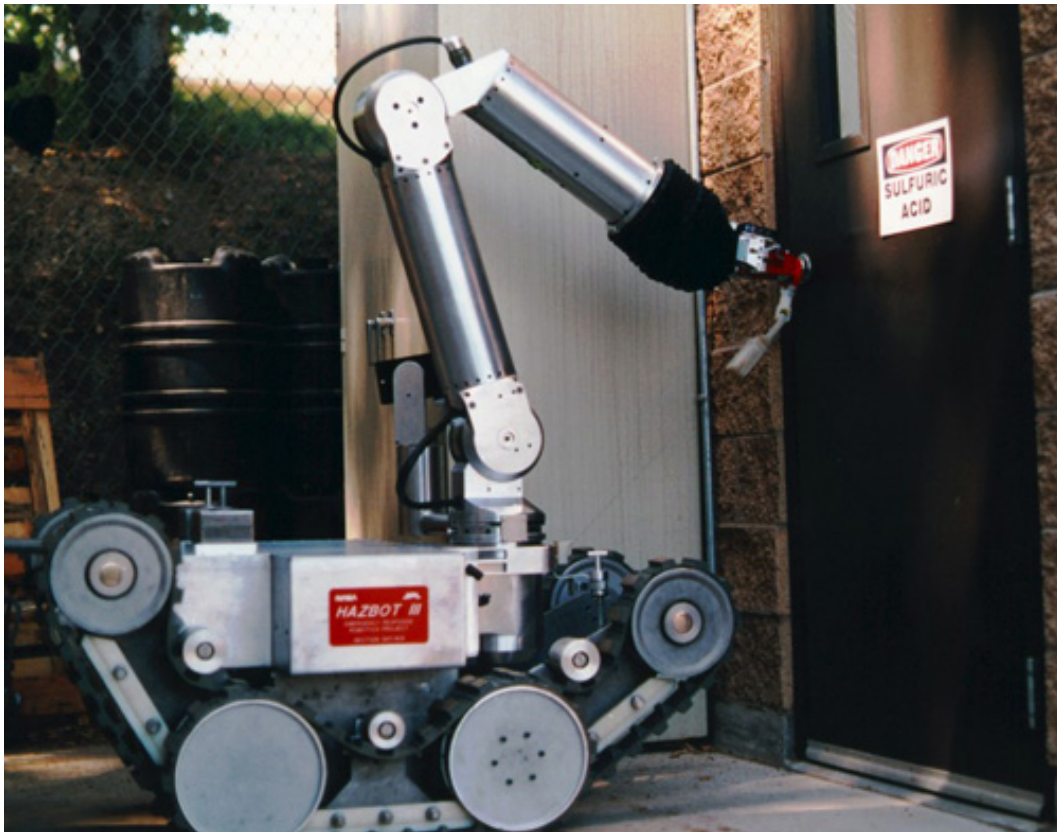
Eole (engin d'observation et de localisation dans l'environnement) mesurant un mètre de long et 70 cm de large, et Eros (engin robotisé d'observation et de surveillance), un mètre de long et 45 cm de large.

Conçus pour résister à un niveau de radioactivité très élevé, les robots d'intervention d'urgence permettent d'intervenir sur une centrale en cas d'accident nucléaire. En France leur gestion est assurée par l'Intra, un organisme cofinancé par EDF, le CEA et Areva.

Les robots d'urgence permettent d'intervenir sur une centrale nucléaire suite à un accident nucléaire afin d'éviter les interventions humaines sur un terrain à très forte radioactivité. Il s'agit de robots sur chenilles spécialement conçus pour résister à un environnement radioactif.

Exemple d'engin d'intervention extérieure

Erase (engin de reconnaissance assistance surveillance extérieure) : cet engin de plus 6 tonnes, télécommandé par radio, peut intervenir à l'extérieur pour mesurer la radioactivité, récupérer des débris, effectuer des prélèvements...



Hazbot III est un autre type engin/robot commandé à distance pour intervention en environnement hostile/dangereux pour l'homme

Crédit : NASA/JPL-Caltech

FICHES VARIABLES

> CONTEXTE

> OFFRE

> DEMANDE

Évolution démographique générale Vieillesse (tendance lourde)

Agnès AUBLET-CUVELIER, INRS.

Définitions

Évolution démographique : elle désigne l'analyse qualitative et quantitative des variations dans le temps et dans l'espace de l'âge de l'ensemble de la population d'un territoire donné, à partir de caractéristiques telles que la natalité, la fécondité, la mortalité et la migration.

Sous le vocable « évolution démographique générale » est désignée l'évolution démographique de la population générale, celle de la population active étant traitée par ailleurs. Dans la présente fiche, le regard sur cette évolution démographique portera sur la situation internationale, européenne et française, en présentant les tendances lourdes. Les informations contenues dans cette fiche sont principalement issues des données de l'Onu, d'Eurostat et de l'Insee.

Contexte mondial

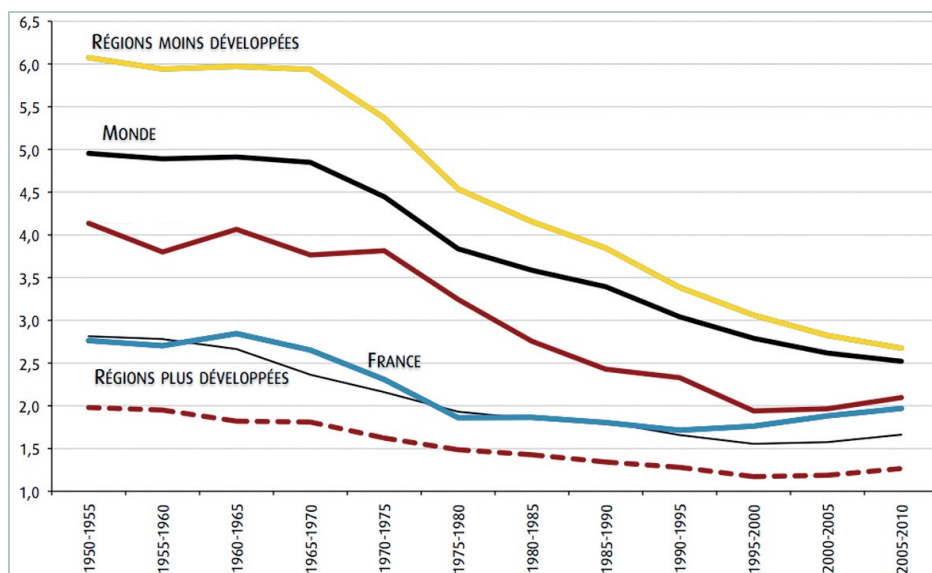
Croissance démographique mondiale ralentie

La population mondiale croît rapidement, d'environ 80 millions d'habitants chaque année. Elle a été multipliée par sept au cours des deux derniers siècles. Elle a pratiquement quadruplé au 20^e siècle, passant de 1,6 milliards en 1900 à 6 milliards d'habitants en 1999. Le seuil des 7 milliards d'habitants a été dépassé courant 2011 ; celui des 8 milliards le serait vers 2025. La croissance démographique a atteint un maximum de + 2 % par an il y a cinquante ans pour décélérer ensuite, tout en demeurant à un niveau élevé : + 1,1 % entre 2010 et 2011. Cette décélération devrait se poursuivre jusqu'à la quasi-stabilisation de la population mondiale dans un siècle autour de 10 milliards d'habitants.

Baisse de la fécondité contrastée selon les régions

La fécondité mondiale, mesurée par l'indice conjoncturel de fécondité (somme des taux de fécondité par âge observés une année donnée), n'est plus que de 2,5 enfants en

moyenne par femme, soit deux fois moins qu'en 1950 (5 enfants). Cette évolution revêt toutefois de grandes disparités selon les régions du monde. Ainsi, à titre d'exemple, l'indicateur de fécondité conjoncturelle s'établit en Afrique à 4,4 enfants en moyenne par femme en 2011 contre 1,6 en Europe.



Évolution de l'indicateur conjoncturel de fécondité par grandes régions du monde

Source : ONU 2011 - Perspectives 2020-2030

Accroissement de la durée de vie

Depuis les années 50, la durée de vie sur terre s'est accrue de 40 %, passant de 47 à 66 ans pour les hommes et de 49 à 70 ans pour les femmes. Les perspectives d'évolution sont en faveur d'un allongement persistant des durées de vie et d'un resserrement des écarts entre les pays les plus et les moins développés, ceux-ci bénéficiant des progrès des pays les plus avancés, y compris en matière de prévention.

Quid de l'avenir ?

À l'échelle internationale, il semble que le nombre de migrants nets soit en baisse après une forte hausse constatée à la suite de la seconde guerre mondiale et ce, jusqu'à la fin du 20^e siècle. La baisse des migrations internationales est également envisagée sur le long terme.

La croissance démographique a tendance à ralentir avec un accroissement annuel de nouveaux habitants stabilisé autour de 80 millions depuis une dizaine d'années. La population de femmes en âge de procréer augmente mais leur taux de fécondité diminue, ce qui engendre une diminution du nombre de nouveaux-nés annuels. Globalement, le nombre mondial de nouveaux-nés stagne depuis les années 1990, qui marquent la fin du baby-boom qui a suivi la seconde guerre mondiale.

Les projections démographiques prévoient une baisse progressive de l'indicateur de fécondité dans les pays en développement à deux enfants ou moins. En parallèle, le nombre de décès annuels s'accroît au niveau mondial. Cette situation est très contrastée selon les régions. Les pays les plus développés ont une croissance démographique trois fois moindre que la moyenne mondiale.

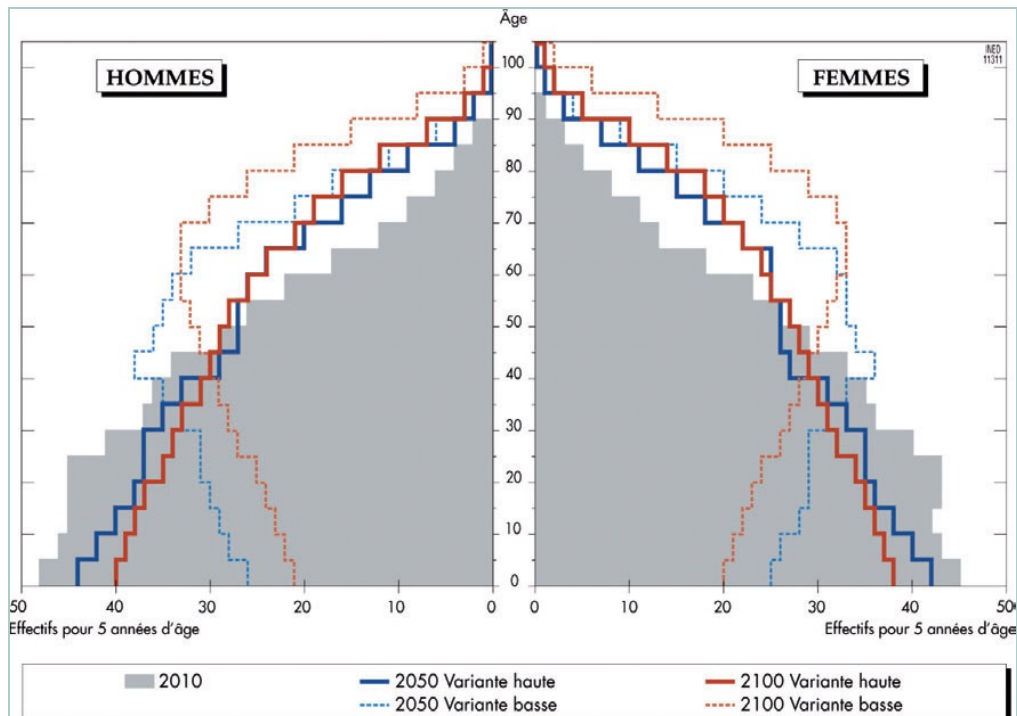
Évolution démographique générale : vieillissement [tendance lourde]

La plus forte croissance de la population devrait s'observer, au cours du 21^e siècle, en Afrique, seul continent qui ne connaîtrait pas de déclin démographique au seuil de 2100. En effet, la population de l'Afrique, Afrique du Nord comprise, pourrait plus que quadrupler en un siècle, passant de 800 millions d'habitants en 2000 à 3,6 milliards en 2100 d'après le scénario moyen des Nations unies.

Selon les projections faites par l'ONU, l'Asie qui représente 60 % des habitants à l'heure actuelle n'en représenterait plus que 40 % à la fin du 21^e siècle, l'Inde surpassant alors la Chine en termes d'effectif de population. L'Europe pourrait alors ne représenter plus que 7 % de la population mondiale.

La population urbaine a été multipliée par 5 au cours des 60 dernières années, soit la moitié de la population mondiale (moins d'un tiers en 1950). Cette poussée urbaine devrait se poursuivre au cours des décennies à venir mais de façon ralentie (les principales motivations étant la recherche d'emplois, de biens et de services spécifiques).

La part des moins de 15 ans qui avait beaucoup augmenté jusqu'au début des années 90 s'est globalement stabilisée depuis. Elle s'est réduite dans les pays les plus développés. La baisse est de 17 % en Europe entre 1950 et 2010. Dans le même temps, le risque de décès diminue à chaque âge au niveau mondial, malgré des disparités régionales. On accède donc plus nombreux à la vieillesse. Ainsi de 1950 à 2010, la croissance de la population de 65 ans et + est 1,5 fois supérieure à celle de la population totale. Cette évolution a un impact potentiel en particulier sur la pérennité à long terme des systèmes publics de protection sociale, sur l'évolution de la population active, sur le devenir de l'offre et de la demande des biens et services et sur les modalités et le fonctionnement de l'économie.



Pyramides des âges comparées de la population mondiale estimée en 2010 et projetée à l'horizon 2050 et 2100 avec deux variantes haute et basse (pour 1000 dans chaque population)

Source : ONU

Évolution de la population générale en France et éléments de comparaison avec l'Europe

Situation démographique actuelle

Au 1er janvier 2013, 65,8 millions de personnes résident en France, en augmentation de 0,47 % entre le 1er janvier 2012 et le 1er janvier 2013, soit environ 300 000 personnes. C'est la plus faible croissance des dix dernières années. Sur les trente dernières années, la population française a progressé de près de 9,7 millions d'habitants, soit une augmentation de 17,3 %. A titre de comparaison, depuis dix ans, la population a diminué de 0,7 % en Allemagne, tandis qu'elle s'est accrue de 6,5 % en France, de 12,1 % en Italie et de 12,5 % au Royaume-Uni. En 2012, la France concentre 13 % de la population de l'Union européenne (UE). Seule l'Allemagne est plus peuplée que la France et héberge 16,2 % des habitants de l'UE. Entre 2025 et 2050, seulement 8 États de l'UE27 dont la France devraient voir leur population augmenter. Tous les autres États de l'UE27 devraient voir leur population diminuer significativement.

En 2012, le solde naturel de la France (différence entre nombre de naissances et nombre de décès au cours de la période considérée) est parmi les plus bas de la décennie (+ 251 000) car les naissances stagnent et les décès sont particulièrement nombreux (571 000 décès).

L'indicateur conjoncturel de fécondité (ICF) s'établit en 2012 à 2,01 enfants par femme. Il se maintient à plus de 2 depuis 2008, après avoir largement progressé depuis 2002. Seule l'Irlande a un ICF plus élevé que celui de la France avec 2,05 enfants par femme (2,05 constituant le seuil de renouvellement des générations).

L'espérance de vie à la naissance (durée de vie moyenne d'une génération fictive qui connaîtrait tout au long de son existence les conditions de mortalité par âge de l'année considérée) n'augmente pas, du fait du grand nombre de décès survenus dans l'année. Elle stagne pour les hommes (78,4 ans) et diminue même de 0,2 point pour les femmes (84,8 ans). Depuis 1994, l'écart d'espérance de vie entre les hommes et les femmes s'est réduit, passant de 8,2 à 6,4 années, la même tendance étant observée dans presque toute l'Europe.

Ralentissement du solde migratoire

Le solde migratoire de la France (différence entre le nombre de personnes qui sont entrées sur le territoire et le nombre de personnes qui en sont sorties au cours d'une période) est relativement faible en 2012 (+ 54 000). Jusqu'en 2006, la conjugaison de soldes naturels élevés et de soldes migratoires atteignant 100 000 personnes permettait une croissance un peu plus importante. L'Union Européenne fait part dans ses projections d'une progression de 1,043 million en 2010 à 1,333 million en 2020. Ces projections ne peuvent tenir compte des migrations forcées liées à des événements de type guerre, catastrophe naturelle, etc. En fonction des estimations basses et hautes de la fécondité, la baisse de la population de l'Union Européenne pourrait intervenir entre 2015 et 2045, déclinant à moins d'1 million en 2060.

Vieillesse de la population générale...

Au 1^{er} janvier 2013, la France compte 17,5 % d'habitants âgés d'au moins 65 ans, soit 1,4 point de plus qu'en 2003. Près d'un habitant sur dix a au moins 75 ans. L'allongement de la durée de la vie et l'avancée en âge des générations du baby-boom sont les principaux

facteurs de ce vieillissement. Dans les pays de l'Union européenne, entre les 1ers janvier 2001 et 2011, la part des habitants de 65 ans ou plus a progressé de 1,7 point, contre 0,8 point en France. Le Luxembourg, l'Espagne et l'Irlande sont les seuls pays dont la part des 65 ans ou plus n'a pas augmenté. En France, sur cette même période, grâce à une natalité importante, la part des habitants de moins de 15 ans n'a diminué que de 0,5 point contre 1,4 point dans l'Union européenne.

...et de la population active

En France, comme dans la plupart des pays européens, la population active vieillit du fait principalement des évolutions démographiques (augmentation de l'espérance de vie, conséquence du baby-boom, baisse de la fécondité depuis le début des années 70) et socio-économiques (entrée tardive des jeunes dans le monde du travail du fait d'études plus longues ou de périodes de chômage, départ de plus en plus tard des salariés âgés). Selon certaines projections, la part des quinquagénaires et sexagénaires dans la population active devrait encore progresser pendant les 15 prochaines années. Or, le taux d'emploi actuel des 55-64 ans en France est de 38 %, soit le plus bas des pays européens.

Conséquences prévisibles du vieillissement démographique

A court terme, l'incidence majeure du vieillissement démographique est un accroissement marqué du ratio ou taux de dépendance (ratio du nombre de retraités par rapport au nombre d'actifs). Dans ce contexte, le taux de dépendance des personnes âgées devrait dépasser les 50 % pour l'UE25 d'ici 2045, ce qui signifie que pour chaque retraité, il y aura moins de deux personnes actives. Cette situation pourrait notamment mettre en péril les systèmes publics de sécurité sociale. A plus long terme, le vieillissement de la population devrait engendrer, à flux migratoires constants, une diminution, toutefois limitée, du nombre des actifs et une répartition différente des besoins. Cette situation pourrait accroître les difficultés de recrutement auxquelles sont déjà confrontés certains métiers et en créer de nouvelles, notamment pour les biens et services fortement consommés par les seniors. Les secteurs les plus concernés sont les métiers de la santé, l'agriculture, le bâtiment, l'hôtellerie - restauration et les services aux particuliers proposant des emplois peu qualifiés.

Hypothèse

A l'horizon 2030, la tendance lourde est le vieillissement inexorable de la population française et européenne, avec un accroissement marqué du taux de dépendance, une diminution du nombre des actifs et leur vieillissement démographique, s'accompagnant de difficultés de recrutement dans certains secteurs d'activité.

Bibliographie

- BELLAMY V, BEAUMEL C. Bilan démographique 2012. La population croît, mais plus modérément. INSEE première N° 1429 – jan. 2013, 4p
- BENALLAH S. Connaissance de l'emploi : une projection de l'âge de départ à la retraite en 2020. Le 4 pages du CEE, n°61, jan. 2009
- BOISSARD S. Rapport : besoins de main d'œuvre et politique migratoire. Centre d'analyse stratégique, oct. 2006. 143 p.
- ERHEL C., GUERGOAT-LARIVIÈRE M. La mobilité de la main-d'oeuvre en Europe : le rôle des caractéristiques individuelles et de l'hétérogénéité entre pays. Document de travail n° 130. Centre d'études de l'emploi, 2010. 35p
- FILATRIAU O. Projections à l'horizon 2060 Des actifs plus nombreux et plus âgés. INSEE première n° 1345 - avr 2011, 4p
- PICART C. Flux d'emploi et de main-d'œuvre en France : un réexamen. Economie et statistique n° 412, 2008. p27-56
- QUINTIN O et al. Le travail et l'emploi dans vingt ans. 5 questions, 2 scénarios, 4 propositions. Centred'analyse stratégique. La Note de Synthèse n°231, juil 2011, 12p
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013). *World Population Prospects: The 2012 Revision*,: "World Population to reach 9.6 billion by 2050 with most growth in developing regions, especially Africa. *Press Release* (13 June 2013)
http://esa.un.org/unpd/wpp/Documentation/pdf/WPP2012_Press_Release.pdf
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, . Population Ageing and Development. 2012
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2011). *World Population 2010 (Wall Chart)*. ST/ESA/SER.A/307

Démographie de la main d'œuvre

Annie DUSSUET, université de Nantes.

Définition et indicateurs

Définition précise

Cette variable, essentiellement quantitative, a pour objet la description de la main d'œuvre, c'est-à-dire la population disponible pour occuper un emploi, considérant qu'une main d'œuvre abondante, et de ce fait plutôt bon marché, constitue plutôt un facteur dissuasif à l'utilisation de robots d'assistance physique. A l'inverse une population active en stagnation ou même en diminution, ou bien encore jugée fragile du fait de son vieillissement, pourrait conduire à investir dans des robots constituant une main d'œuvre de substitution (assistance domestique) ou permettant soit d'accroître l'efficacité des travailleurs employés, soit de préserver leur santé.

Cette variable est à analyser à l'échelle du territoire national.

Indicateurs pertinents

La population active¹ semble être la grandeur statistique la plus à même de décrire la variable. Elle inclut en effet les chômeurs et permet, mieux que la seule population active occupée, d'évaluer le total de la population disponible pour occuper un emploi.

Deux niveaux de description peuvent être distingués :

- le volume et le taux de croissance de la population active ;
- les taux d'activité, global et déclinés par sexe et par âge, qui permettent à la fois de caractériser la population et d'évaluer le poids relatif de la population inactive.

Le taux de chômage, qu'on peut caractériser comme la part de la population active sans emploi et à la recherche d'un emploi, complète cette description ; mais il dépend de façon importante des définitions adoptées pour comptabiliser les chômeurs. La définition du BIT, qui minore ce chiffre au profit de la population définie comme en emploi, en excluant

¹ La population active au sens du Bureau international du travail (BIT) regroupe les actifs occupés, qui ont travaillé ne serait-ce qu'une heure au cours de la semaine de référence, et les chômeurs au sens du BIT, qui n'ont pas travaillé au cours de la semaine de référence, qui sont disponibles et à la recherche active d'un emploi (Insee).

toutes les personnes qui ont travaillé, ne serait-ce qu'une heure pendant la semaine de référence, est la plus utilisée aujourd'hui.

Les chiffres disponibles proviennent essentiellement de deux sources, le recensement et l'enquête emploi réalisée par l'Insee, qui ont connu dans les années 2000, il faut le noter, des modifications de procédure entraînant des ruptures dans les séries chronologiques longues.

Rétrospective

Depuis 40 ans, la population active a connu une croissance constante en France métropolitaine : d'un peu plus de 20 millions de personnes actives en 1968, on est passé à un total de plus de 29 millions en 2008, selon les chiffres du recensement² cités par Maruani et Meron (Maruani, Meron, 2012, p. 31). Cette augmentation est essentiellement due à la participation croissante des femmes à l'activité professionnelle, de 7,14 millions d'actives en 1968 à 13,92 millions en 2008, la croissance de la population active masculine ayant été beaucoup plus faible, de 13,55 à 15,25 millions. Le solde migratoire a joué un rôle mineur dans cette évolution.

L'observation des taux d'activité par sexe et par âge permet de l'expliquer. Le taux d'activité des femmes de 15 ans et plus est passé de 36,1 % en 1968 à 51,8 % en 2008, tandis que celui des hommes régressait de 78,8 % à 61,9 %. Cela constitue le résultat de deux tendances contradictoires : d'une part les taux d'activité des plus jeunes et des plus âgés ont décliné, tandis que les taux d'activité des 25-49 ans restaient quasi constants pour les hommes et augmentaient fortement pour les femmes, de 40 % à 85 % environ (Maruani et Méron, 2012, p. 65). Dans la période, on est en effet passé progressivement du modèle féminin d'activité professionnelle discontinue caractéristique de la période 1945-1975 à un modèle continu, dans lequel les mères de jeunes enfants restent actives, cumulant ainsi les charges professionnelles et familiales (cf. tableau en annexe), et qui se rapproche du modèle masculin d'activité.

Par ailleurs, les taux d'activité des plus jeunes ont diminué du fait de l'allongement de la période des études jusqu'en 1999 : de 82,6 % en 1968 à 56,9 % en 1999 pour les jeunes hommes de 20 à 24 ans, de 62,3 % à 48,3 % pour les jeunes femmes du même âge ; mais dans les années 2000, cette tendance s'est inversée avec une remontée des taux d'activité à 63,1 % pour les hommes et 54,5 % pour les femmes (Maruani et Méron, 2012, p. 84). Au-delà de la pratique de plus en plus courante des « petits boulots » pour les jeunes destinés à financer les études, il semble qu'il faille voir là la trace d'un changement des modes d'enregistrement de l'activité par la statistique. L'application de la définition du BIT pour la population en emploi (« toute personne ayant travaillé, ne serait-ce qu'une heure au cours de la semaine de référence ») amenant à privilégier l'emploi vis-à-vis des études pour les personnes interrogées.

² Pour décrire les évolutions à long terme, on a privilégié les chiffres du recensement pour lesquels des séries longues sont disponibles, au contraire de ceux de l'enquête emploi. À l'inverse, pour une actualisation aux années les plus récentes, les chiffres de l'enquête emploi sont les seuls disponibles et donnent pour 2011 une population active de seulement 28,4 millions de personnes, dont 14,8 millions d'hommes et 13,6 millions de femmes. Ces écarts importants ne contredisent toutefois pas le sens des évolutions.

Pour les plus âgés, l'évolution est plus complexe, avec des différences marquées entre hommes et femmes. Le taux d'activité des 55-59 ans augmente pour les femmes de 42,3 % en 1968 à 64,6 % en 2008, tandis que celui des hommes diminue de 82,5 % à 72,8 % ; celui des 60-64 ans diminue très fortement pour les hommes de 65,7 % en 1968 à 15,5 % en 1999, un peu moins pour les femmes, qui partent de plus bas, de 32,4 % à 14,2 %, mais pour les hommes de cette même tranche d'âge, le taux remonte ensuite à 25,8 %, comme pour les femmes 22,8 %. La baisse de long terme s'explique par les modifications législatives et réglementaires concernant l'âge de la retraite et les dispositifs de cessation d'activité, mais la remontée des taux dans les années 2000 semble liée autant à des modifications de comportement (plus de chômage des seniors, plus de cumuls emploi-retraite) qu'à des changements concernant les modes d'enregistrement statistique.

Dans les années plus récentes, ces tendances se sont poursuivies à un rythme moins soutenu. La population active a continué à augmenter, mais l'Insee note « *un net ralentissement dans la tendance de hausse observée depuis plusieurs décennies* » (Insee, 2013). Le taux d'activité des femmes continue à augmenter et « *l'écart entre les taux d'activité masculin et féminin, une fois neutralisé l'impact de la structure démographique, continue de se réduire mais reste toujours important : 9 points environ en 2011* ». Concernant les jeunes, globalement, le « *taux d'activité des 15-24 ans baisse en 2011, plus nettement pour les hommes que pour les femmes, atteignant respectivement 41,6 % et 34,9 %* ». Pour les plus âgés, la tendance à la hausse se poursuit : « *la participation croissante des seniors au marché du travail contribue à la hausse de la population active : le taux d'activité des hommes âgés de 55 à 64 ans augmente ainsi de 1,9 point en 2011 et celui des femmes de 1,8 point. Cependant, la contraction de la population des moins de 55 ans, qui constitue la majorité des personnes en âge de travailler (64 %) et le moindre dynamisme de celle des plus de 55 ans compensent en grande partie en 2011 cette hausse des taux d'activité des seniors. La moindre hausse de la population des 55-64 ans constitue une rupture par rapport aux dix années passées qui s'explique par le fait que des générations plus nombreuses sont sorties cette année de la classe d'âge des 15-64 ans* ».

L'évolution de ces taux d'activité semble relativement indépendante du taux de chômage, qui est resté très élevé en France depuis les années 1980.

Prospective

Les tendances du passé peuvent-elles se poursuivre ?

L'Insee prévoit une poursuite de la tendance à la hausse de la population active jusqu'en 2030, avec 30,1 millions de personnes actives et même jusqu'en 2060, atteignant alors 31,2 millions de personnes (Filatriau, 2011) : « *le nombre d'actifs augmenterait encore fortement jusqu'en 2025, pour ensuite se stabiliser avant de repartir légèrement à la hausse à partir de 2035 sous l'effet de la fécondité élevée de ces dernières années* ». Cette hausse serait due en particulier à la hausse de l'activité des plus âgés (55 ans et plus), qui représenteraient alors 17,9 % des actifs, contre 12,5 % en 2010. Le ratio actifs/inactifs de 60 ans et + s'établirait alors à 1,5 contre 2,1 en 2010 et 1,6 en 2040 (Insee, 2013).

Facteurs de ruptures des tendances du passé ?

On peut considérer que la tendance à la remontée de l'activité des seniors se poursuivra, y compris au-delà de 65 ans, avec un taux d'activité des 65-69 ans passant entre 2010 et 2060 de « 3,4 % à 13 % pour les femmes et de 5,5 % à 18 % pour les hommes, essentiellement sous l'effet de la réforme des retraites de 2010 » (Filatriau, 2011), accroissant ainsi le vieillissement de la population active. Les incertitudes concernent donc d'une part les comportements d'activité des femmes, d'autre part ceux des plus jeunes, et enfin la politique migratoire, qui a joué un rôle mineur dans les années récentes, mais pourrait jouer un rôle plus dynamique dans les années à venir.

Concernant les femmes, il semble peu probable qu'un renversement ait lieu, ramenant les mères au foyer, mais une incertitude importante existe sur les modalités d'activité à tous les âges. On peut en particulier s'interroger sur la possible progression de l'activité à temps partiel. Celle-ci pourrait être utilisée par les actifs et actives vieillissantes dans une optique de préservation de leur santé, comme on peut actuellement l'observer chez les salariées de l'aide à domicile (Dussuet, à paraître).

Concernant les jeunes, une remontée forte des taux de l'activité ne semble guère probable, même si la tendance à la baisse de l'activité est stoppée.

C'est donc plutôt à propos de la population migrante et du taux de chômage que des hypothèses alternatives pourraient être construites, dans la mesure où les migrations « jouent à la fois directement et par le biais des descendances une génération après » (Filatriau, 2011) et où un taux de chômage important tend à limiter les marges de négociation de la main d'œuvre concernant les conditions d'emploi et de travail, alors qu'un taux de chômage faible pose directement la question de la préservation des capacités de la main d'œuvre employée.

Hypothèses

Hypothèse 1

Une population active en faible croissance, féminisée et vieillissante, avec un fort taux de chômage.

Hypothèse 2

Une population active en faible croissance, féminisée et vieillissante avec un faible taux de chômage (protection du maintien en activité de la population en adaptant les conditions de travail).

Hypothèse 3

Une population active rajeunissant grâce à l'apport migratoire (disponibilité de main d'œuvre jeune et à bas coût comme alternative à l'adaptation des conditions de travail).

Bibliographie

Filatriau O. Projections à l'horizon 2060 - Des actifs plus nombreux et plus âgés. *Insee Première*, n°1345, 2011.

Insee. Population active. *Tableaux de l'économie française*, pp. 44-45, 2013.

Maruani M., Meron M. *Un siècle de travail des femmes en France*, Paris, Éditions La Découverte, 2012.

Minni C. Emploi et chômage des 55-64 ans en 2011. *Dares Analyses*, n°49, 2012.

Formation professionnelle

Agnès AUBLET-CUVELIER, INRS.

Définitions et contexte

Définitions

Selon l'article L. 900-1 du code du travail, la formation professionnelle tout au long de la vie constitue une obligation nationale. Elle comporte une formation initiale et des formations ultérieures destinées aux adultes et aux jeunes déjà engagés dans la vie active ou qui s'y engagent. Ces formations ultérieures constituent la formation professionnelle continue qui est une obligation légale depuis 1971 ayant pour but d'assurer aux salariés, employés ou demandeurs d'emploi, une formation destinée à conforter, améliorer ou acquérir des connaissances professionnelles (source Insee). Cette définition se distingue de la qualification professionnelle qui, d'après Wikipedia, est la capacité à exercer un métier ou un poste déterminé, acquise soit par une formation ou un enseignement validés par un diplôme décerné par un organisme de formation reconnu, agréé par l'État ou non, soit par l'expérience personnelle ou professionnelle acquise sur le terrain. Enfin, une compétence professionnelle est définie comme une connaissance mobilisable, nécessaire à une activité professionnelle. La compétence nécessite la maîtrise de différentes aptitudes et la faculté à les mobiliser pour résoudre des problèmes.

Contexte

Traditionnellement, le temps d'éducation est fortement concentré en début de vie pour fonder ensuite alors que l'allongement de la durée de vie au travail, l'obsolescence accélérée des savoirs et les impératifs de mobilité professionnelle incitent au développement de la formation tout au long de la vie. L'évolution technologique et la complexification des tâches nécessitent de disposer d'opérateurs de plus en plus qualifiés et capables de mobiliser leurs connaissances pour prendre des initiatives et travailler de façon plus autonome. Les systèmes d'éducation et de formation doivent donc désormais permettre l'acquisition de compétences plus larges et plus approfondies dans des domaines variés, celles-ci étant enrichies par l'expérience professionnelle. Cette évolution conduit à faire émerger la notion de dynamique de compétences, de plus en plus transversales et transférables, par contraste avec le caractère figé des qualifications. Les

compétences de toutes sortes joueraient un rôle majeur dans la croissance économique. Plus la population est formée, plus la croissance économique peut s'appuyer sur des emplois qualifiés, a priori stables et compétitifs.

État des lieux de la formation professionnelle en France et en Europe

Évolution du niveau de formation

Les niveaux de formation ont considérablement augmenté au cours des 30 dernières années, avec un nombre de diplômés du supérieur plus important que celui des non diplômés dans la tranche des 25-34 ans alors que c'est l'inverse pour les 55-64 ans. Les jeunes générations sont, en moyenne, beaucoup plus diplômées que celles de leurs parents. Les femmes ont un niveau supérieur à celui des hommes en matière de diplômes. Toutefois, le niveau de diplôme en France n'est pas exceptionnel, très légèrement supérieur à celui de l'Union européenne (un peu plus de 80 %). La tendance actuelle est à l'élévation générale du niveau de diplôme mais semble ralentir avec un effet palier qui paraît difficile à dépasser.

La part de jeunes sortis sans qualification a considérablement baissé depuis les années 70 mais le pourcentage de jeunes de faible niveau scolaire reste supérieur en France à celui des pays du Nord de l'Europe et des États-Unis. De plus, ceux qui sortent du système éducatif sans diplôme (sortie d'études avant la seconde ou avant la fin d'un CAP ou BEP), soit 17 % des jeunes selon l'enquête Emploi de l'Insee, connaissent des difficultés plus importantes d'accès à un emploi que leurs aînés.¹²³

D'une manière générale, le diplôme est le meilleur rempart contre le chômage à tous les âges, dans un contexte de chômage massif caractérisant la France depuis une trentaine d'années, encore renforcé ces dernières années. Toutefois, l'élévation générale du niveau de qualification (mesuré par les diplômes) entraîne une élévation concomitante du niveau de diplôme nécessaire pour éviter le chômage. La nature des études initiales suivies a un impact fort sur le parcours professionnel et la formation continue bénéficie principalement aux personnes les mieux intégrées dans l'emploi. Ces deux éléments renforcent la tendance à l'accentuation des compétences des plus qualifiés dans un marché du travail qui privilégie la valeur du diplôme.

¹ Jouvenel F. Parant A. Projections d'effectifs d'élèves et d'étudiants, et de stagiaires de la formation continue. In L'éducation et la formation à l'horizon 2025. Paris : Futuribles International, 2011

² Regards sur l'éducation 2012 – Les indicateurs de l'OCDE. Editions OCDE.
<http://dx.doi.org/10.1787/eag-2012-fr>

³ Mazari Z, Recotillet I. Génération 2004 : des débuts de trajectoire durablement marqués par la crise ? Bref du Cereq, n° 311, juin 2013, 4p.

Adéquation entre offre de formation initiale et besoins des entreprises

Il existe une inadéquation partielle entre l'offre de formation et les secteurs créateurs d'emplois. De grandes disparités existent selon les secteurs considérés. Ainsi, les difficultés de recrutement sont nombreuses dans le secteur du BTP, de l'hôtellerie-restauration, de l'aide à domicile. Réciproquement certaines filières d'enseignement accueillent un nombre d'étudiants bien supérieur aux débouchés professionnels attendus. La multiplication des organismes de gestion prévisionnelle des emplois et des compétences vise à pallier cette inadéquation partielle.

Le système éducatif français

Les trois volets du système éducatif

Le système éducatif français comporte trois volets principaux : celui de l'éducation initiale, celui de la formation continue qui repose sur l'obligation des employeurs de participer financièrement à la formation continue des salariés et sur leur temps de travail et enfin celui de l'apprentissage, entre formation initiale et continue, qui permet de préparer des diplômes professionnels et technologiques de l'Éducation nationale. En France, l'offre d'éducation émane principalement de l'État et le rôle des collectivités locales dans le secteur public s'accroît. L'Europe a un rôle d'orientation des politiques d'éducation et de formation et pousse vers l'harmonisation des dispositifs et certifications.

En 2011, en France, la dépense intérieure de l'éducation atteignait 137,4 milliards d'euros, soit 6,9 % du PIB, ce qui correspond à 2110 € par habitant ou 8250 € par étudiant. Cette dépense intérieure a crû légèrement plus vite que la richesse nationale depuis les années 80. Elle a été multipliée par 2,6 dans l'enseignement supérieur entre 1980 et 2011, soit une augmentation de 41,8 % par étudiant, compte tenu du quasi-doublement de l'effectif parvenant au statut d'étudiant dans le même temps. Dans l'enseignement secondaire, la France consacre un montant moyen par élève légèrement supérieur à la moyenne pour l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). En revanche, pour l'enseignement supérieur, elle consacre un montant moyen par étudiant légèrement inférieur à la moyenne. En ce qui concerne la formation professionnelle et l'apprentissage, 42 % des coûts sont assurés par les entreprises, 16 % par l'État et 15 % par les régions en 2008. Environ 25 millions d'utilisateurs bénéficient de la formation continue chaque année. Les dépenses qui y sont consacrées s'élèvent en 2011 à 10 milliards d'euros, soit 9,3 % de la dépense intérieure brute d'éducation⁴.

L'éducation initiale dans l'enseignement supérieur

L'organisation de l'enseignement supérieur est complexe, relevant d'organismes publics et privés. Toutefois, seul l'État peut délivrer des grades/titres universitaires et des diplômes nationaux. On distingue les universités qui allient recherche, conservation et enseignement

⁴ Albriac D et al. 31 indicateurs sur le système éducatif français. L'état de l'École n°22. Ed DEPP. Département de la valorisation et de l'édition. Ministère de l'Éducation nationale, oct 2012, 85p.

et les écoles qui assurent des formations dans des domaines professionnels et qui sont souvent moins orientées sur des problématiques de recherche. En 2011 en France, 2 347 000 étudiants étaient inscrits dans l'enseignement supérieur, avec une augmentation annuelle moyenne de 1,1 % depuis 1999, soutenue notamment par la hausse du nombre d'étudiants étrangers.

Les établissements de l'enseignement supérieur s'organisent en pôles de recherche et d'enseignement supérieur (PRES) depuis la loi du 18 avril 2006 de programme pour la recherche. Les PRES rassemblent dans une logique territoriale des établissements d'enseignement supérieur et des établissements de recherche, afin d'obtenir une masse critique assurant la visibilité et la compétitivité internationale des établissements, de mutualiser les ressources et d'optimiser la gestion des établissements. La loi de 2007⁵ visait l'autonomisation des universités à l'horizon 2012, supposant la maîtrise totale des budgets, emplois et masse salariale. Deux initiatives récentes (opération Campus, investissements d'avenir) prévoyant de financer des « pôles d'excellence » et des « projets thématiques d'excellence » tout en rénovant le parc immobilier universitaire français, visent notamment à renforcer l'autonomisation des universités.

L'organisation de la formation continue

On distingue parmi les bénéficiaires de la formation continue les jeunes de moins de 26 ans, les demandeurs d'emploi et publics en difficulté d'insertion, les salariés du secteur public, les salariés du secteur privé et les non salariés.

La formation professionnelle des salariés est entrée dans le droit du travail en 1971 (lois Delors du 16 juillet 1971), avec une obligation de financement par les employeurs. La loi de 2004⁶ instaure un droit à la formation tout au long de la vie professionnelle. La loi du 24 novembre 2009⁷ rénove le dispositif de formation professionnelle, élargit les missions des organismes paritaires collecteurs agréés (OPCA) et crée un fonds paritaire de sécurisation des parcours professionnels.

Les salariés disposent d'un droit à la formation. Les OPCA collectent une partie des fonds des entreprises, financent les formations, conseillent les entreprises. Les entreprises et la fonction publique financent directement certaines formations. L'État, les régions, et les OPCA financent la formation des demandeurs d'emploi. Les organismes de formation (environ 45 000) dispensent des formations labellisées. Ils relèvent de diverses structures (Éducation nationale, services de formation continue des universités, Conservatoire national des arts et métiers...).

L'organisation de l'apprentissage

L'apprentissage, bien que juridiquement considéré comme une formation initiale, est clairement séparé de l'enseignement scolaire et de la formation continue. Il fait l'objet d'un contrat destiné aux jeunes de 16 à 25 ans, leur accordant un statut de jeune travailleur

⁵ Loi n° 2007-1199 du 10 août 2007 relative aux libertés et responsabilités des universités

⁶ Loi n° 2004-391 du 4 mai 2004 relative à la formation professionnelle tout au long de la vie et au dialogue social

⁷ Loi n° 2009-1437 du 24 novembre 2009 relative à l'orientation et à la formation professionnelle tout au long de la vie

salarié en entreprise, sous la responsabilité d'un maître d'apprentissage. Il est organisé autour de séjours en entreprise en alternance avec des séjours dans un centre de formation d'apprentis (CFA), structures créées en 1966. Environ 1 000 CFA couvrent le territoire national, résultant d'une convention passée avec les régions et/ou l'État, les collectivités locales, chambres de commerce, de métier ou d'agriculture, les entreprises et les établissements d'enseignement public ou privé. Des contrats d'objectifs et de moyens fixent les orientations et les objectifs du développement de l'apprentissage et de l'enseignement pour 3 à 5 ans. En 20 ans, l'effectif d'apprentis a presque doublé, à la suite de réformes successives qui ont progressivement élargi les conditions d'accès à l'apprentissage et permis d'améliorer son image. En 2011, la France comptait 443 000 apprentis, contre 160 000 dans les années 70. Les apprentis sont d'un niveau scolaire de plus en plus élevé et sont de plus en plus âgés. Majoritairement inscrits en CAP et BEP initialement, ils émanent de plus en plus de l'enseignement supérieur, ouvrant accès à l'obtention de baccalauréats ou brevets professionnels, de brevets de technicien supérieur, de diplômes universitaires de technologie, de licences et masters ou encore de diplômes d'ingénieur. Par conséquent, les apprentis de 20 ans et plus sont désormais majoritaires. En revanche, cette filière reste masculine à 70 % ; les 30 % d'apprenties sont à la fois plus âgées et plus qualifiées que leurs homologues masculins. Les filières traditionnelles de l'apprentissage occupent toujours une place importante (bâtiment, restauration, artisanat, coiffure, agriculture...) mais de nouvelles branches tendent à se développer et la part des entreprises de plus de 10 salariés accueillant des apprentis augmente^B. Deux « mondes » de l'apprentissage se côtoient : une formation destinée aux jeunes en situation de rupture scolaire visant l'accès à une première qualification et une formation visant une meilleure adaptation de la main d'œuvre aux besoins des entreprises, sous une forme concurrente de la voie scolaire pour des emplois plus qualifiés.

Perspectives en matière de formation professionnelle

Un monde du travail en mutation

Le système éducatif français doit faire face à des enjeux de différentes natures pour demeurer performant.

L'augmentation de l'activité féminine nécessite de réaménager les métiers pour moins de discrimination hommes/femmes dans un mouvement d'égalisation des conditions de travail et de restructuration des emplois traditionnellement masculins ou féminins.

Le taux élevé du chômage nécessite de concevoir l'enseignement supérieur en tenant compte des sorties en emploi des différentes filières, et de revoir les filières d'enseignements de façon à répondre de manière plus réactive aux besoins des secteurs en tension, ceux où les conditions de travail sont les plus pénibles et ceux où les qualifications sont les plus nécessaires. La lutte contre le chômage passe également par des efforts particuliers pour réduire le nombre de sorties du système éducatif sans

^B Gues P. Histoire de l'apprentissage en France.
<http://patrickgues.wordpress.com/2010/10/01/histoire-de-lapprentissage-en-france>

qualification et par l'adaptation du système de formation professionnelle pour qu'il soit aussi un système de reclassement.

Le vieillissement démographique nécessite quant à lui de repenser le développement de la dimension intergénérationnelle de la transmission des savoirs et d'apporter une attention particulière à l'éducation des jeunes, de moins en moins nombreux et de plus en plus précieux.

Le monde de l'entreprise change. La part des salariés travaillant dans des entreprises de moins de 50 salariés s'accroît (+ 10 points en 10 ans). Cette donnée nécessite une réflexion sur la répartition de l'offre de formation continue (plus utilisée par les grandes entreprises que par les petites) et son mode de financement, actuellement différencié selon la taille des entreprises.

Les mobilités sont plus fréquentes, en particulier chez les plus jeunes et la fidélité à l'entreprise est moindre, ce qui peut devenir un handicap pour les employeurs. Ces évolutions nécessitent de donner des compétences de base dès le plus jeune âge pour évoluer dans une société plus mobile, plus flexible.

Devenir de l'enseignement supérieur

On constate une expansion globale des effectifs étudiants dans le monde. La projection des effectifs étudiants dans l'enseignement supérieur est en croissance jusqu'en 2025. Toutefois, la tendance globale à la croissance des effectifs étudiants est contrastée selon les pays. Ainsi, en Europe, les pays ayant une marge de progression faible verront plutôt une décroissance à l'horizon 2030 (Belgique, Luxembourg...). D'autres plus sensibles (dont l'Allemagne) verront leur taux augmenter de façon importante. D'autres enfin, dont la France, auront une croissance modérée, voire négative. La diversification des publics au delà de la tranche d'âge des 18-24 ans (actifs, personnes en recherche d'emploi, les seniors...) pourra renforcer l'augmentation de la population étudiante.

Une des conséquences de l'augmentation des effectifs étudiants est l'augmentation des dépenses, notamment publiques, ainsi qu'une diversification des ressources avec une participation accrue des ressources privées pour le financement des établissements de l'enseignement supérieur. La croissance des effectifs étudiants entraînera une augmentation du recrutement des enseignants, leur diversification et vraisemblablement une réactivité accrue aux changements sociaux et académiques. L'augmentation du nombre de scientifiques et d'ingénieurs dans les pays à faible revenu comme la Chine et l'Inde conduit à penser que le monde de l'excellence scientifique sera à l'avenir plus polycentrique. On peut s'attendre à une intensification de la concurrence entre pays et établissements pour le recrutement d'étudiants étrangers de qualité. Des stratégies marketing se mettent d'ailleurs en place dans certains pays pour développer ce recrutement, notamment au Royaume-Uni. L'internationalisation de l'enseignement supérieur et de la recherche s'observe depuis plusieurs années et est appelée à monter en puissance avec la mobilité accrue des étudiants à l'international (+ 77 % depuis 2000 dans le monde). Ce sont les pays de l'Union européenne qui accueillent le plus grand nombre d'étudiants étrangers (38 % de l'effectif mondial). Le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'adoption de l'anglais comme langue d'enseignement dans les pays non anglophones (Nord de l'Europe notamment), l'harmonisation des cursus et des diplômes permettant leur reconnaissance mutuelle et la mobilité des programmes et des établissements accroissent encore ce phénomène. Cette tendance à l'augmentation de la mobilité internationale pourrait s'accroître avec les

besoins de remplacement des enseignants, la désaffection de certaines disciplines scientifiques, l'intensification de la coopération scientifique en Europe et dans le monde, l'augmentation des dépenses dans le champ de la recherche et de l'enseignement. Cette tendance pourrait aussi s'inverser du fait d'un contexte économique défavorable et de crises sociales ou politiques.

En France, la reconfiguration de l'enseignement supérieur liée à la création de PRES devrait favoriser la montée en puissance d'une recherche plus ouverte sur le monde socio-économique tout en encourageant le renouvellement de l'offre de formation dans une logique transdisciplinaire. À l'inverse, l'échec des PRES pourrait être lié à un engagement insuffisant des collectivités territoriales, à des conflits entre les membres, au renforcement d'inégalités entre les établissements ou à la poursuite d'objectifs contradictoires avec une mise en concurrence qui s'avérerait délétère pour les structures elles-mêmes et pour le développement de logiques de coopération.

Évolution de la formation continue

L'accès des salariés à la formation professionnelle a quadruplé en près de 40 ans. Toutefois, certaines faiblesses du système de formation continue ont été soulignées à plusieurs reprises depuis sa création en 1971 (loi du 16 juillet 1971). Elles concernent principalement sa sous-utilisation pour sécuriser les parcours professionnels et les inégalités d'accès concernant en particulier les salariés peu qualifiés, les salariés des TPE-PME et les demandeurs d'emploi. Le manque de régulation de l'offre de formation, les difficultés de gouvernance et la complexité de son financement compliquent la gestion de ces difficultés. La réforme intervenue en 2009 (accord national interprofessionnel (ANI) et loi du 24 novembre 2009) tend à pallier ces difficultés. Elle vise également à en faire un outil contribuant plus significativement à la sécurisation des parcours professionnels. Fin 2011, le Conseil économique, social et environnemental (CESE)⁹ a formulé 24 recommandations pour poursuivre l'amélioration du dispositif, regroupées en 4 objectifs principaux :

- mieux articuler formation initiale et continue dans une logique de parcours de formation, en renforçant notamment les liens entre le système éducatif et le monde du travail, en promouvant les formations en alternance et en renforçant le rôle des universités dans la formation continue ;
- accroître la qualité et l'efficacité du système de formation professionnelle en améliorant notamment son accès aux salariés des petites et moyennes entreprises, en affichant clairement la qualité des organismes de formation auprès des utilisateurs, en adaptant le système aux évolutions économiques et sociales et à l'environnement européen ;
- mieux utiliser la formation professionnelle comme moyen de sécuriser les parcours professionnels, en particulier pour les demandeurs d'emploi, les chômeurs de longue durée ou les personnes en situation de chômage partiel ;
- renforcer la gouvernance et le pilotage stratégique de la formation professionnelle en clarifiant notamment les responsabilités qui incombent à l'État, aux régions et aux partenaires sociaux et en se dotant de moyens d'évaluation.

⁹ Urieta Y. 40 ans de formation professionnelle. Bilan et perspectives. CESE – Éditions des Journaux officiels, décembre 2011

À la suite de la réforme de 2009, l'évolution de la formation continue s'est poursuivie lentement et tend toujours vers une amélioration des points sensibles. L'ANI du 11 janvier 2013¹⁰ va dans le même sens que les précédentes réformes avec l'ambition de préserver et développer l'emploi et de réduire sa précarité, notamment au moyen de la formation continue. De façon à sécuriser les parcours professionnels, il prévoit entre autres une meilleure articulation de la négociation sur la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences et du plan de formation. La loi n° 2013-504 du 14 juin 2013 relative à la sécurisation de l'emploi s'inscrit dans la continuité de ces dispositions.

Développement de l'apprentissage

En 20 ans, le nombre total d'apprentis a presque doublé. Il était de 426 300 en 2010-2011¹¹. Parmi les évolutions constatées au cours des dernières années, la hausse du niveau de formation des apprentis est la plus marquante, avec une part croissante d'apprentis visant l'obtention d'un diplôme ou d'un titre de l'enseignement supérieur (15 % en 2009). La Dares a réalisé en 2007 une étude comparative à partir des données de l'enquête Génération 2004 du Céreq. Les résultats montrent que trois ans après leur sortie de formation, les personnes issues d'un apprentissage sont plus souvent en emploi salarié, depuis plus longtemps, avec un accès plus facile à des contrats à durée indéterminée, à temps complet et avec un salaire plus élevé que celles issues d'une formation équivalente (classe et spécialité) mais n'ayant pas suivi de cursus d'apprentissage¹². L'évolution de la formation par l'apprentissage, influencée par l'émergence de lois successives et par l'amélioration de son image, a permis de rendre ce mode de formation de plus en plus attractif, à la fois pour les candidats à l'apprentissage et pour les entreprises « employeurs ». Ces modalités de formation concernent de plus en plus des activités de service, en particulier dans le domaine des échanges et de la gestion, même si les secteurs traditionnels persistent et répondent aux besoins des entreprises.

Les perspectives concernant l'apprentissage sont très dépendantes des modalités de financement dévolues à l'État, aux régions et aux employeurs.

Hypothèses

Hypothèse 1 (tendancielle)

Maintien des efforts de formation, en particulier en matière de formation initiale, avec des niveaux de qualification équivalents au niveau actuel, dans un contexte d'amélioration de l'adéquation de l'offre de formation aux besoins des secteurs d'activité.

¹⁰ ANI du 13 janvier 2013 pour un nouveau modèle économique et social au service de la compétitivité des entreprises et de la sécurisation de l'emploi et des parcours professionnels des salariés

¹¹ Albriac D et al. 31 indicateurs sur le système éducatif français. L'état de l'École n°22. Éd DEPP. Département de la valorisation et de l'édition. Ministère de l'Éducation nationale, octobre 2012, 85p

¹² Abriac D., Rathelot R., Sanchez R. L'apprentissage, entre formation et insertion professionnelles. Formations et Emploi. DARES, 200

Hypothèse 2

Dégradation du système éducatif et de l'offre de formation continue liée à une paupérisation du budget de l'État et des entreprises et à l'incapacité du système éducatif français à se réformer, se traduisant notamment par l'inadéquation persistante entre les qualifications proposées et les besoins des secteurs d'activité. Cette situation met en péril à terme le maintien d'une dynamique de recherche et développement publique et privée et aggrave le déclin de la dynamique économique.

Hypothèse 3

Politique de développement massif de la formation tout au long de la vie, permettant aux jeunes d'accroître leur niveau de qualification initial et de bénéficier du développement de pôles universitaires d'excellence, de diversifier leurs compétences et de les adapter aux besoins des secteurs d'activité, et aux plus âgés de s'adapter tout au long de leur parcours professionnel à la diversification nécessaire des compétences et aux évolutions technologiques dans un contexte d'évolution rapide des modes de production et des nouvelles technologies. Cette situation dynamise le secteur économique et favorise l'essor de la recherche et développement dans les secteurs public et privé.

Politiques de l'emploi

Annie DUSSUET, université de Nantes.

Définition et indicateurs

Définition précise

Cette variable est plutôt d'ordre qualitatif. Elle retrace les orientations impulsées par les pouvoirs publics en matière de modalités d'emploi et de fonctionnement du marché du travail. Globalement, ces orientations peuvent être qualifiées comme « poursuite de la dérégulation » vs « re-régulation » de l'emploi.

Celles-ci se traduisent en particulier dans les règles incluses dans le code du travail, pour l'emploi salarié, mais elles sont observables également dans la proportion respective qu'occupent dans la population active l'emploi salarié et le travail indépendant.

Indicateurs pertinents

Ce sont plutôt les conséquences des politiques d'emploi qui peuvent être mesurées à travers des indicateurs qui décrivent la plus ou moins grande influence de la réglementation dans les formes d'emploi observées et la part du salariat.

Par exemple :

- part de l'emploi salarié, du travail indépendant, et au sein de ce dernier des formes les moins régulées : auto-entrepreneurs par exemple,
- part des différentes formes de contrat de travail : pourcentage de CDI/CDD, de temps partiel, de contrats d'intérim, de stages.

De façon moins directement quantifiable, l'évolution du droit du travail ainsi que la forme et le contenu des négociations collectives constituent aussi des indicateurs intéressants pour caractériser cette variable.

Rétrospective

Depuis les années 1980, et quelles que soient les orientations politiques des gouvernants, la tendance est à la dérégulation de l'emploi.

Après la constitution d'une norme d'emploi « fordiste » - CDI à temps plein avec un seul employeur et accompagné d'une protection sociale importante – de la fin du XIXe siècle jusqu'aux années 1970, et sous la pression de la montée du chômage, les politiques menées ont eu essentiellement un objectif quantitatif d'augmentation de l'emploi. L'État s'est mis en retrait dans la définition des règles collectives, afin de libéraliser et flexibiliser les marchés du travail et ainsi, espérait-on, favoriser la croissance de l'emploi. La conséquence en est le développement de formes d'emploi précaires (Paugam, 2000), soit du fait de contrats de travail à durée limitée (CDD, intérim), soit du fait de la faible durée travaillée (contrats à temps partiel) induisant des revenus faibles, souvent inférieurs au SMIC, et ne permettant pas à leurs titulaires de dépasser le seuil de pauvreté. Au sein même de la population en emploi, on a ainsi assisté à l'apparition d'un « précarariat » (Castel, 1995), c'est-à-dire une population dont la situation d'insécurité professionnelle ne lui permet pas de participer pleinement à la société de consommation. Robert Castel l'a analysé comme la « *constitution d'une nouvelle strate de la division du travail qui serait en deçà du salariat à proprement parler, si l'on entend par salariat une forme stable d'emploi sous forme de contrat à durée indéterminée. Or, il existe de plus en plus d'activités qui ne sont pas des emplois au sens fort du mot, mais qui se caractérisent par l'intermittence, par l'alternance de périodes d'activité et de non-activité. Cette strate infra-salariale est une sorte de nouveau régime de l'organisation du travail qui introduit une précarité permanente* » (Castel, 2009).

Cette évolution peut être interprétée comme une des conséquences des changements du modèle productif (déclin des industries lourdes et montée des services) et sociétal (remise en cause de la consommation de masse), ainsi que de la mondialisation de l'économie (délocalisations...). La « flexibilité » de l'emploi est apparue comme indispensable aux entreprises pour leur permettre de s'adapter à ce nouveau contexte. Elles ont poussé les gouvernements successifs à revenir sur les règles adoptées au cours de l'industrialisation sous la pression du mouvement ouvrier, pour limiter le pouvoir patronal en compensant « *la subordination par l'attribution de droits attachés à la seule qualité de salarié* » (Supiot, p137), dans la définition des formes de l'emploi.

Depuis les années 1970, se sont ainsi succédés des textes (lois, ordonnances, accords collectifs...) autorisant le recours au temps partiel, au CDD, au travail intérimaire, d'abord avec un encadrement très strict, puis en encourageant au contraire le développement de ces formes d'emploi.

La part des CDD a augmenté pour représenter un peu moins de 8,5 % de la population active en emploi en 2010, ainsi que celle des intérimaires (1,8 % des emplois en 2010) et des salariés à temps partiel (17,8 % des emplois en 2010). Ces derniers sont essentiellement des femmes, et une part importante d'entre elles (8 % en 2010) est en situation de temps partiel subi, et donc de sous-emploi au sens du BIT (elles souhaiteraient travailler plus et étaient disponibles pour le faire la semaine précédant l'enquête).

| | 15-24 ans | 25-49 ans | 50 ans ou plus | Ensemble des 15 ans ou plus |
|--|--------------|---------------|----------------|-----------------------------|
| Non salariés | 2,4 | 10,6 | 16,9 | 11,5 |
| Salariés | 97,6 | 89,4 | 83,1 | 88,5 |
| Intérimaires | 5,9 | 1,7 | 0,7 | 1,8 |
| Apprentis | 15,0 | 0,1 | 0,0 | 1,4 |
| Contrats à durée déterminée ¹ | 27,8 | 7,5 | 4,6 | 8,5 |
| Contrats à durée indéterminée ² | 48,9 | 80,1 | 77,8 | 76,8 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Emploi total (en milliers) | 2 255 | 16 786 | 6 651 | 25 692 |

1. Y compris les emplois aidés.
2. Y compris les emplois aidés, les salariés sans contrat, ainsi que les fonctionnaires stagiaires et les titulaires du secteur public.
Champ : France métropolitaine, population des ménages, personnes en emploi de 15 ans ou plus (âge courant).
Source : Insee, enquêtes Emploi.

| | Hommes | Femmes | Ensemble |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Actifs occupés (en milliers) | 13 488 | 12 203 | 25 691 |
| Actifs à temps complet | 93,3 | 69,9 | 82,2 |
| Actifs à temps partiel ¹ | 6,7 | 30,1 | 17,8 |
| dont : moins de 15 heures | 1,1 | 4,3 | 2,6 |
| de 15 à 29 heures | 3,4 | 16,0 | 9,4 |
| 30 heures ou plus | 1,5 | 8,8 | 5,0 |
| non renseigné | 0,7 | 1,0 | 0,8 |

1. Y compris les personnes n'ayant pas déclaré d'horaires habituels.
Note : taux calculés par rapport à l'ensemble des actifs occupés.
Lecture : en moyenne en 2010, 16,0 % des femmes ayant un emploi travaillent à temps partiel entre 15 et 29 heures par semaine.
Champ : France métropolitaine, population des ménages, personnes en emploi de 15 ans ou plus (âge courant).
Source : Insee, enquêtes Emploi.

Source : Tableaux de l'économie française, 2013 (Insee)

Les années 2000 ont aussi vu se renverser la tendance séculaire à la diminution de l'emploi non salarié : « après un recul continu des effectifs, les années 2000 marquent une reprise de l'emploi pour les non-salariés, leur nombre progressant de 9,4 % sur la période 2003-2010. [Il est en particulier] porté depuis janvier 2009 par l'essor du régime de l'auto-entreprenariat. » (Insee, 2013, p. 102). Cette montée des auto-entrepreneurs est le résultat d'une politique publique d'encouragement à la création d'entreprise en direction des chômeurs en particulier.

Enfin, les politiques développées depuis la fin des années 1980 pour favoriser la création d'emploi de services à domicile, dont le dernier avatar est constitué par les deux plans Borloo de développement des services à la personne ont favorisé la croissance de l'emploi direct par des particuliers employeurs, ce qui représente une forme d'emploi peu régulée par les pouvoirs publics (nombreuses dérogations aux dispositions communes du droit du travail concernant l'établissement du contrat, la comptabilisation du temps de travail et le suivi de la santé au travail en particulier) et par les partenaires sociaux (faible syndicalisation). Cette tendance représentait aussi une rupture vis-à-vis de la tendance observée depuis le début du XX^{ème} siècle à la diminution de l'emploi domestique : de 1 million de personnes en 1901 à 200 000 en 1980, le nombre d'employées de maison serait remonté à environ 400 000 en 2008 (Devetter et Rousseau, 2011).

Prospective

Les tendances du passé peuvent-elles se poursuivre ?

La tendance à la dérégulation semble devoir se poursuivre tant que la situation de l'emploi ne s'améliorera pas, les règles de protection du salarié autour du contrat de travail apparaissant comme dissuasives à l'embauche. La loi actuellement en discussion qui doit transcrire dans le droit les dispositions prévues par l'accord national interprofessionnel (ANI) est difficile à interpréter à cet égard puisqu'elle est à la fois présentée par ses promoteurs comme une rupture en permettant une sécurisation des parcours professionnels, et par ses détracteurs, comme la continuation d'une dérégulation et d'un « détricotage » du droit du travail (Filoche, 2013).

Facteurs de ruptures des tendances du passé ?

Les ruptures ici ne peuvent être que d'ordre politique, avec une volonté forte d'orienter différemment l'activité économique en renforçant la protection des salariés. Cela supposerait un poids beaucoup plus important des syndicats de salariés, permettant d'établir un rapport de force plus favorable à ces derniers. Ces ruptures apparaissent peu probables étant donné le contexte international et particulièrement la pression à la libéralisation des marchés du travail exercée dans le cadre européen.

On peut malgré tout imaginer aussi que les populations salariées des pays émergents parviennent à imposer une meilleure qualité de leurs emplois et que cette amélioration rende possible le maintien d'un standard élevé des conditions d'emploi dans les pays actuellement développés comme la France.

Hypothèses

Hypothèse 1. Dérégulation totale de l'emploi

Une dérégulation totale de l'emploi – les règles seraient alors le résultat de négociations individuelles entre employeur et employé (avec un droit du travail très limité) – pourrait s'accompagner d'une montée accélérée du travail indépendant sous forme d'auto-emploi (*self employment*).

Cela aboutirait à la création de nombreux emplois mal protégés, mais aussi peu coûteux, pour lesquels l'équipement en RAP apparaîtrait superflu. Cet équipement pourrait peut-être par contre être recherché par des travailleurs indépendants.

Hypothèse 2. Re-régulation

A l'inverse, une re-régulation de l'emploi permettant par quelque moyen que ce soit (limitation du recours au CDD, à l'intérim, au temps partiel, législation du travail plus protectrice, sécurité sociale attachée au travailleur) d'améliorer la qualité des emplois.

Elle se traduirait par une augmentation du coût du travail et pousserait à un recours massif aux RAP.

Hypothèse 3. intermédiaire (tendancielle). Dérégulation accrue de l'emploi

Une troisième hypothèse, intermédiaire, peut être envisagée, résultat des hésitations de politiques d'emploi tantôt protectrices, tantôt d'inspiration libérale. On assisterait alors à une dérégulation accrue de l'emploi – avec une forte annualisation du temps de travail, une extension du temps partiel non choisi, et une disponibilité imposée accrue pour les salariés. Elle pourrait coexister avec des formes d'emplois qualifiés plus régulées pour certaines catégories de travailleurs ayant réussi à établir un rapport de force en leur faveur à partir de qualifications rares et recherchées par exemple.

L'investissement en RAP serait dans cette hypothèse limité à ces secteurs où les travailleurs seraient mieux protégés, ou bien à ceux où ils apparaîtraient soit plus vulnérables, soit plus chers (hautes qualifications nécessitant une formation longue et coûteuse).

Bibliographie

- Castel, R. Les métamorphoses de la question sociale : une chronique du salariat, Paris, Fayard, 1995.
- Castel R. "Les ambiguïtés de l'intervention sociale face à la montée des incertitudes", Informations sociales, 2009 , n° 152, pp. 24-29.
- Devetter, F.-X. et S. Rousseau. Du balai. Essai sur le ménage à domicile et le retour de la domesticité. Paris, Raisons d'agir, 2011.
- Insee. Tableaux de l'économie française. 2013.
- Paugam, S. Le salarié de la précarité. Paris, Presses universitaires de France, 2000.
- Supiot, A. Critique du droit du travail. Paris, Presses universitaires de France, 1994.

La nature des activités productives en France

Élodie FALCONNET, Cetim.

Définition

La France est la sixième puissance économique mondiale et la troisième puissance économique européenne. Avec moins de 1 % de la population mondiale, elle produit un peu plus de 6 % de la richesse mondiale. Elle doit principalement son rang aux compétences de sa population active, mais aussi à la mise en valeur de son territoire.

Ces capacités productives sont réparties de manière inégale sur le territoire mais sont aussi très diverses.

Aujourd'hui, les activités productives en France sont réparties en trois secteurs selon l'Insee :

- le secteur primaire regroupe l'ensemble des activités dont la finalité consiste en une exploitation des ressources naturelles : agriculture, pêche, forêts, mines, gisements ;
- le secteur secondaire regroupe l'ensemble des activités consistant en une transformation plus ou moins élaborée des matières premières (industries manufacturières, construction) ;
- le secteur tertiaire recouvre un vaste champ d'activités qui va du commerce à l'administration, en passant par les transports, les activités financières et immobilières, les services aux entreprises et services aux particuliers, l'éducation, la santé et l'action sociale. Le périmètre du secteur tertiaire est de fait défini par complémentarité avec les activités agricoles et industrielles (secteurs primaire et secondaire).

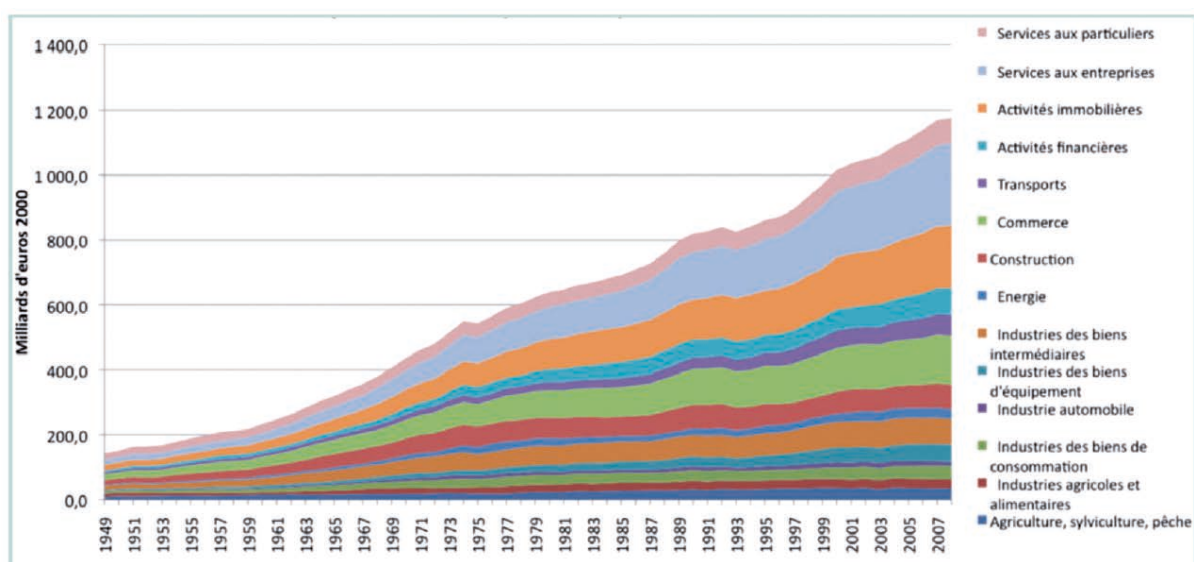
La nature de ces activités productives et leur répartition sectorielle ont évolué de manière significative ces 20 à 30 dernières années. Le poids des services et du BTP s'est fortement développé au détriment de l'agriculture et de l'industrie. Aujourd'hui, la répartition entre les trois secteurs reste très inégale sur les emplois, à savoir que chaque secteur emploie :

- moins de 3 % de la population active par le secteur primaire ;
- près de 20 % de la population active dans le secteur secondaire ;
- les 3/4 de cette population pour le secteur tertiaire.

En effet, ces changements transforment les conditions d'emploi et de travail, renouvellent la demande de compétences, font disparaître certains métiers et apparaître de nouvelles professions. Ainsi, ce sont des secteurs entiers de l'économie qui disparaissent pour laisser la place à des nouveaux.

Indicateurs

PIB français



Données hors services administrés.

Répartition du PIB français de 1949 à 2008 (en milliards d'euros)

Source : Insee. © Futuribles International. Système Vigie. Rapport annuel 2011

Depuis 30 ans, le PIB français est tiré par quelques secteurs tels que les services aux entreprises, l'immobilier voire le commerce.

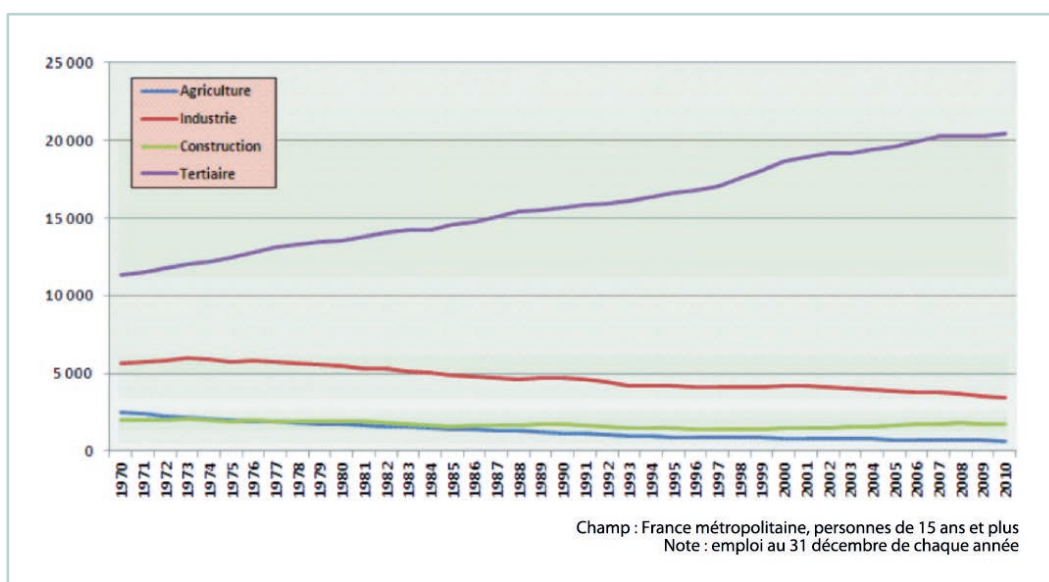
La croissance française est essentiellement tirée par la demande intérieure, le solde d'échanges extérieurs étant négatif depuis 2003 (à noter que, de 2002 à 2006, les exportations françaises représentaient environ 20 % du PIB).

En 2012, le produit intérieur brut (PIB) stagne, après avoir progressé pendant deux années consécutives. La production industrielle recule à nouveau (- 2,2 %) après deux années de hausse (+ 4,8 % en 2010 et 2,0 % en 2011). Elle est inférieure de 7,6 % à son plus haut niveau atteint en 2007. Hormis l'industrie agroalimentaire, toutes les grandes branches

manufacturières se replient. Après une éclaircie en 2011 (+ 1,5 %), la production dans la construction est à nouveau en baisse (- 0,6 %). Enfin, la production des branches de services principalement marchands continue de croître, mais en net ralentissement (+ 0,3 % après 2,8 %), en particulier dans les services aux entreprises (+ 0,7 % après + 4,6 %). (Source Insee).

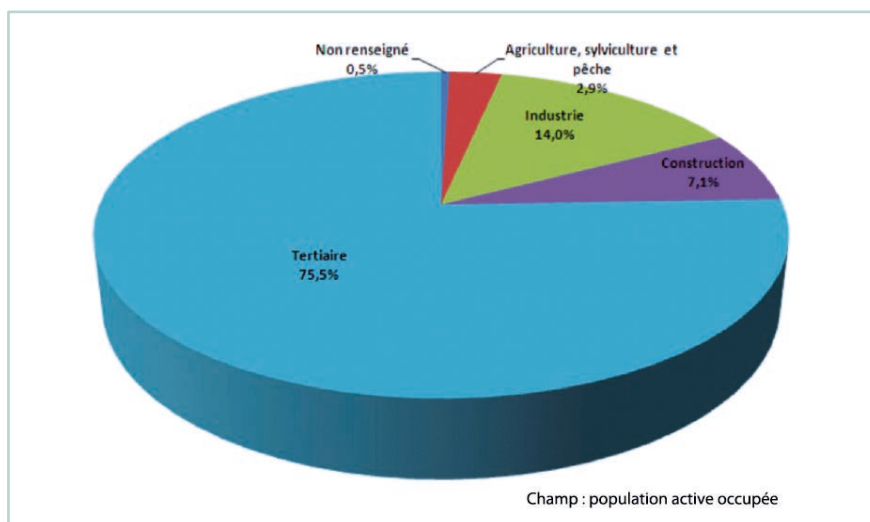
Population en emploi par secteur d'activité

| Secteur d'activité | en 2008, en % | en 2009, en % | en 2010, en % |
|--|---------------|---------------|---------------|
| | Ensemble | Ensemble | Ensemble |
| Agriculture, sylviculture et pêche | 2,7 | 2,9 | 2,9 |
| Industrie | 14,9 | 14,7 | 14,0 |
| Industries extractives, énergie, eau, gestion des déchets et dépollution | 1,3 | 1,5 | 1,6 |
| Fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac | 2,4 | 2,5 | 2,3 |
| Cokéfaction et raffinage | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| Fabrication d'équipements électriques, électroniques, informatiques ; fabrication de machines. | 2,2 | 2,1 | 1,8 |
| Fabrication de matériels de transport | 1,8 | 1,8 | 1,6 |
| Fabrication d'autres produits industriels | 7,1 | 6,8 | 6,6 |
| Construction | 7,0 | 7,0 | 7,1 |
| Tertiaire | 74,9 | 74,9 | 75,5 |
| Commerce ; réparation d'automobiles et de motocycles | 12,8 | 13,1 | 12,9 |
| Transports et entreposage | 5,4 | 5,2 | 5,1 |
| Hébergement et restauration | 3,4 | 3,5 | 3,7 |
| Information et communication | 2,6 | 2,8 | 2,9 |
| Activités financières et d'assurance | 3,2 | 3,4 | 3,3 |
| Activités immobilières | 1,4 | 1,2 | 1,2 |
| Activités scientifiques et techniques ; services administratifs et de soutien | 10,3 | 9,8 | 10,1 |
| Administration publique, enseignement, santé humaine et action sociale | 29,5 | 29,7 | 29,9 |
| Autres activités de services | 6,4 | 6,3 | 6,5 |
| Activité indéterminée | 0,5 | 0,4 | 0,5 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Effectif (en milliers) | 25895 | 25652 | 25 693 |



Évolution des actifs ayant un emploi par secteur d'activité économique en milliers

Source : Insee. Marché du travail. Séries longues. Tableau 201, février 2012.



Répartition des actifs ayant un emploi par secteur d'activité économique en 2010

Source : Insee. Enquête Emploi 2010, février 2012.

En 2009, la France métropolitaine compte 25,7 millions de personnes ayant un emploi :

- le secteur tertiaire s'impose comme le plus important secteur d'activité en termes d'emploi : trois personnes occupées sur quatre travaillent dans ce secteur ;
- le commerce et l'activité de réparation d'automobiles et de motocycles représentent 13 % des emplois ;
- l'industrie emploie 15 % des personnes ;
- les secteurs de la construction et de l'agriculture concentrent respectivement 7 % et 3 % des personnes occupées.

Suite au retournement conjoncturel survenu mi-2008, l'emploi salarié a fortement reculé en France métropolitaine. Entre le début et la fin de l'année 2009, le marché du travail perd 252 000 emplois. La plupart des destructions d'emplois ont eu lieu le premier semestre. La dégradation de l'emploi s'est ensuite atténuée au fil de l'année. L'ensemble des secteurs marchands ont été touchés par la crise, mais les fluctuations de l'emploi salarié tiennent pour beaucoup à l'intérim, qui a servi de principale variable d'ajustement des effectifs aux variations de l'activité.

Pour la première fois depuis 1993, l'emploi féminin est en diminution mais résiste mieux que celui des hommes. La poursuite de la tertiarisation de l'emploi s'accompagne d'une féminisation du secteur : il est le seul composé majoritairement de femmes qui représentent près de 56 % de l'effectif dans ce secteur. En revanche, dans l'industrie, elles n'occupent qu'un peu plus d'un quart des emplois. Le secteur de la construction reste, quant à lui, essentiellement masculin avec seulement une femme salariée pour neuf hommes.

En moyenne en 2009, 10 % des emplois (hors intérim) sont occupés par des personnes en poste depuis moins d'un an. Dans l'industrie, où le renouvellement est faible, la moitié des salariés ont au moins dix ans d'ancienneté dans leur entreprise.

Par comparaison, dans l'Union européenne à 27, plus de deux emplois sur trois sont dans le secteur tertiaire et plus d'un sur quatre dans l'industrie ou la construction. Le secteur primaire concentre 5 % des emplois de l'Union européenne.

Rétrospective

Durant les trente glorieuses, la croissance économique reposait de façon équilibrée sur la valeur ajoutée dégagée par l'industrie et la construction d'une part, les services d'autre part. Les services ont depuis acquis un rôle prépondérant. De fait, en soixante ans, l'emploi est devenu en grande majorité tertiaire et salarié. Le premier choc pétrolier marque une cassure : avant 1974, la croissance était plus forte et s'appuyait sur des gains de productivité beaucoup plus soutenus. Par la suite, le ralentissement de la productivité s'est transmis aux gains salariaux. Le taux de marge des entreprises a reculé sous l'impact des chocs pétroliers de 1974 et 1979, plus rapidement dans l'industrie que dans les services. Il s'est ensuite redressé durant les années 1980.

Toutefois, si le positionnement sectoriel de la France à l'exportation reste favorable, il l'est moins que par le passé. Les biens en progression dans les échanges mondiaux représentent actuellement 55 % des ventes françaises, un taux supérieur de cinq points à la moyenne mondiale, alors qu'il lui était supérieur de dix points en 1980.

L'avantage de la France, hors secteurs aéronautique et pharmaceutique, s'est globalement érodé dans la catégorie des produits les plus dynamiques (informatique, composants électroniques, fournitures électriques, habillement).

L'enjeu à moyen terme pour la France réside en amont, dans l'évolution de son offre productive vers les produits innovants, en particulier au sein de l'industrie (outre l'occupation de niches sectorielles ou de créneaux de luxe). D'une part, parce que ces biens, sur lesquels la concurrence est plus faible, sont moins sensibles aux prix et plus rémunérateurs. D'autre part, parce que les pays ayant une position en amont du cycle de vie des produits enregistrent des gains de productivité plus élevés, qui sont les vecteurs d'une croissance plus forte.

Mais le positionnement de la France sur les produits de haute technologie et à fort contenu en innovation reste mitigé. Au cours des quinze dernières années, les exportations françaises de biens de haute technologie se sont accrues à un rythme nettement plus rapide que les autres catégories et, en 2001, elles représentaient le quart des ventes de produits manufacturés, contre 15 % en 1988. Toutefois, si ce rapport situe la France devant l'Allemagne (20 %), elle reste devancée par le Royaume-Uni (40 %), les États-Unis (38 %) et le Japon (31 %). Par ailleurs, les biens de moyenne et basse technologie comptent pour un tiers des exportations françaises, contre seulement un quart des exportations allemandes, du Royaume-Uni ou des États-Unis, et moins de 20 % de celles du Japon. De fait, le marché mondial des biens de haute technologie est largement dominé par les États-Unis, qui détenaient, en 2001, plus de 17 % du marché mondial, devant l'Allemagne (9 %), le Royaume-Uni et le Japon, les positions de la France étant plus faibles (6,2 %). Toutefois, si la part de marché de la France dans les biens de haute technologie a reculé au cours de la décennie 1990, l'ampleur en a été moindre qu'en Allemagne, et surtout qu'au Japon et aux États-Unis.

Prospective

Un rapport « France 2030 : cinq scénarios de croissance » de 2011 du Centre d'analyse stratégique pointe que « *de nombreuses opportunités sectorielles se dessinent par ailleurs en sortie de crise et offrent la possibilité de définir les contours de nouveaux modèles de croissance. Ainsi, le développement des TIC pourrait trouver un second souffle grâce aux synergies avec les domaines de la santé, de l'éducation, de la lutte contre le changement climatique, par exemple. Les évolutions de société, le vieillissement de la population et la tertiarisation de plus en plus importante de l'économie laissent entrevoir le développement de nouveaux secteurs et produits. De même, la prise en compte – nécessaire – de la contrainte environnementale suppose des coûts à court et moyen terme mais peut engendrer des gains liés à l'innovation notamment et favoriser la croissance à long terme.* »

La commission Attali cible les secteurs économiques à horizon 2050. « *Le renforcement de la croissance viendra de la capacité du pays à investir dans des secteurs porteurs* ».

D'après cette commission, les secteurs porteurs pour la France figurent parmi « le numérique, la santé, l'agro-industrie, l'énergie et l'environnement, la finance, les transports, le tourisme et les services à la personne ».

Si l'on réalise un focus sur le secteur de la santé qui emploie 2 millions de personnes aujourd'hui et représente déjà 11 % du PIB, ce rapport annonce qu'il va continuer de croître grâce aux progrès des techniques médicales.

En parallèle, l'espérance de vie augmentant, la demande de soins devrait également augmenter et créer des emplois de service à la personne (« emplois non délocalisables et à forte valeur sociale ajoutée »).

Avec 16 % du PIB marchand du pays, l'industrie ne peut descendre encore plus bas, sous peine de freiner la croissance du pays, d'accentuer le déficit d'investissement, de recherche et d'innovation, de productivité, de balance commerciale et de continuer à perdre, bon an, mal an 60 à 70 000 emplois directs par an.

L'industrie devra ainsi faire preuve de reconversion en abandonnant certaines branches d'activité à faible valeur ajoutée et utilisant une main d'œuvre nombreuse pour se tourner vers des branches à forte valeur ajoutée comme l'aérospatiale, le nucléaire ou la robotique.

Les perspectives de croissance économique de la France reposent sur une stratégie globale alliant un dynamisme démographique, un soutien des politiques dans l'investissement en recherche et développement et en innovation mais aussi sur un ensemble beaucoup plus vaste de politiques qui viseraient à la fois un renforcement de la concurrence sur les marchés de produits avec notamment un accent sur l'entrée de nouvelles entreprises, un accroissement de l'investissement dans l'enseignement supérieur, un développement des marchés et du secteur financiers, une plus grande flexibilité des marchés du travail, et un renforcement du rôle de lissage de l'activité des politiques macroéconomiques.

Hypothèses

Hypothèse 1. Tendancielle

Même si l'on peut observer des changements (répartition différente entre les différentes branches d'activité composant le secteur, entre les effectifs des actifs, etc.) dans les modes de production en vue de préserver notamment la qualité de l'environnement, le secteur primaire en France stagne. En effet, le domaine de l'agriculture est confronté au double défi de produire efficacement des denrées alimentaires tout en préservant l'environnement. Elle est plus que jamais plurielle : pratique de l'agriculture biologique, conventionnelle ou de précision dans des filières courtes ou industrielles intégrées.

D'une manière générale, le secteur secondaire continue à décliner progressivement.

Le secteur tertiaire quant à lui se maintient mais avec malgré tout une tendance à la baisse.

Hypothèse 2. Rebond : l'économie française retourne vers la croissance.

Le secteur primaire stagne.

Le secteur secondaire voit la reprise des activités industrielles de par une relocalisation et donc une réindustrialisation. La France mise sur la modernisation de son outil productif en passant par la conception et le développement de ses futurs processus de production. Le bâtiment quant à lui sort son épingle du jeu grâce notamment au développement de nouvelles compétences dans le domaine de l'écologie (développement des constructions basse consommation et de l'éco-construction).

Le secteur tertiaire bénéficie du rebond industriel. Les secteurs secondaires et tertiaires sont l'objet de transformations concomitantes. En effet, ce rebond permet d'étendre la sphère industrielle vers le tertiaire productif (logistique, transport, immobilier d'entreprises, ingénierie, R&D, informatique, nettoyage...). Par ailleurs, la croissance économique redonne du pouvoir d'achat aux ménages qui s'octroient davantage de services à la personne.

Hypothèse 3. Déclin accéléré, comme par exemple la Grèce et le Portugal.

La France ne se sort pas de la crise.

Le secteur primaire stagne.

Le secteur secondaire décline et même ses activités phares tels que l'aéronautique, le luxe, le ferroviaire ou le BTP sont en perte de vitesse.

Le déclin du secteur tertiaire est concomitant au déclin du secteur secondaire de par la forte ramification et la complémentarité de ces deux secteurs. Le déclin de ces deux secteurs peut s'expliquer par une réappropriation de certaines tâches par les entreprises industrielles, notamment en matière de services dans le cadre de la réalisation d'investissement immatériel (fonction commerciale, formation, recherche et développement, logiciels, brevets...).

Bibliographie

DEMMOU Lilas. La désindustrialisation en France.

Documents de travail de la DG Trésor. Numéro 2010/01, juin 2010.

Les secteurs de la nouvelle croissance : une projection à l'horizon 2030.

Centre d'analyse stratégique, 2012.

France 2030 : cinq scénarios de croissance.

Centre d'analyse stratégique, 2011.

Une ambition pour dix ans. Une mobilisation générale pour libérer la croissance et donner un avenir aux générations futures. Commission pour la libération de la croissance française présidée par Jacques Attali, 2010.

La définition d'un robot d'assistance physique (RAP) est-elle connotée par une perception sociale ?

Jean-Claude ANDRÉ, INSIS - CNRS.

*« Lorsqu'on peut mesurer ce dont on parle
et l'exprimer en chiffres, on en sait quelque chose ;
en revanche, si on ne peut l'exprimer en chiffres,
on n'en a une bien piètre connaissance »*

Thomson, 1889.

Pour entamer la réflexion sur un sujet émergent (même s'il émerge déjà depuis assez longtemps), comme celui des robots d'assistance physique (RAP), il peut être utile de l'engager par un exemple approfondi, celui de la biologie de synthèse qui a fait l'objet d'un chapitre dans « Les enjeux de la biologie de synthèse » (Fioraso, 2012). Il y est fait état, dans ce domaine émergent, d'un certain nombre de définitions diverses, et parfois opposées sur certains points dont on peut retenir quelques critères : un encadrement du sujet, une logique de continuité, une possible appartenance à d'autres cadres plus stabilisés, une connotation affective ou éthique. Bref, une définition, dans le cas d'un thème émergent, apparaît comme un élément non stabilisé, porteur de diverses subjectivités et qui contribue à la création de nouveaux rôles. Dans le cas des RAP, d'aucuns y voient un moyen de diminuer la fatigue musculaire dans le travail, une voie originale permettant de faire marcher des handicapés moteurs, mais aussi un système d'enfermement de l'Homme dans la machine (éthique) ou un moyen d'augmentation des cadences de travail... La messe n'est donc pas dite !

Dans un domaine à explorer, il est possible d'envisager une vision de l'impact social des applications des concepts en s'appuyant sur un cadrage scientifique (avec ses raccordements) et sur un point de vue subjectif sur la construction des faits. Pour beaucoup, suite aux classifications des espèces (depuis le XVII^e siècle), une définition peut être représentée de manière « froide » comme un classement, des ordres, etc. Or, à cette logique de standardisation est attachée celui de variété. Cette approche induit alors des formes de dépendance du contenu de la définition avec les réseaux sociaux qui lui ont donné naissance, ceux à qui elle peut servir, etc. Alors se pose dans cette définition « valise », la question de la définition du concept de définition !

Selon Wikipédia, « une définition est un discours qui dit ce qu'est une chose ou ce que signifie un mot. Une définition est le résultat d'une opération, et introduit donc le temps (le sens défini est fini, passé, en-soi), ainsi qu'un acteur (souvent implicite). Elle s'inscrit dans l'ordre de la dénotation, mais un terme connote également des sens. Le concept de définition ne s'impose pas de lui-même : il s'inscrit dans une totalité structurée. Il implique et il indique des choix. Quels acteurs sert-elle ? C'est un outil utile, mais pas indifférent. La définition établit une structure ordonnée, une arborescence par niveaux entre des classes de mots. Elle expose la compréhension d'un concept ».

Derrière la quantification physique et/ou mathématique, la définition d'un concept ne peut échapper à son intériorisation par la société. Une des raisons tient à l'efficacité pratique des savoirs associés à un concept, mais aussi à l'utilité de ces derniers pour résoudre robustement les problèmes créés par la science (Lévy-Leblond, 1996). Fressoz (2012) nous rappelle que « *penser la technologie en termes de principes, de certitudes et de meilleure solution fait passer au second plan la technologie concrète avec ses défauts et ses dangers. Celle-ci n'est qu'un état transitoire finalement peu intéressant que l'on pourra dépasser grâce à un effort technoscientifique* »... On a tiré sur cette corde trop longtemps et la confiance n'est plus. Les règles d'interactions associées au développement d'un concept dans une démarche collective sont associées à l'évolution naturelle ou stimulée des perceptions en interaction entre individuelle et organisationnelle. Atteint-on (et comment ?) un alignement vers une vision partagée raisonnable, sans réelles ruptures ? (Kania et Kramer, 2013). Dans les changements d'échelles traités par la science et par la socio-économie, les aspects de réversibilité et de proximité disparaissent ; il n'y a plus de délimitation spatio-temporelle claire (cas exemplaire du développement durable) avec des aspects de multi-réciprocités et de multi-interactions de plus en plus nombreux. On rentre dans le systémique et dans le complexe... (Pavie, 2012).

Vous avez dit situé ou situable ?

Seul le passage d'une définition située (c'est-à-dire pour laquelle il existe suffisamment de confiance dans les connaissances scientifiques et, en particulier, une maîtrise avérée des risques pour l'Homme et l'environnement) permet la reconnaissance transmissible, notamment par la capitalisation, puis le transfert de cette connaissance via l'information et la formation. Tel est le cas d'un certain nombre de concepts, paradigmes, etc. Or, « *la crise, dans laquelle le système du marché nous fait entrer, est une crise de la culture, puisqu'elle est une crise du rapport au réel, du jugement et de l'intelligibilité du monde* » (Juvin et Lipovetski, 2010). Dans les faits, le besoin de repères solidement établis est de plus en plus essentiel pour éviter que les inquiétudes sociales deviennent bloquantes. Ce contexte récent impose donc d'intégrer dans l'action (et dans la définition associée) une nécessaire confiance.

En examinant le cas des RAP, peut-on penser que les connaissances supportant les définitions sont situées ou que l'on ne dispose pas d'une connaissance suffisante pour disposer d'une définition consensuelle ? La figure 1 définit schématiquement un certain nombre de critères liés à la question : dans le premier cas, dans une logique causale, la définition « froide » est une conclusion logique de la relation entrée-sortie ; cela reste acceptable quand tous les paramètres d'influence sont connus.

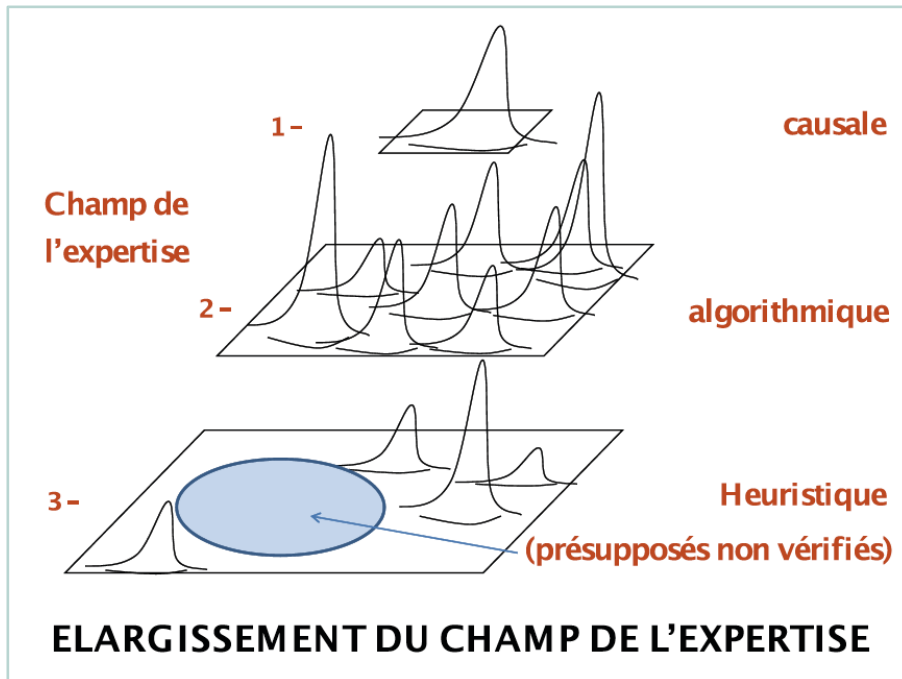


Figure 1. Un regard sur la définition d'une définition

Ces procédures s'appuient sur des connaissances effectives, tacites et sur la culture des évaluateurs, culture qui peut être très différente de celle de la société (Giarini et Stahel, 1990) en particulier pour ce qui concerne la gestion de l'incertain. Ceux-ci disposent de méthodes causales, voire algorithmiques, s'appuyant sur des conventions socialement acceptées. Ces méthodes sont d'ailleurs utilisées dans la gestion du risque défini sur l'évaluation de ce dernier.

« Si la gestion est nécessairement un acte de manipulation, de macération, de discernement (comme disaient les jésuites) surplombant les actes de travail direct, ainsi que le contrôle et la conduite d'actes déterminés par ces procédures, ne sommes-nous pas en train de construire un nouvel ordre décisionnel qui rend peu à peu hors la loi l'ordre politique là où il est pourtant le plus [légitime] » (Duclos, 1993). Ces différents éléments de contexte interdisent de présenter la situation d'une définition non située (cas 1 et 2) comme une forme d'action sociale facile à gérer tant les suspicions associées peuvent être envisageables : nature de l'expertise, choix des experts, complexité, base de temps, critères d'objectivité... Or, si l'expertise s'appuie sur des critères de perception de la réalité, il est utile de connaître la culture des experts dans cette construction sociale de la perception. Ceci revient à dire qu'après le dire d'expert, il y a tout l'espace de la décision politique. Le danger vient aussi de ce que la question posée peut ne pas avoir de réponse d'expert possible. Par exemple, dans un domaine incertain comme celui lié à un RAP nouveau et spécifique, qu'est-ce qu'un risque acceptable ? Personne ne peut l'évaluer sur des bases scientifiques, qu'elles soient statistiques ou économiques (cas 3). On parlera alors d'une définition d'un concept situable.

Dans les faits, les problématiques des définitions sont liées à une analyse des risques et des vulnérabilités, à la maîtrise de composantes éthiques qui connotent l'objet. Or, dans le champ des risques incertains, on est amené à explorer le principe de précaution (situable) comme l'illustre la figure 2. « La précaution désigne l'attitude qui est demandée à quelqu'un à qui l'on dit qu'au-delà du risque qu'il maîtrise et qu'il peut mesurer, il doit prendre en compte un risque qu'il ne va pas encore connaître mais qui est susceptible de se révéler, dans l'avenir, dans un nouvel état de la science » (Ewald, 1998).

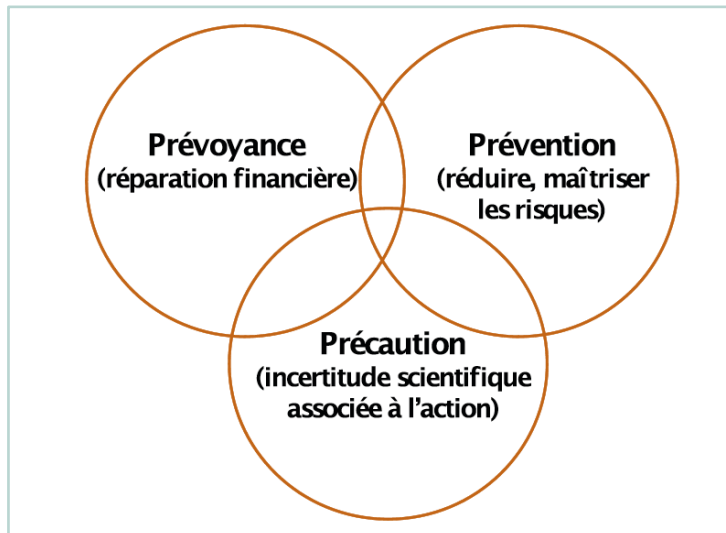


Figure 2. Différentes formes d'approche dans la maîtrise des risques

Chacun peut envisager, à sa façon, l'impact de l'application d'un concept en s'interrogeant sur la construction des phénomènes et de leurs conséquences. C'est d'ailleurs, en pensant la nouveauté à partir d'une filiation située qu'il est possible :

- de faire croire à la société qu'il s'agit juste d'un objet purement technique ;
- d'effectuer une communication idéologique pour rappeler que la technique, conséquence du concept, est la solution ;
- d'oublier la charge émotionnelle et spirituelle dont le concept est porteur...

Pour éviter ces travers, le besoin d'approches du risque global adaptées aux situations à risque complexe et incertain se fait sentir :

- pour les affronter, nous avons besoin d'outils d'intelligence collective qui sont/ deviennent eux-mêmes des systèmes sociotechniques ou des parties de systèmes sociotechniques ;
- cela inclut que nous nous heurtons à leurs effets pervers, à leurs dysfonctionnements, à des situations particulières liées à ces outils, aux vulnérabilités et aux risques qu'ils engendrent....
- en particulier, le fait que ces outils sont des systèmes qui nous envoient/utilisent des signes en grand nombre (vers/de notre attention, notre mémoire, nos échanges, nos spatialisations et nos cartographies au sens large) notamment d'ordre langagier comme par exemple le risque « symbolique ».

Plus le problème est vaste et plus les solutions à développer pour y répondre sont ambitieuses, incluant des acteurs extrêmement nombreux, plus il faut maîtriser le niveau sémiotique de ces systèmes (la sémiotique étudie le processus de signification, c'est-à-dire la production, la codification et la communication de signes), mieux que nous le faisons jusqu'ici dans l'ingénierie de ces systèmes.

En paraphrasant Badiou (2009), il est possible de montrer que la définition d'un concept ne peut échapper à la production de ses effets, la multiplicité de ses attributs, de sorte qu'on peut aussi bien dire que seul le concept existe ou que seuls existent les attributs de ce dernier. Cette remarque impose donc une analyse du concept en lien avec ses conséquences, à l'intérieur d'une expertise interdisciplinaire. « *Les répercussions des risques ne sont plus délimitables ni spatialement, ni temporellement ; leurs conséquences*

sont, en effet, imprévisibles. Des dommages invisibles au présent peuvent se révéler irrémédiables des années plus tard. De par cette non-anticipabilité et cette non-prévisibilité des nouveaux risques, la société du risque est empreinte d'une incertitude fondamentale [...] La techno-science ne peut plus y faire face, « réparer » puisque d'une part, le nouveau risque résiste au calcul d'anticipabilité et que d'autre part, il entraîne des conséquences qui dépassent largement le cadre de la science » (Berns, Blésin et Jeanmart, 2010). Dans les faits, toute catégorisation de la définition se fait dans un jeu de langage dans un domaine où aucune autorité linguistique ne définit le sens des mots. C'est pourquoi les scientifiques devraient comprendre comment le public maîtrise les distinctions (Ewald, 2007).

Risque perçu

Un même risque peut être perçu différemment par plusieurs individus (Meur-Férec, 2006). De nombreux facteurs peuvent influencer sur la perception d'un risque. Selon Kouabenan et al (2006), cette perception peut varier en fonction du risque lui-même, des caractéristiques de la personne et de son histoire personnelle, ou de la culture du milieu social ou organisationnel. De plus, il semblerait que la méfiance du public soit plutôt attribuée au manque de confiance envers l'industrie et le gouvernement, surtout lorsqu'il est question de l'intérêt du public ou de la gestion du risque (Grobe, Renn et Jaeger, 2008). Cependant, les moyens de communication choisis pour partager l'information relative à ces technologies émergentes influent sur le jugement et l'opinion (Garat, 2013). Ces études montrent que le public s'attend à être consulté sur le développement des nouvelles technologies, à être informé sur le risque auquel il est exposé et à participer d'une manière ou d'une autre, à la gestion de ce risque. L'aspect communication est donc un outil important et doit être utilisé souvent pour améliorer l'acceptation sociale liée aux technologies émergentes.

« L'action [d'expertise] est considérée comme un tout dynamique, intégrant à la fois émotion, affects, perceptions, opérations, communications, interprétations, et ce tout n'a de signification que dans les relations entre ses composantes » (Barbier, 2000). Wynne (1990) rappelle qu'« on croit souvent réduire les incertitudes et les conflits en approfondissant l'investigation scientifique, mais ces incertitudes doivent d'abord être vues comme le reflet des conflits entre des intérêts et des engagements opposés qui ont toujours la liberté de sélectionner et de faire valoir de nouvelles questions scientifiques non résolues à la seule fin d'entretenir incertitudes et controverses ». Le cadre de l'expertise complexe met en évidence un certain nombre de contraintes de soumission, d'hégémonie, d'incertitude, de faiblesse, etc. Ce constat est réinterprété par Henry (1998) qui écrit « constater que la science résout des problèmes est une chose ; croire que la science sert à résoudre des problèmes en est une autre ».

Ainsi, si l'on veut effectivement apprécier les conséquences d'un concept donné, il paraît souhaitable d'en déterminer les valeurs éthiques et responsables, qu'il sera essentiel d'examiner pour les protéger. Cette approche permet d'envisager des mesures spécifiques qu'il serait souhaitable de consigner pour permettre d'engager le débat avec d'autres parties prenantes. De surcroît, cette expertise interdisciplinaire de définition de l'objet devrait permettre de situer l'action relativement à la réglementation en vigueur et d'analyser les possibles conflits ou controverses issues des choix réalisés, les possibles conciliations de

valeurs divergentes, la hiérarchisation de celles-ci. « *S'il ne s'agit plus de vaincre le pouvoir de la fiction, il s'agit toujours de le mettre à l'épreuve, de soumettre les raisons que nous inventons à un tiers susceptible de les mettre en risque* » (Stengers, 1995).

Même si elle n'a pas toujours été prise en compte, la question de l'acceptabilité du risque n'est pas récente et évolue dans le temps. Aujourd'hui, on ne peut plus balayer les perceptions et les intérêts particuliers. La société ne l'accepte plus. Les citoyens craignent chacun pour leur santé, leur sécurité, leur liberté, leur bien-être. Ces peurs, ces réticences individuelles, qui sont exprimées par des groupes actifs, sont des facteurs potentiellement bloquants au développement des nouvelles technologies. De plus, les risques ne peuvent plus être éludés. Le citoyen est éduqué, informé, éclairé. On n'accepte plus sans broncher, il y a eu trop de crises, trop d'accidents ! Les exemples inacceptables aujourd'hui sont légion : vache folle, amiante, sang contaminé, déchets nucléaires, etc. On ne peut plus imposer le risque. Cela amène alors à des formes nécessaires d'accord et d'appropriation des découvertes. Les négociations deviennent obligatoires, où les intérêts particuliers sont pris en compte et considérés. Mais alors, que fait-on de l'intérêt général ? Comment d'ailleurs est-il défini ?

« Acceptabilité »

Dans un monde stable socialement, il aurait été sans doute possible d'appliquer cette phrase de Desroches, Leroy et Vallée (2003) : « *Le risque acceptable est la valeur d'un risque résultant d'une décision explicite établie de façon objective par comparaison avec des risques connus et admis, naturels ou technologiques dans certaines branches d'activités* ». Le système réglementaire et de réparation assurancielles fonctionne encore sur cette base dans des domaines de risques connus et acceptés par la société. De fait, sur des sujets nouveaux, se pose la question de la confiance sur les productions scientifiques nouvelles, leurs applications et sur les effets effectifs ou simplement envisageables sur la société (au travail) et son environnement. De nombreuses voies peuvent être exploitées pour poursuivre la promotion du progrès technologique : du débat social au formatage du citoyen (storytelling), de la démocratie participative au « meilleur des mondes »... Mais qui, dans ce contexte, est responsable de la définition du « bien » ?

Ces commentaires amènent à poser la question de l'acceptable, de son évolution temporelle liée à une certaine forme de « plasticité mentale du corps social » voire à l'opposé, mais pour le même but à atteindre, d'un « formatage » des personnes, d'un déplacement par populisme de la « tectonique sociale » (Minc, 2005) ou d'un *statu quo* de la morale utilitaire, de la génération de crises par l'apport de vraies/fausses connaissances nouvelles (gestion des controverses), etc. À cette notion de « plasticité » qui fait penser à une forme d'écoulement sous contrainte, Prigogine et Stengers (1986) opposent la complexité. Or, nos systèmes sociotechniques (dont les RAP), avec leurs nombreux changements d'échelles, se complexifient sans cesse, conduisant à de possibles crises. Au formatage de l'acceptable, s'ajoute la réaction de certains groupes sociaux dans des conditions non totalement prévisibles. Selon Benasayag et Sztulwark (2002), la crise culturelle que subit la société repose sur la difficulté de faire la différence entre le pensable et le possible (tout ce qui est possible n'est pas forcément pensable, alors que pour le néolibéralisme, au nom du profit économique, tout ce qui est possible est

pensable). C'est bien dans ce contexte que doit se retrouver un critère classant, essentiel dans une société engagée dans un progrès technologique effréné, celui de la confiance, associant dans un système symbolique connaissance et croyances.

La transformation très rapide du système de production se traduit par des perturbations de la culture de la société dans son ensemble : création de nouveaux espoirs, de nouvelles possibilités, mais en même temps de nouvelles aliénations, voire de nouveaux risques. Ramonet (2004) estime que les nouveaux médias comme Internet deviennent porteurs des verbes : annoncer, vendre et surveiller... Y aurait-il une tendance à renforcer des principes d'aliénation, de crétinisation et d'abrutissement, jusqu'à conduire à la décérébralisation collective ? Cette situation, déjà exprimée par Huxley (1932), est liée à une soumission par séduction, par sa propre soif de plaisir... Il paraît néanmoins, dans ce cadre de tensions et de changements élevés, important d'éviter la panne de sens et le triomphe de la seule technologie, finalement malade de son succès (puisque des doutes apparaissent). De fait, de plus en plus, c'est l'offre qui finalement structure la demande, d'où une pression sur les utilisateurs potentiels susceptibles de s'emparer de l'innovation (analyse de la dynamique des rapports sociaux). Cependant, la société n'est pas uniforme, son comportement est affecté par des groupes de pression divers, depuis la publicité jusqu'à des associations militantes aux déviances populistes.

Il convient d'explorer la complexité du réel en allant jusqu'à l'individu pour mieux cerner les pathologies sociales liées aux technologies et d'éviter de se réfugier dans le maintien d'un système normé et juridique (Lipovetsky, 1992). Où est alors la bonne ligne médiane ? Sera-t-elle stable dans le temps ? « *La question qui est, en fait, posée est celle du mode de dialogue possible entre des minorités diverses professant des convictions divergentes mêlées, qui plus est, à des majorités molles professant des opinions flottantes* » (De Conninck, 2003). De fait, il y a continuité laissant imaginer que ce qui sera demain sera à l'image de ce qui se passe au présent. Cette perception est compréhensible, car les effets ne sont pas ou rarement immédiats, ils ne sont pas toujours envisagés comme tels, et ils sont noyés dans beaucoup d'autres. Dans de la prévision à l'identique, c'est à partir de la mesure de l'écart entre le prévu et le perçu, que les problèmes commencent.

Dans le même temps, l'entreprise doit disposer de la dynamique d'évolution indispensable dans un monde où compétition, nouveaux marchés, nouveaux produits et productions, nouveaux clients représentent des critères classants essentiels. L'entreprise performante peut se présenter comme un des seuls recours à l'amélioration du pouvoir d'achat, à l'accès à de nouveaux produits et services (au sens large), au développement de l'emploi et de la qualité de vie, à l'amélioration du contexte social. Dans ce contexte de transformation nouveau, il faut savoir que, très probablement, les moteurs de la science et de la technologie associée progressent bien plus vite que les freins de la conscience... En effet, il est souhaitable de se poser la question générale de ceux à qui l'existence de doutes ou de controverses profite !

Ainsi, traiter de l'acceptabilité vaut pour question complexe car le développement de nouveaux procédés doit se traduire par des avantages pour soi dans un monde de plus en plus individualiste. Le cas éclairant de l'amiante, des OGM ou des nanoparticules où tout le monde peut être touché se traduit par un rejet général de l'utilisation de technologies nouvelles affectant potentiellement (ou réellement) la santé. Dans le cas de systèmes physiques, où les effets sont éloignés d'aspects maladies atteignant le corps, on peut penser, à l'image de ce qui se passe avec les téléphones portables, des TIC, etc., que les effets plus sournois, moins quantifiables, en tout cas faisant moins peur peuvent facilement être traités...

Quels scénarios envisager pour le futur ?

Dans l'économie de la connaissance actuellement explorée, les nouvelles technologies proposent des transformations radicales comme l'intégration des biens et des services dans des offres uniques souhaitées par les utilisateurs. La question posée par Michèle Debonneuil (2007) est de savoir si l'on persévère dans l'exploration d'un système de production matérielle ou immatérielle de masse (quantitatif) ou si l'on s'engage dans ce qu'elle nomme « la révolution du quaternaire », vers des aspects qualitatifs correspondant à la mise sur le marché de produits, services ou systèmes nouveaux qui satisfont un renforcement de la demande de bien-être, pour laquelle on accepte de payer un certain prix (notion d'attractivité) et non le prix le plus bas ou une production plus rapide (Romer, 1994). Il y a alors des défis nouveaux à surmonter. Parmi les facteurs structurants et importants, il faut prendre en considération la place des *baby boomers* dans notre société en pleine mutation (Foot, 1996, 2005 ; Déoux et Baillard, 1997). En effet, ces derniers, en nombre élevé, disposent du temps et de l'argent, même si leur aptitude à maîtriser certaines innovations est parfois considérée comme modeste. Ils possèdent un haut niveau de scolarité et sont conscients des nouveaux enjeux environnementaux. Or, il est maintenant reconnu que, en général, ce ne sont pas les exercices de marketing qui font que les individus s'intéressent à un produit, ce sont les besoins intrinsèques des gens qui créent une demande effective. Alors, le profil de la population a une importance cruciale sur les choix opérés, entraînant les autres composantes du corps social dans la dynamique de production ou de service créée. Cela signifie que l'arrivée opportune d'un nouveau service s'explique par la présence d'une population prête à se l'approprier, à l'utiliser pour atteindre une partie au moins de ses objectifs. Cette réalité, liée à la construction d'une civilisation du futile (Anders, 2002 ; Lambert, 2005) et de la fragilité (Gras, 2003 ; Blamont, 2004), met en partie en défaut cet écrit de Debord publié en 1960 (2006) : « La consommation capitaliste impose un mouvement de réduction des désirs par la régularité de la satisfaction des besoins artificiels, qui restent besoins sans jamais avoir été désirs ».

Alors, la création de richesse doit tenir compte du besoin spécifique ou plutôt de la demande du public qui peut être attiré par la nouveauté et par l'accumulation de biens de consommation (applications des TIC et de la micro-électronique, par exemple) et/ou qui s'inscrit dans une nouvelle dimension sociétale (énergies renouvelables, développement durable, etc.). Toutefois, l'objet n'est pas réductible à ses seules fonctions pour lequel il a été conçu ; il apparaît clairement que tout objet met en récit une posture, une façon de voir le monde, une reculturation personnelle. Ce constat important illustre le fait que l'on reste dans la même culture, sans rupture franche puisque l'objet s'en imprègne... Alors, pour satisfaire par la science et la technologie les futures applications, il est nécessaire d'anticiper et de se rapprocher de la société pour mieux percevoir ses futurs besoins (dans le même contexte culturel ou dans un cadre d'évolution adapté). Sébillote (1993) renforce cette assertion en écrivant : « *Il s'agit de penser l'innovation comme processus social et penser l'organisation des recherches comme support d'apprentissage. Il s'agit d'un principe fondateur qui sert de socle à d'autres principes. Tout ce qui suit serait en effet insuffisant si l'on continuait à travailler dans l'esprit d'une chaîne du savoir descendante, car l'innovation elle aussi se construit au sein d'un réseau d'acteurs dont la qualité détermine l'efficacité du processus de recherche-développement* ».

Cependant, dans l'univers concurrentiel, l'entreprise doit l'emporter sur les autres concurrents en étant plus persuasive. « *Les constructions cognitives sont donc associées aux innombrables ressorts humains – curiosité, intérêt, plaisir, passion, distinction, persuasion, séduction, éthique – leurs mécanismes d'influence sont de plus en plus diversifiés parce que les cibles visées sont de plus en plus différentes et leurs*

formes d'action agissent à des distances de plus en plus grandes » (Karpik, 2007). Dans les faits, en rendant les objets de plus en plus faciles à acquérir, en diminuant leur durée d'usage, en exploitant trop rapidement ses réserves disponibles à faible coût, la société de consommation sait qu'elle court à sa perte ; il y a donc à la fois en présence, désir du nouveau et des formes de repentir conscient. Selon Girard (2008), « *comme tout mécanisme sacrificiel, cette société a besoin de se réinventer de temps à autre. Pour survivre, elle doit réinventer des gadgets toujours nouveaux* ». Cette forme de remède sacrificiel se déploie dans des cadres technologiques « à la mode » avec leurs mots clés un peu magiques : nanotechnologies, Homme augmenté, intelligence ambiante, développement durable, etc. qui permettent d'évacuer pour un temps les troubles de la conscience.

Indépendamment de cet aspect ambivalent mais important d'attraction/plaisir pour certains groupes sociaux, les angoisses nourries par le citoyen (peut-être par des groupes sociaux ?) pour sa santé, sa sécurité, sa liberté sont potentiellement des facteurs bloquants (cas des OGM en France, par exemple, parce que la valeur ajoutée possible n'est pas ressentie, au moins par des individus militants). C'est ainsi qu'émergent des aspects d'acceptabilité qui perturbent le cours des choses (pollutions et risques pour sa santé par exemple), mais qui définissent un besoin exprimé par des groupes actifs puis par la Société et qu'il faut traiter en tant que tels. Il y a alors pour les techno-sciences des défis à surmonter. Dans cet environnement, l'approche par la demande, doit sans doute être travaillée de manière responsable avec des représentants d'autres corps de savoir que ceux des technologues (mais pas uniquement pour cette seule organisation) et, en particulier, amener à changer de fondement culturel : l'optimisation ne se fait plus alors sur le coût, mais sur la qualité du service, ce qui change beaucoup de choses, ne serait-ce que par le renforcement des processus d'innovation et de respect des temporalités. De même, les fondements de l'évaluation par les pairs doivent se redéployer vers des bases plurielles qui tiennent compte également de l'utilité sociale, de l'impact social (avec leurs aspects complexes et naturellement évolutifs).

Indépendamment de ce cadre d'attrait pour le futile, il appert que le développement économique nécessite une structure adaptative, à faible inertie, capable de prendre des risques, tout en évaluant le coût d'innovation d'une idée (en termes financier, de personnes à impliquer, de réseaux à mettre en place, à recruter, à former, etc.). Pourquoi parler en plus de responsabilité ? Besnier (2010) écrit : « *Ce que j'appelle un problème éthique en matière de science est lié à la tentative de répondre à cette question : Comment pouvons nous vivre avec les objets que nous produisons ? Comment pouvons-nous vivre avec ce que nous savons ? Or, je défie quiconque de me dire que la science peut nous mettre à l'abri de cette interrogation* ».

Dans ce contexte, Kauffman (2004) rappelle que la société se meurt d'être réduite à une régulation par l'intérêt. La notion d'avantages compétitifs résulte de l'invention des Hommes et illustre leurs capacités d'entreprendre, mais de plus en plus orientées dans ce qui fait profit rapide (André, 2010). Ainsi, l'activité productive (matérielle et immatérielle) soutient une capacité exclusive de l'Homme, sa capacité intellectuelle plutôt centrée sur le progrès technologique (le moteur) et peu sur les moyens d'éviter les dégâts induits par ses développements (le frein). On continue à penser (ou à faire penser) que, si la méthode scientifique et la technologie ont conquis la société, c'est qu'elles correspondent toujours à des conséquences positives pour elle, non réellement discutées. Elles participent à l'évolution naturelle des choses parce que le progrès technologique a permis pendant longtemps de délivrer l'Homme de nombre de

contraintes matérielles (mais avec des conséquences néfastes comme le réchauffement climatique, des risques émergents, des maladies professionnelles, etc.).

L'optique de cette réflexion ne concerne pas strictement les aspects de déontologie, d'éthique et de responsabilité mais s'engage dans une analyse des besoins de rentrer dans une approche responsable en recherche, ouverte vers la société, sortant des priorités principales, à cause d'évolutions très importantes dans la cité, ne serait-ce qu'à cause d'une analyse insuffisante des risques associés aux innovations (en évitant d'utiliser le mot connoté négativement d'acceptabilité). Après la fin des trente glorieuses, le contrat moral entre science, technologie et société a montré cependant des limites.

Il n'y a pas volonté d'un affichage morbide d'un monde en totale perte de sens, mais les évolutions scientifiques, technologiques, sociologiques, économiques, démographiques... amènent à réfléchir à des scénarios sortant d'une continuité rassurante... Non, demain ne sera pas comme hier, même si le principe de précaution est inscrit dans notre constitution... Les contraintes temporelles et financières risquent d'occulter de possibles effets néfastes pour la société et pour l'environnement alors que l'arsenal réglementaire, les règles éthiques sont présents pour rappeler les devoirs, réglementaires et moraux, qui doivent gouverner les actions. La présence d'organisations militantes, de plus en plus éduquées, informées de l'émergence de nouveaux sujets scientifiques, se manifeste pour alerter les médias et pour rappeler aux chercheurs leurs engagements en principe humanistes... Toutefois, quand des signaux précoces apparaissent ou sont enfin perçus, personne n'a de réelle expérience du danger lui-même. Dans ce cas, il est possible que les experts ou ceux qui subissent le risque émergent négligent la vraisemblance d'événements rares (Hertwig et Erev, 2009). De même, il est possible qu'existent des phénomènes d'aveuglement éthique pour des organisations qui y ont intérêt (Palazzo, Krings et Hoffrage, 2012). Cependant, il existe de manière évidente des décalages entre besoins de la société en termes de travaux pour des études de dangers, de prévention des risques, d'éducation, d'innovation responsable, d'une part et leur prise en compte par les décideurs pour un financement adapté à la situation, d'autre part (Comité ERS, 2012).

Il est raisonnable de penser que la réflexion éthique ou, de manière plus standardisée, sur les risques ne prendra pas la même dimension, ni la même urgence selon la typologie de l'application de la recherche en cause atteignant le public ou les salariés (Nowotny, Scott, Gibbons, 2003). En termes généraux de prospective, plusieurs thèmes importants émergent dans les évolutions significatives de la société :

- internationalisation des processus de production (et dématérialisation de celle-ci) ;
- relation ambivalente entre innovation et recherche « académique » de plus en plus sous contrôle des donneurs d'ordre ;
- attractivité pour le nouveau technologique, évolutions technologiques en devenir ;
- détérioration de la relation d'emploi standard, dématérialisation des activités de travail, regard nouveau sur la formation des hommes ;
- passage d'une société collective, s'appuyant sur des valeurs partagées, à une société des individus, renforcement des peurs des effets du progrès technologique sur sa santé ;
- flux migratoires importants liés au différentiel de niveau de vie Nord-Sud ;
- marginalisation (en France) des activités de production (et, en tout cas, avec des évolutions notables) ;
- omniprésence de la technologie numérique ;
- passage de la production aux services ;
- limites des réserves..., réchauffement climatique et choix énergétiques ;
- etc.

En termes de scénarios à imaginer, il est envisageable de traiter des aspects « acceptabilité » de manière générale sur la relation technologie-société qui relève de choix de société lourds. Dans une première réflexion, l'auteur envisage certains scénarios généraux liés à ce cadre et tente d'affiner dans une seconde partie les aspects plus spécifiques liés aux RAP.

Relations technologie - société envisageables

De tout ce qui a été présenté, plusieurs scénarios généraux peuvent être proposés.

Scénario 1. Poursuite du progrès technologique

Les aspects attraction plaisir dépassent le simple cadre de l'entreprise pour rentrer dans le développement de l'aide physique aux citoyens disposant d'un niveau de vie en augmentation et de matériels à coûts de production automatisée permettant la diffusion des innovations technologiques. Le développement conjoint des TIC, des nanotechnologies permet même d'intégrer les dispositifs dans la « fabrication » d'un Homme nouveau autoréparable, plus puissant et disposant de sens augmentés grâce à des capteurs intégrés, etc.

Scénario 2. Contraintes liées à l'épuisement des réserves et au réchauffement climatique

Après des désastres liés aux tempêtes, orages, sécheresses divers sur l'ensemble de la planète, à l'augmentation irraisonnée de la population, un blocage global de l'économie apparaît. La situation de la planète - épuisement des réserves, réchauffement climatique, population, etc. - impose aux politiques à l'échelle mondiale d'agir de manière cohérente et coercitive (notion de « fascisme écologique ») : des choix d'économies spécifiques en termes d'énergie, de matériaux rejettent les technologies consommatrices non inscrites dans la diminution de l'impact écologique. La rationalité des choix technologiques et de société crée un « meilleur des mondes » où la place de chacun est définie, sans liberté réelle de choix individuel.

Scénario 3. Rejet de la technologie

Une situation analogue à celle présentée dans le scénario 2 peut apparaître mais de manière plus douce, liée à la prise en compte des problèmes affectant la planète par chaque citoyen (développement de l'écologie militante pour accéder au pouvoir démocratique). La définition du meilleur des mondes présenté en scénario 2 est sensiblement la même, mais s'appuyant cependant sur des bases d'un meilleur consensus.

Scénario 4. Guerre mondiale

Les problèmes Nord-Sud s'amplifient ; la société occidentale associée à la Chine (ou plus simplement la Chine toute seule) veulent maintenir leur capacité de développement économique, même au détriment des autres populations. Pour accéder aux minerais stratégiques et à l'énergie, le développement technologique est une clé du succès pour soutenir les dispositifs militaires et de police. En même temps, c'est pouvoir remplacer des humains éduqués par des machines dont le coût financier et psychologique est bien plus faible...

Hypothèses

Hypothèse 1

Cette hypothèse se caractérise par une omniprésence d'un principe de précaution appliqué sous sa forme la plus extrême. Cette précaution exacerbée appliquée par les pouvoirs publics est le fruit de la très forte « risquophobie » de la société, elle-même consécutive à la succession de différentes crises sanitaires et environnementales (médicaments, exposition non contrôlée à différents types de polluants, scandales alimentaires, etc.).

Hypothèse 2 (tendancielle)

Cette hypothèse correspond à une utilisation raisonnée du principe de précaution tel qu'il est inscrit dans la constitution. Elle donne toute sa place aux échanges réguliers entre les experts et la société. Ces échanges prennent notamment la forme d'études d'évaluation concertée des risques, dans un contexte de négociations multilatérales entre les différentes parties prenantes.

Hypothèse 3

Une utilisation extrêmement restrictive du principe de précaution le vide de sa substance. Confrontée à de fortes difficultés économiques et à une perte de repères éthiques, la population générale ne se sent plus concernée par les débats moraux ou de santé publique. Le principe de précaution devient alors un instrument dans les mains de certains groupes de pression socio-économiques qui biaisent les débats de société. Ce détournement se traduit par une contrainte de l'acceptation du risque.

Hypothèse 4

La société est contrainte à de fortes prises de risques dues à des contraintes de survie, liées à une crise économique et/ou une crise écologique et/ou une crise politique grave (guerre), etc.

Bibliographie

- Anders G. L'obsolescence de l'Homme. Paris, Ivrea Éd., 2002.
- André J.C. « Anticipation des risques : les nouvelles ne sont pas bonnes ». Environnement, Risques et Santé 9, 231-240 (2010).
- Badiou A. Second manifeste pour la philosophie. Paris, Fayard, Champs-Essais, 2009.
- Barbier J.M. L'analyse de la singularité de l'action. Paris, PUF, 2000.
- Benasayag M., Sztulwark. Du contre-pouvoir. Paris, La découverte, 2002.
- Besnier J.M. « La connaissance scientifique aujourd'hui : que devient la science ? Que devient l'idée qu'on s'en fait ? » 79-106 in J.M. Besnier, E. Klein, H. Le Guyader, H. Wismann Ed, « La science en jeu ». Paris, Actes Sud/IHES, 2010.
- Berns T., Blésin L., Jeanmart G. Du courage. Paris, Les belles lettres, 2010.
- Blamont J. Introduction au siècle des menaces. Paris, O. Jacob, 2004.
- Comité de rédaction ERS. « La recherche en santé environnementale est-elle en danger en France ? » Environnement, Risques et Santé, 2012, 11, 87-88.
- Debonneuil M. L'espoir économique : vers la révolution du quaternaire. Paris, Bourin, 2007.
- Debord G. Œuvres. Paris, Gallimard, 2006.
- De Conninck F. L'Homme flexible et ses appartenances. Paris, L'Harmattan, 2003.
- Déoux P.G., Baillard V. Inforoute, urbanisme et aménagement du territoire : les effets de l'émergence des nouvelles technologies de communication sur l'aménagement du territoire. Mémoire présenté à la commission de la culture du Québec – Canada, 44 p., 1997.
- Desroches A., Leroy A., Vallée F. gestion des risques. Paris Lavoisier, 2003.
- Duclos D. « Le risque nucléaire : la gestion politique du risque passe-t-elle par l'extinction de l'espèce des gestionnaires ? » In CRESAL « Les raisons de l'action publique : entre expertise et débat ». Paris, L'Harmattan, 1993, pp 263-277.
- Ewald F. L'acceptabilité du risque au seuil du XXIème siècle : de nouveaux modes de régulation s'imposent. Passages, 1998, 93, 22-24.
- Fioraso G. « Les enjeux de la biologie de synthèse » Rapport de l'OPECST, Assemblée nationale et Sénat, Paris, 2012.
- Foot D. Boom, Bust and Echo. Toronto, Stoddart Éd., 1996.
- Foot D. « Le marché du travail entre le boom et l'écho ». Bien Vieillir, 2005, 11, 1-4.
- Fressoz J.B. « Gaz, gazomètres, expertises et controverses ; Londres, Paris 1815-1860 ». Courrier de l'environnement de l'INRA, 2012, 62, 31-56.
- Garat E. « Enquête exploratoire sur les avantages et les risques des partenariats des entreprises développant ou utilisant des nanotechnologies au Québec » Ecole polytechnique de Montréal, 2013. http://publications.polymtl.ca/1044/1/2012_Garat%C3%89ric.pdf
- Giarini O., Stahel W.R. Les limites du certains : affronter les risques dans une nouvelle économie de service. Lausanne, Presses polytechniques universitaires romandes, 1990.
- Girard R. Les origines de la culture. Paris, Pluriel, 2008.
- Gras A. Fragilité de la puissance : se libérer de l'emprise technologique. Paris, Fayard, 2003.
- Grobe A., Renn O., Jaeger A. Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics. Genève, International Risk Governance Council, 2008. http://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC_Report_FINAL_For_Web.pdf
- Henry C. « Le « je » intellectuel et le « jeu » interdisciplinaire ». Le Genre humain, 1998, 33, 155- 170.
- Hertwig R., Erev I. « The description-experience gap in risky choice » Trends in Cognitive Science, 2009, 13, 517-523.

- Huxley A. Le meilleur des mondes. Paris, Le livre de poche, 2001 [1^e édition 1932].
- Juvin A., Lipovetski G. L'occident mondialisé : controverses sur la culture planétaire. Paris, Grasset/Livre de poche, 2010.
- Kania J., Kramer M. « Embracing emergence: How collective impact addresses complexity » *Stanford Social Innov. Rev.* 1-15 (January 2013).
- Karpik L. L'économie des singularités. Paris, Gallimard- NRF, 2007.
- Kauffman J.C. L'invention de soi. Paris, A. Colin, 2004.
- Kouabenan D.R., Cadet B., Hermand D., Muñoz-Sastre M.T.M. Psychologie du risque : Identifier, évaluer, prévenir. Bruxelles, De Boeck, 2006.
- Lambert C. La société de la peur. Paris, Plon, 2005.
- Le Menestrel M., Rode J. (« 25- Why did business not react with precaution to early warning? » 639-651 *OCDE* , Paris, 2011.
- Lévy-Leblond J.M. La pierre de touche ; la science à l'épreuve... Paris, Folio-Essais, 1996.
- Meur-Férec C. « De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe ». Mémoire en vue de l'habilitation à diriger des recherches (HDR), université de Nantes, 2006.
- Minc A. Ce monde qui vient. Paris, Grasset, 2004.
- Nowotny H., Scott P., Gibbons M. Repenser la Science. Paris, Belin, 2003.
- Rocher G. « Évolution de l'institution régulatrice de la recherche » 45-55 in A. Turmel Éd. « Culture, institution et savoir » Presses de l'Université Laval Éd., Québec, 1997.
- Palazzo G., Krings F., Hoffrage U. « Ethical blindness ». *J. Business Ethics*, 2012, 109, 333-338.
- Pavie X. Innovation responsable. Paris, Eyrolles, 2012.
- Prigogine I., Stengers I. La nouvelle alliance : la métamorphose de la science. Paris, Gallimard, 1986.
- Ramonet I. Propagandes silencieuses. Paris, Folio-Actuel, 2004.
- Romer P.M. « The origin of endogenous growth » *J. Economics Persp.* 8, 3-22, 1994.
- Sébillote M. Avenir de l'agriculture et futur de l'INRA. Paris, INRA, 1993.
- Stengers I. L'invention des sciences modernes. Paris, Champs Sciences, 1995.
- Thomson W. Popular lectures and addresses. Londres, Mac Millan, 1889.
- Wynne B. « Scientific uncertainties and policy decisions. Towards a new strategic framework ». Colloque « Les experts sont formels. Controverses scientifiques et décisions politiques dans le domaine de l'environnement ». Arc et Senans, 11-13 septembre 1990.

Acceptabilité des robots (société, entreprises, prescripteurs)

Guy WELITZ, INRS.

Définition

Cette variable traite de l'acceptabilité des robots par la société, les entreprises et les prescripteurs (État, assureurs, organisations professionnelles, organismes divers...).

Indicateurs

Une étude « *Public Attitudes towards Robots* » menée par la Commission européenne¹ publiée en septembre 2012 sur les attitudes du public envers les robots donne les principales conclusions suivantes :

- « Un quart des citoyens de l'UE est «très intéressé» par les découvertes scientifiques et les développements technologiques et la moitié «modérément» intéressé, bien que la proportion à exprimer un grand intérêt va de 9 % en République tchèque à 43 % à Chypre et dépend de l'âge, de l'éducation et la profession. L'intérêt pour les découvertes scientifiques et les développements technologiques est un facteur important dans l'explication et la compréhension de l'opinion des personnes sur les robots.
- L'image que les citoyens de l'UE ont d'un robot est également positive, plutôt celle d'un équipement en tant que machine que celle d'une machine de type humain, mais à Malte, à Chypre, en Espagne et en Bulgarie les deux images correspondent de façon égale à l'idée que les gens se font des robots.
- Peu de citoyens de l'UE ont l'expérience des robots : au total, 12 % des citoyens européens ont utilisé ou utilisent actuellement un robot : 6 % ont une expérience d'utilisation d'un robot à la maison et 6 % ont utilisé ou utilisent actuellement un robot





























¹ TNS Sofres a qui cette étude a été confiée a questionné 26 751 Européens

au travail. Les niveaux d'expérience personnelle sont les plus élevés en Slovaquie, en Pologne, en Italie, en Slovénie et les moins élevés en Grèce, Bulgarie, Chypre et Malte.

- La majorité des citoyens de l'UE a une vision positive des robots. Bien qu'il existe des variations entre les pays, la majorité des citoyens de l'UE dans tous les États membres ont une opinion positive, avec des pourcentages allant de 54 % en Grèce et à Malte à 88 % au Danemark et en Suède.
- Les citoyens européens ont bien des points de vue spécifiques précis sur les robots : d'un côté ils expriment l'aspect utilitaire, les robots sont utiles et bons parce qu'ils font des travaux trop pénibles, trop dangereux ou d'assistance aux personnes, de l'autre, ils expriment une certaine prudence dans la mesure où les robots volent les emplois et nécessitent d'être exploités attentivement. Cependant, il existe des variations considérables entre les États membres et entre les différents groupes sociaux.
- Les citoyens de l'UE ont également des points de vue bien définis sur les domaines d'application des robots et ceux dans lesquels leur utilisation devrait être interdite : ils doivent être utilisés en priorité dans les domaines trop pénibles ou trop dangereux pour l'homme, comme l'exploration spatiale (52 % prioritaire), la production manufacturière (50 %), le domaine militaire et de la sécurité (41 %), les tâches de recherche et de sauvetage (41 %), il est largement admis que les robots doivent être interdits dans les soins aux enfants, aux personnes âgées ou aux personnes handicapées (60 %) avec d'importantes minorités qui veulent aussi une interdiction quand il s'agit d'autres domaines «humains» comme l'éducation (34 %), la santé (27 %) et les loisirs (20 %).
- Un calcul de la différence entre le pourcentage de citoyens de l'UE qui considèrent chacun de ces domaines d'applications possibles comme une priorité et le pourcentage de ces domaines qui devraient être interdits, révèle que le soutien à l'utilisation de robots est le plus répandu quand il s'agit de l'exploration spatiale (une différence de point + 51) et la production manufacturière (+ 46), alors que l'opposition à l'utilisation de robots est la plus répandue quand il s'agit de la prise en charge des personnes (- 56) et l'enseignement (- 31).
- En accord avec ces résultats, les citoyens européens sont relativement favorables à l'idée d'un robot les aidant au travail (48 % des répondants donnent une note de 7 sur une échelle allant jusqu'à 10), mais totalement défavorables à l'idée d'avoir leurs enfants ou des parents âgés pris en charge par un robot (66 % ont choisi la note 1). De même, les citoyens de l'UE ne sont pas particulièrement désireux qu'une opération médicale soit effectuée sur eux par un robot ou que leur chien soit promené par un robot. Pour les deux tâches, la réponse la plus fréquemment donnée par les répondants dans tous les États membres est de 1 sur 10.
- Selon la majorité des citoyens de l'UE, dans un proche avenir, les robots faisant le ménage ne deviendra pas une banalité : en gros, seulement 12 % le pensent, soit que c'est déjà courant (4 %) soit que ce sera monnaie courante d'ici 5 ans (8 %).

L'étude montre que les Français sont parmi les Européens les moins optimistes sur l'impact social de la robotique : 67 % des Français interrogés disent avoir une image positive des robots, ce qui les place en 20^{ème} position sur les 28 pays, alors que les pays du nord sont beaucoup plus optimistes (88 % en Suède et au Danemark, 87 % au Pays-Bas, 85 % en Finlande).

À la question « *Veillez me dire dans quelle mesure vous êtes d'accord ou pas d'accord avec la proposition suivante concernant les robots : l'utilisation étendue des robots peut stimuler la création d'emplois dans l'UE* », 59 % des Français interrogés ne sont pas d'accord, 34 % sont d'accord, 7 % ne se prononcent pas, seuls trois autres pays sont encore plus pessimistes (Luxembourg, Slovaquie, Hongrie).

| | Tout à fait d'accord | Plutôt d'accord | Plutôt pas d'accord | Pas du tout d'accord | NSP | Total 'D'accord' | Total 'Pas d'accord' |
|---|-------------------------|-----------------|---------------------|---------------------------|---------|--------------------|--------------------------|
| | Totally agree | Tend to agree | Tend to disagree | Totally disagree | DK | Total 'Agree' | Total 'Disagree' |
| | Stimme voll und ganz zu | Stimme eher zu | Lehne eher ab | Stimme überhaupt nicht zu | WN | Gesamt 'Stimme zu' | Gesamt 'Stimme nicht zu' |
| % | EB 77.1 | EB 77.1 | EB 77.1 | EB 77.1 | EB 77.1 | EB 77.1 | EB 77.1 |
|  EU 27 | 10 | 29 | 34 | 17 | 10 | 39 | 51 |
|  BE | 9 | 35 | 40 | 14 | 2 | 44 | 54 |
|  BG | 20 | 26 | 19 | 12 | 23 | 46 | 31 |
|  CZ | 9 | 27 | 41 | 16 | 7 | 36 | 57 |
|  DK | 27 | 38 | 23 | 7 | 5 | 65 | 30 |
|  DE | 11 | 31 | 38 | 14 | 6 | 42 | 52 |
|  EE | 11 | 27 | 35 | 18 | 9 | 38 | 53 |
|  IE | 13 | 30 | 19 | 16 | 22 | 43 | 35 |
|  EL | 10 | 29 | 32 | 24 | 5 | 39 | 56 |
|  ES | 11 | 24 | 30 | 26 | 9 | 35 | 56 |
|  FR | 8 | 26 | 39 | 20 | 7 | 34 | 59 |
|  IT | 10 | 35 | 28 | 15 | 12 | 45 | 43 |
|  CY | 10 | 20 | 26 | 32 | 12 | 30 | 58 |
|  LV | 14 | 30 | 31 | 19 | 6 | 44 | 50 |
|  LT | 13 | 39 | 28 | 11 | 9 | 52 | 39 |
|  LU | 7 | 27 | 40 | 22 | 4 | 34 | 62 |
|  HU | 5 | 18 | 36 | 37 | 4 | 23 | 73 |
|  MT | 12 | 25 | 27 | 18 | 18 | 37 | 45 |
|  NL | 11 | 31 | 40 | 10 | 8 | 42 | 50 |
|  AT | 13 | 37 | 32 | 12 | 6 | 50 | 44 |
|  PL | 8 | 27 | 40 | 13 | 12 | 35 | 53 |
|  PT | 8 | 31 | 31 | 17 | 13 | 39 | 48 |
|  RO | 14 | 22 | 25 | 24 | 15 | 36 | 49 |
|  SI | 10 | 23 | 37 | 26 | 4 | 33 | 63 |
|  SK | 15 | 31 | 36 | 13 | 5 | 46 | 49 |
|  FI | 9 | 48 | 32 | 5 | 6 | 57 | 37 |
|  SE | 11 | 40 | 31 | 11 | 7 | 51 | 42 |
|  UK | 8 | 26 | 33 | 16 | 17 | 34 | 49 |

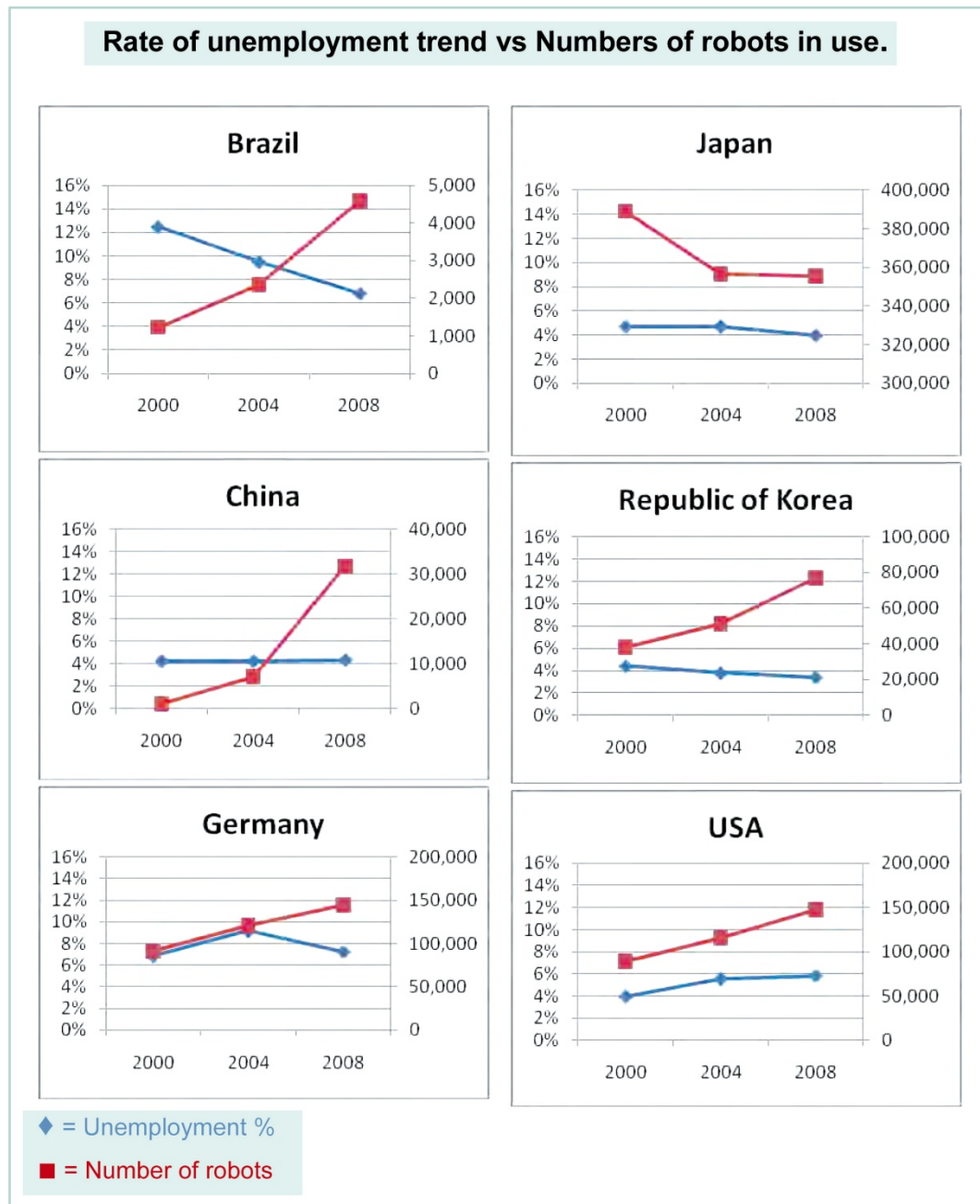
Source : Étude « Public Attitudes towards Robots » TNS Sofres.

Les Français ont de fortes réticences par rapport à la moyenne européenne dans l'utilisation de robots pour des tâches telles que la veille sur des enfants/des personnes âgées ou l'enseignement, ce qui n'est pas le cas pour les applications médicales, la fabrication, les secours, le spatial.²

² http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_382_en.pdf

<http://www.numerama.com/magazine/23758-74-des-francais-craignent-que-les-robots-detruisent-de-l-emploi.html>

Sur l'impact des robots industriels sur l'emploi, l'IFR (International Federation of Robotics)³ a publié les données suivantes concernant la tendance du taux de chômage en fonction du niveau de robotisation.



Au cours des huit années couvertes par l'étude, le niveau d'utilisation des robots a connu une forte croissance dans l'ensemble de ces pays (à l'exception du Japon). La proportion de la population active qui est sans emploi n'a guère changé pendant cette période.

Il semble qu'il n'y ait pas de corrélation entre le taux de chômage et le niveau de robotisation des pays.

³ Etude Metra Martech de 2011

Selon l'étude Metra Martech, s'il y a une réduction des emplois peu qualifiés, un million de robots permet de créer trois millions d'emplois directs. Il y a aussi une réorientation des emplois peu qualifiés vers des emplois plus qualifiés et moins pénibles. L'accroissement de la robotisation dans les entreprises engendre une meilleure qualité de production car la part de l'humain consacrée à celle-ci croit en temps disponible.

Selon AABOR Technologies : « *Il existe un blocage psychologique de la part des industriels des TPE/PME qui estiment que les robots sont destructeurs d'emploi. Et pourtant, cette vision à court terme ne reflète pas la réalité. En effet, on peut constater, chez nos voisins européens qui sont plus équipés que la France en parc robotique, que l'Italie a conservé son industrie manufacturière par des gains de productivité et que l'Allemagne a réussi à se positionner comme leader sur ses exportations.* »⁴

Rétrospective / Prospective

La France, avec la loi du 6 décembre 1976 et ses décrets d'application du début des années 1980, s'est dotée d'une réglementation afin d'intégrer la sécurité lors de la conception des machines. Dans le cadre de la libre circulation des marchandises, l'Union européenne a élaboré en 1989 la directive Machines⁵, inspirée de cette réglementation française.

Le robot et l'application qui en est faite sont soumis à cette directive, avec des exceptions : ceux utilisés en contact direct avec les patients⁶, ceux conçus pour un usage nucléaire dont la défaillance peut engendrer une émission de radioactivité⁷ et ceux destinés aux applications militaires.

Au sein de l'Union européenne, le responsable de la mise sur le marché d'une machine doit apposer un marquage CE par lequel il s'engage à respecter les exigences essentielles de santé et de sécurité (appelées règles techniques dans le code du travail) fixées par la directive et respecter des procédures.

Ce marquage CE engage le responsable de la mise sur le marché vis-à-vis de l'ensemble des directives applicables (basse tension, compatibilité électromagnétique...). La normalisation vient en appui de cette réglementation : le respect des normes harmonisées européennes vaut présomption de conformité aux directives applicables à l'équipement.

Dès l'origine de ces textes, parmi les règles techniques applicables, la réglementation impose des dispositions constructives pour éviter les risques mécaniques (coincement, cisaillement, écrasement, choc...), et d'autres risques tels que brûlures, rayonnements...

⁴ http://www.ifr.org/uploads/media/Metra_Martech_Study_on_robots_O2.pdf
<http://www.arbor-technologies.com/wp-content/uploads/2012/10/Sujet-La-place-des-robots-dans-les-industries-agroalimentaires-finale.pdf>

⁵ A l'origine, directive 89/392/CEE. Ce texte a évolué, c'est désormais la directive 2006/42/CE

⁶ Soumis à la directive relative aux dispositifs médicaux

⁷ Soumis à des dispositions propres au domaine nucléaire

Sur la partie commandes des dispositions doivent éviter notamment les risques liés aux démarrages intempestifs ou au non arrêt (machine folle/robot fou).

Pour les risques mécaniques et autres risques sur les machines ne nécessitant pas l'intervention humaine pendant que se déroule le processus dangereux (ce qui était globalement le cas de la robotique jusqu'à présent), le principe à respecter est l'interdiction totale d'accès (l'encagement). Pour certaines opérations, telles que le réglage nécessitant la présence humaine à proximité des phénomènes dangereux, des mesures complémentaires sont à mettre en œuvre (commande à action maintenue, vitesse lente...).

Pour les circuits de commande gérés électromécaniquement ou par composants discrets, les mesures à prendre sont bien connues depuis longtemps (commun des bobines et masse métalliques reliés à la terre...) et les textes ont contribué à les mettre en œuvre.

Dans les années 1980, lors du déploiement des systèmes de commande par des logiques à processeur (automates programmables notamment), les préventeurs se sont interrogés vis-à-vis de leur susceptibilité aux perturbations conduites ou rayonnées et ont préconisé des dispositions constructives (nombreuses recherches et publications sur le sujet, notamment de l'INRS).

Cela a conduit à ne pas admettre la gestion des sécurités par de simples logiques à processeurs, il est nécessaire de mettre en œuvre des dispositions spécifiques (séparation physique des parties puissance et commande, blindage des circuits, emploi d'APIDS (automates programmables dédiés à la sécurité)...

En examinant les accidents impliquant des robots depuis 1985 sur la base Epicea^B, il s'avère que sur 29 accidents répertoriés, 1 seul met en cause le circuit de commande. Tous les autres concernent une mauvaise protection périmétrique pour interdire l'accès à la zone de travail du robot ou la non prise en compte de dispositions complémentaires telles que vitesses lentes et commandes à action maintenue en mode apprentissage. Ce n'est donc pas la partie commande qui pose problème dans l'accidentologie liée aux robots actuellement.

Mais la robotique évolue : le robot sort de sa cage pour être collaboratif, interactif avec l'homme et être de plus en plus autonome. La prévention des risques dans ces situations, bien que complexe, ne devrait pas poser de problèmes insolubles compte tenu notamment de l'évolution des capteurs (dispositifs sensibles, imagerie, reconnaissance vocale...).

Cependant, les progrès permettent de concevoir des intelligences artificielles de plus en plus complexes, les robots sont déjà capables d'apprendre par eux-mêmes pour se comporter et prendre des décisions en fonction du milieu où ils évoluent. Les robots intelligents arrivent (rupture technologique).

« Dans un laboratoire de Lyon (Rhône), des chercheurs de l'Inserm ont développé iCub, un robot d'études qui a appris à parler comme les humains. Il est capable d'analyser seul son environnement et de formuler ses propres phrases. Mieux, il comprend ce qu'on lui dit et peut exécuter des ordres. Le plus étonnant, c'est que les chercheurs n'ont pas programmé le robot pour qu'il puisse réaliser ces exercices. Celui-ci a appris tout seul. »

^B Cette base de données répertorie les accidents du travail signalés par les Carsat, Cram...

« À l'avenir, des protéines vivantes pourraient entrer dans les ordinateurs et en doper les performances. Le futurologue Ray Kurzweil estime ainsi que "nous aurons des ordinateurs humanisés dans 20 ans". »⁹

La robotique actuelle est maîtrisable/maîtrisée, nous ne sommes pas dans des débats tels ceux sur les OGM ou les gaz de schiste, où chaque pays se comporte en fonction de ses convictions (principe de précaution pour les uns, rentabilité pour les autres).

Mais un avenir inouï s'ouvre à la robotique : quelles en seront les dérives ? qu'en sera-t-il bientôt des robots intelligents ?

Qu'en sera-t-il des trois lois de la robotique, édictées en 1942 par Isaac Asimov, écrivain de science-fiction ?

1. Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger.
2. Un robot doit obéir aux ordres que lui donne un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la Première loi.
3. Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la Première ou la Deuxième loi.

Dans ses écrits Isaac Asimov a ajouté une loi zéro afin de placer la sécurité de l'humanité avant celle d'un individu.

« En mars 2007, le gouvernement sud-coréen a annoncé que plus tard dans l'année, il émettrait une Charte sur l'éthique des robots, afin de fixer des normes pour les utilisateurs et les fabricants. Selon Park Hye-Young, du ministère de l'Information et de la Communication, la Charte reflète les trois lois d'Asimov : la tentative de définition des règles de base pour le développement futur de la robotique. »¹⁰

L'opinion publique, les entreprises, les prescripteurs, contribueront-ils à fixer des limites à certains développements technologiques de la robotique ? C'est très fortement probable, mais cela se fera-t-il de façon uniforme au plan international ou bien verrons-nous des positions différentes selon les régions du monde ou les États comme c'est le cas pour les OGM par exemple ?

Quels seraient les événements possibles conduisant à un rejet des RAP (et d'une façon générale de la robotique) ?

- Prise de décision ou absence de décision par le robot aux conséquences graves (avec les problèmes juridiques sous-jacents en termes de responsabilité).
- Mauvais usage des robots par les humains.
- Programmation des robots collaboratifs conduisant à des situations de stress et de surmenage sous prétexte de rentabilité.
- Accroissement significatif du chômage dans les emplois peu qualifiés.
- Etc.

⁹ http://www.francetvinfo.fr/video-faut-il-avoir-peur-des-robots-intelligents_320405.html

¹⁰ http://fr.wikipedia.org/wiki/Trois_lois_de_la_robotique

Mais la robotique peut aussi être une réponse économique des pays occidentaux à une main d'œuvre à bas prix, surexploitée, dans les pays émergents.¹¹

Hypothèses

Hypothèse 1

Aucun rejet notable (cadre normatif adapté).

Hypothèse 2

Aucun rejet notable sauf dans certains secteurs dont l'aide à la personne (résistance psychosociale).

Hypothèse 3

Freins au développement dans certains pays par crainte du chômage et des dérives des robots « intelligents ».

Hypothèse 4

Aucun rejet notable ni de cadre normatif.

¹¹ <http://www.exponaute.com/magazine/2012/11/08/il-faut-relativiser-notre-peur-des-robots/>

http://www.onversity.net/cgi-bin/progactu/actu_aff.cgi?Eudo=bgteob&P=00000489

Évolutions technologiques

Adel SGHAIER, INRS.

Introduction

Le développement de la robotique et en particulier la robotique d'assistance physique (RAP) s'appuie sur des évolutions technologiques dans différents domaines. Ces évolutions peuvent conditionner le devenir des RAP à l'horizon 2030. Il est donc important d'identifier les secteurs technologiques clefs pour la robotique d'assistance physique et d'anticiper les innovations possibles. La variable « évolutions technologiques » doit couvrir les aspects technologiques susceptibles d'influencer le plus fortement les RAP.

Dans notre exercice de prospective, nous nous sommes orientés vers une définition large de la robotique d'assistance physique afin de couvrir le plus de cas possible. De plus, toute innovation dans le domaine de la robotique en général peut avoir des retombées directes sur le développement des RAP. C'est pour cette raison que, dans le cadre de l'étude de la présente variable, nous nous intéressons aux évolutions technologiques qui concernent la robotique au sens large du terme.

On retrouve différentes définitions du robot et de la robotique dans la littérature. La norme ISO/FDIS 8373¹, qui spécifie le vocabulaire de la robotique, définit un robot comme étant un « mécanisme programmable actionné sur au moins deux axes avec un degré d'autonomie, se déplaçant dans son environnement, pour exécuter des tâches prévues. (Le robot inclut le système de commande et l'interface de communication) ». Le professeur Frédéric Lerasle définit quant à lui la robotique comme suit : « La Robotique étudie la conception de machines intelligentes capables de perception, de décision, de mouvement, et d'action dans un environnement ouvert ou confiné, dynamique, imparfaitement modélisé, voire inconnu »². À travers ces deux définitions, on peut distinguer quatre domaines technologiques clefs pour la robotique :

- la mécatronique (mécanique-électronique),
- la perception,
- la locomotion,
- le comportement (commande) et l'intelligence artificielle.

¹ ISO/FDIS 8373 : Robots et composants robotiques. Vocabulaire (version 2011).

² Frédéric Lerasle. Perception pour la robotique mobile en environnement humain. Rapport d'habilitation à diriger des recherches. Université Paul Sabatier de Toulouse. LAAS-CNRS, 2008.

La mécatronique

La mécanique et l'électronique embarquées dans les robots ont connu des évolutions technologiques importantes ces dernières années. Ces évolutions sont extrêmement marquées au niveau de la miniaturisation des composants. On est capable de concevoir de nos jours des actionneurs et des cartes électroniques de plus en plus compacts. Les domaines représentatifs des avancées technologiques dans le champ de la mécatronique peuvent être soit de nature mécanique et concerner les actionneurs, l'architecture mécanique (robot et partie terminale) et les matériaux par exemple, soit de nature électrique ou électronique et seront orientés, dans ce cas, vers la gestion de l'énergie.

Avancées mécaniques

Les avancées en mécanique concernent principalement les actionneurs. Ces évolutions ont lieu aussi bien sur la nature des actionneurs que sur les techniques de transmission de mouvement. Les actionneurs utilisés classiquement en robotique industrielle : moteurs électriques et actionneurs hydrauliques ou pneumatiques se voient compléter par des actionneurs bio-inspirés. La robotique humanoïde ou de service peut faire appel à ce genre d'actionneurs pour obtenir plus de souplesse dans le mouvement du robot. Des muscles artificiels sont ainsi utilisés pour concevoir certaines mains robotisées en utilisant un principe pneumatique ou à câbles ou même pour concevoir la totalité des actionneurs d'un robot humanoïde.

L'utilisation d'actionneurs électriques à raideurs variables est un autre exemple d'évolution technologique dans le domaine mécanique. Cette dernière évolution permet d'augmenter la souplesse des articulations d'un robot travaillant à proximité de l'homme. Une telle solution augmente la sécurité du robot mais peut cependant avoir des répercussions négatives sur ses performances et sur sa productivité.

Avancées électriques/électroniques

Les progrès technologiques aux niveaux électrique et électronique sont moins importants que ceux faits en mécanique. En effet, l'électronique est un domaine bien maîtrisé depuis quelques années. Quelques avancées existent néanmoins dans ce domaine et tournent autour de la miniaturisation et de l'économie d'énergie.

Prospective

Une étude d'EUROP (*European Robotics Technology Platform*)³ nous donne une idée des évolutions technologiques auxquelles on peut s'attendre dans le domaine de la perception. Cette étude prévoit :

D'ici à 2015

Amélioration :

- des performances des articulations à raideurs variables,
- de la performance énergétique des actionneurs.

³ EUROP, *Robotic Visions : To 2020 and Beyond*, 2009.

Développement :

- des mains robotiques pour la manipulation d'outils pour humains,
- de matériaux bio-inspirés et sensibles.

À plus long terme (2020 et plus)

Développement :

- d'actionneurs de plus en plus puissants tout en réduisant la consommation énergétique,
- de micro-actionneurs,
- de mains robotiques habiles,
- des méthodes permettant l'utilisation de deux mains robotiques simultanément.

Utilisation :

- de nanomatériaux pour la fabrication de robots et notamment les robots médicaux intrusifs,
- des matériaux bio-inspirés,
- de tissus vivants pour la fabrication de robots.

La perception

La perception de l'environnement est un élément technologique clef pour la robotique. En effet, un robot a besoin de récolter et d'interpréter les informations de l'environnement dans lequel il agit. Ce besoin est primordial pour les robots mobiles pour lesquels la connaissance de l'environnement est une condition nécessaire pour la navigation. Mais on retrouve également un besoin de perception pour les robots à base fixe.

Le rapport PIPAME définit la perception comme étant : « la capacité d'un système robotisé de se construire une représentation du monde physique à partir de données perçues par différents types de capteurs ». En effet, un robot est généralement équipé de capteurs de différents types. Les capteurs utilisés en robotique peuvent être classifiés comme suit :

- **Capteurs extéroceptifs** : il s'agit de capteurs qui informent le robot sur son environnement extérieur. Ils sont souvent utilisés pour la navigation et la détection d'obstacles. On retrouve des capteurs de différentes natures dans cette catégorie : les caméras (3D et 2D), les capteurs ultrasons, les télémètres lasers.
- **Capteurs proprioceptifs** : ces capteurs permettent au robot d'obtenir des informations sur son état. Ces capteurs vont du classique codeur qui permet de connaître la position angulaire d'une articulation aux capteurs de vitesse, accéléromètres, gyroscopes ou capteurs GPS.
- **Capteurs de contact** : permettent au robot de récolter des informations sur son interaction avec l'environnement. On retrouve dans cette catégorie les capteurs tactiles permettant de détecter le contact du robot avec un objet comme par exemple les capteurs capacitifs, les bords sensibles...

Possibilités et limites de la technologie de perception

Capteurs extéroceptifs (navigation)

Il existe une large variété de caméras 3D utilisées en robotique. Ces caméras sont surtout utilisées pour guider les robots mobiles ou pour l'asservissement visuel de robots industriels ou médicaux. La plupart des solutions basées sur cette technologie reste coûteuse à l'exception des caméras TOF (*Time Of Flight*) utilisées pour les jeux comme la « Kinect ». La difficulté majeure de l'utilisation des caméras 3D pour la navigation et la détection d'obstacles est le traitement qu'il est nécessaire de réaliser afin d'extraire les données utiles. En effet, ces informations sont généralement complexes à extraire et nécessitent de la reconnaissance de formes/objets. Cette technologie est également très sensible au bruit.

Les capteurs ultrasons et télémètres lasers sont généralement utilisés pour détecter des obstacles. En effet, dans les deux techniques, un signal est émis par le capteur et réfléchi par l'obstacle ce qui permet de déterminer la distance. Cette technologie souffre essentiellement de la réactivité faible des capteurs et des limitations de la portée. En effet, le temps disponible pour commander une réaction du robot est d'autant plus important que la portée et la réactivité du capteur sont grandes.

Capteurs proprioceptifs

Les capteurs proprioceptifs pour la robotique industrielle comme les codeurs de positions angulaires bénéficient d'avancées technologiques importantes. On dispose à l'heure actuelle de solutions assez abouties respectant les impératifs de sécurité en industrie. L'utilisation de codeurs de sécurité rend possible certains modes de collaboration homme/robot en industrie.

Les autres types de capteurs proprioceptifs (accéléromètres, gyroscopes, GPS) sont plutôt utilisés pour les robots de service et surtout pour les robots mobiles. Ils peuvent être associés à la capture extéroceptive (vision, laser, ultrason) à travers une fusion de données afin de permettre la navigation de robots mobiles. Ces capteurs souffrent le plus souvent d'une précision insuffisante et surtout d'une dérive des mesures dans le temps.

Capteurs de contacts

L'utilisation des bords sensibles est la technologie la plus répandue dans le monde industriel. Ce type de capteur est utilisé sur des robots mobiles ou sur les parties mobiles de robots fixes afin de détecter des collisions dans l'environnement. Cette technologie a abouti et a une fiabilité qui lui permet de répondre aux exigences de sécurité du monde industriel. Les capteurs de contacts peuvent exister sous forme tactile, capacitive ou par mesure d'effort. L'une des limites de ce type de solution est leurs temps de réponse importants. En effet, il est nécessaire d'avoir un temps de réponse très faible afin de pouvoir stopper la collision le plus tôt possible.

Prospective

Mises à part les solutions industrielles pour lesquelles il existe des dispositifs fiables commercialisés, les capteurs pour la perception font encore l'objet de recherches. Par exemple, les systèmes de vision qui sont le plus souvent utilisés en robotique mobile sont de plus en plus performants mais n'ont pas la fiabilité de détection nécessaire (fausses détections et non-détections). Ceci peut être dû au manque de précision des capteurs

mais c'est le traitement des données qui est le plus souvent à l'origine de ces difficultés. On pourra trouver dans la littérature des systèmes a priori assez aboutis comme le système de perception utilisé dans le projet *Google car* qui permet à une voiture de naviguer sur les routes sans l'assistance du conducteur. Cette navigation se fait après une reconnaissance au préalable des routes et des panneaux d'indications. Un article du *New York Times* souligne néanmoins la difficulté pour l'instant d'utiliser cette solution du fait de son incapacité à reconnaître les formes humaines et notamment les recommandations d'un agent de police. On peut s'attendre à des avancées importantes dans les années à venir dans le domaine de la capture par vision. Néanmoins, il est difficile d'imaginer que d'ici à 2030, on dispose de capteurs complètement fiables. On peut néanmoins raisonnablement espérer une avancée importante dans le domaine des capteurs proprioceptifs et des capteurs de contacts.

L'étude EUROP identifie les évolutions technologiques futures dans ce domaine comme étant :

D'ici à 2015

- développement de la capture vidéo à plus haute fréquence,
- une amélioration de la qualité des capteurs par vision 3D,
- des scanners lasers sans balayage,
- des algorithmes de navigation plus performants et fonctionnant dans des environnements fortement aléatoires,
- des algorithmes de détection de collisions prenant en compte les obstacles dynamiques.

À plus long terme (2020 et plus)

- du traitement vidéo intégré dans les caméras avec des processeurs dédiés,
- de plus en plus de capteurs à canaux multiples qui intègrent la sécurité de manière intrinsèque,
- des algorithmes pour la navigation dans des environnements non contraints,
- des algorithmes de reconnaissance d'objet plus performants.

La locomotion

La locomotion permet au robot de se déplacer dans son environnement. Suivant l'environnement dans lequel le robot doit se mouvoir, le système de locomotion varie : roues, chenilles... Par exemple, un robot d'assistance à la personne, qui doit se déplacer dans le domicile d'une personne, utilise souvent un système de locomotion bipède (robots humanoïdes). On peut aussi utiliser, dans ce cas, un système de locomotion à roues à condition que le sol soit bien plat.

A l'image de la locomotion bipède, plusieurs systèmes de locomotion sont inspirés par la nature. C'est ce que l'on appelle la locomotion d'inspiration biologique ou bio-inspirée (*biologically inspired locomotion*). Cette technique de locomotion est utilisée pour les robots sous-marins inspirés par les poissons, les robots volants inspirés par les oiseaux ou les robots militaires inspirés par les chiens.

Quelques exemples de systèmes de locomotion utilisés en robotique :

- les robots bipèdes,
- les robots quadrupèdes,
- les robots à roues,
- les robots à chenilles,
- les robots volants à ailes,
- les robots volants à hélices,
- les robots sous-marins,
- les robots sautants,
- les robots rampants...

Les systèmes de locomotion les plus répandus, à l'heure actuelle, sont les systèmes de locomotion à roues, le système de locomotion bipèdes et les systèmes de vol (hélices ou ailes). La mise en œuvre facile du système de locomotion à roues en fait la solution la plus aboutie technologiquement. En effet, on retrouve différentes déclinaisons de ce système dans bon nombre de robots mobiles. Un système à trois roues est, par exemple, utilisé dans la plupart des robots aspirateurs commercialisés à ce jour. On retrouve des systèmes basés sur deux, quatre ou six roues dans d'autres domaines d'application. Ce système ne convient pas à la locomotion sur toutes les natures de terrain.

Plusieurs recherches dans la communauté scientifique existent sur la locomotion bio-inspirée. Ces recherches concernent particulièrement les robots bipèdes. En effet des avancées considérables ont été faites dans ce domaine. Les robots humanoïdes ont une démarche de plus en plus naturelle avec une gestion poussée de l'équilibre.

Prospective

L'étude EUROP identifie les évolutions technologiques futures possibles dans ce domaine comme étant :

À l'échéance 2015

Développement de la locomotion bio-inspirée dans l'eau et sur la terre et l'apparition de systèmes de locomotion bipèdes performants dans des environnements structurés (sol plats, escaliers...).

À plus long terme (2020 et plus)

Développement de systèmes de locomotion bipèdes dans les environnements non structurés (terrain naturel/accidenté...) et le développement de la locomotion de mini/micro robots à l'intérieur de corps vivants.

Le comportement/intelligence artificielle

L'étude du comportement du robot englobe toutes les parties logicielles responsables de la commande. Cette partie comporte : les algorithmes de planification de trajectoires, la régulation des mouvements du robot, l'interface homme-machine (communication et

interaction avec l'homme) et l'intelligence ambiante (communication et interaction avec les objets de l'environnement). Nous pouvons dresser un tableau des dernières évolutions technologique dans ce domaine comme suit.

- **Planification de trajectoires** : la planification de trajectoires est aussi bien utilisée pour les robots à base mobile que pour les bras manipulateurs des robots à bases fixes. La planification de trajectoires pour les robots mobiles se fait principalement à partir d'une carte de l'environnement qui est prédéfinie ou construite par le robot. Ces dernières années, l'une des évolutions les plus importantes dans le domaine de la planification de trajectoires des robots mobiles est la collaboration entre plusieurs robots pour la construction dynamique de cartes⁴. D'autres recherches dans ce domaine tentent d'établir une méthode de planification de trajectoires permettant à un robot d'assistance de naviguer à l'intérieur d'une foule de personnes en se basant sur des éléments de l'environnement et de la foule⁵. Mis à part pour les environnements fortement aléatoires et/ou accidentés, les algorithmes classiques de planification de trajectoires sont efficaces. L'inconvénient majeur de ces algorithmes est le fait qu'ils sont gourmands en temps de calcul. Le challenge de la recherche dans cette discipline est donc de permettre à des algorithmes performants de s'exécuter en temps réel pour permettre une planification dynamique de trajectoires.
- **Régulation des mouvements** : la problématique de la commande de mouvements de robots est une problématique classique et bien maîtrisée que ce soit au niveau de la recherche ou au niveau industriel. En effet, il existe de nos jours des cartes de commande de robots qui assurent la régulation de mouvements d'une manière optimale tout en répondant aux impératifs de la sécurité imposés en industrie. Les voies de recherche dans ce domaine concernent la commande d'actionneurs innovante pour les actionneurs à raideurs variables. La difficulté, dans ce cas, réside dans l'ajustement dynamique de la raideur dans le but d'augmenter la souplesse du robot tout en préservant ses performances.
- **Interface homme-machine** : ce domaine de recherche s'attache principalement à développer l'intelligence artificielle du robot afin de permettre une interaction physique et une communication avec l'être humain. En effet, pour que le robot accomplisse sa tâche correctement, il doit disposer d'un modèle de l'homme afin de prédire les comportements de l'utilisateur. Si on considère l'exemple d'un robot qui tend un objet à l'utilisateur, il doit calculer au préalable le mouvement du bras afin de lui présenter l'objet dans la position la plus prévisible et confortable que possible. Des recherches sont menées sur ce sujet au laboratoire CNRS-LAAS⁶.

⁴ Urcola, P.; Montano, L. "Cooperative robot team navigation strategies based on an environment model," IEEE/RSJ International Conference Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 4577,4583, 10-15 Oct. 2009.

⁵ Pete Trautman, Jeremy Ma, Richard M. Murray and Andreas Krause. « Robot Navigation in Dense Human Crowds: the Case for Cooperation », 2013 International Conference on Robotics and Automation.

⁶ DEHAIS F., SISBOT E.A., ALAMI R., CAUSSE M. Physiological and subjective evaluation of a human-robot object hand-over task. Applied Ergonomics, 2011, 42, 6, pp. 785-791.

Prospective

Plusieurs travaux existent dans le domaine de l'intelligence artificielle. Permettre aux robots de communiquer et d'interagir en sécurité est un challenge important qui se pose à la communauté scientifique. Ce défi passera sans aucun doute par l'utilisation de technologies comme celle des réseaux de neurones et de la logique floue. Cependant, l'intelligence du robot reste fortement conditionnée par des contraintes liées à des algorithmes qui demandent de longues périodes d'apprentissage et qui ne sont pas complètement fiables. L'intelligence artificielle des robots ne devrait pas atteindre le niveau de fiabilité nécessaire à la réalisation d'application complètement sûre pour l'homme à l'horizon 2030.

Synthèse et hypothèses

L'étude des différents domaines technologiques clefs : mécatronique, perception, locomotion et comportement permet d'avoir une idée sur les futures évolutions de la robotique. Afin d'obtenir une vision prospective sur ces futurs évolutions, il est nécessaire de croiser les données que nous avons pu récolter sur ces quatre domaines technologiques.

Afin de simplifier la synthèse, il nous paraît pertinent de regrouper le domaine de la perception et de la locomotion dans la mesure où il existe de forts liens entre eux. En gardant les possibilités les plus plausibles, on obtient le tableau de synthèse suivant :

| PERCEPTION & LOCOMOTION | MÉCATRONIQUE | COMPORTEMENT | |
|-------------------------|--------------|--------------|-------------|
| - | - | - | Hypothèse 1 |
| - | + | - | Hypothèse 2 |
| + | + | - | Hypothèse 3 |
| + | + | + | Hypothèse 4 |

De ce tableau, on peut dégager les hypothèses suivantes.

Hypothèse 1 (rupture). Les évolutions technologiques sont limitées dans tous les domaines

Face à des freins technologiques et/ou économiques, on ne voit pas d'évolutions majeures dans tous les domaines. La robotique de service et d'assistance à la personne est la plus touchée par ce phénomène. Des robots, dont la perception, la locomotion et la capacité d'interagir avec l'être humain sont réduites, ne peuvent pas être commercialisés dans l'état et restent cantonnés à la recherche scientifique.

Hypothèse 2. Développements restreints aux robots industriels classiques (en cage) et médicaux

Une évolution des technologies restreintes à la mécatronique a pour effet le développement des « robots classiques », c'est-à-dire les robots industriels, mobiles (guidés) et médicaux qui bénéficient déjà d'une avancée technologique considérable.

Hypothèse 3. Développement de robots de service peu intelligents et dépendants de l'homme

Malgré le développement des technologies de la locomotion et de la mécatronique, les recherches scientifiques dans le domaine de l'intelligence artificielle n'aboutissent pas à des résultats concrets. On est incapable de concevoir des robots pouvant communiquer et interagir physiquement avec l'homme sans risques. Le résultat est le développement de robots de service peu intelligents capables de se déplacer dans des environnements de natures variées mais restant toujours dépendant de l'être humain. Cette contrainte concerne principalement les robots d'assistance à la personne.

Hypothèse 4. Développement des RAP sous différentes formes, intelligents et autonomes

Cette hypothèse plus optimiste dans laquelle on vit une évolution technologique dans tous les domaines conduit à l'essor des différents types de robots. On voit apparaître sur le marché des robots humanoïdes évolués capables d'assister une personne dépendante avec une complète autonomie. On voit apparaître des robots de service dans plusieurs domaines (industriel, agricole, médical).

Énergie et matières premières

Louis LAURENT, Anses.

Définition et indicateurs

Définition courte de la variable et de son champ

Cette variable traite de la disponibilité d'énergie et de matières premières en quantités suffisantes. Elle pourrait impacter le développement de la robotique soit en limitant les technologies susceptibles d'être adoptées soit en rendant le coût de fonctionnement trop élevé par rapport au service rendu.

Il est à noter que matières premières et énergie correspondent à deux problématiques différentes.

Indicateurs les plus parlants pour renseigner la rétrospective et les hypothèses d'évolution

On propose un ensemble de trois indicateurs.

Coût de l'énergie

On adopte pour indicateur le prix du kilowattheure électrique à usage domestique (voir rapport chiffres clé de l'énergie 2012 du Commissariat général au développement durable¹).

| Tarif bleu, option heures creuses, consommation annuelle de 13 MWh | 1984 | 1988 | 1992 | 1996 | 2000 | 2004 | 2008 | 2012 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Prix 100 kWh en € constant 2011 | 18 | 16 | 16 | 15 | 13 | 12,5 | 12 | 13 |

Coût des matières premières

Il est inutile de faire une analyse détaillée dans la mesure où les constituants des futurs robots ne sont pas entièrement connus. On adoptera l'indice Insee du coût des matières premières minérales importées². Les indices Insee retracent l'évolution mensuelle (moyenne des observations) d'un ensemble de matières premières importées. Les

¹ http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep_-_Chiffres_cles_energie.pdf, page 32.

² Source Insee : <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/serie.asp?idbank=000810666>

pondérations, actualisées chaque année, reflètent la structure en valeur des importations de l'année précédente. Pour les matières minérales, il s'agit du fer, de métaux non ferreux (cuivre, nickel, aluminium, plomb, zinc, titane, manganèse), de métaux précieux (argent, or, platine, palladium).

| Matières premières minérales | 1992 | 1994 | 1996 | 1998 | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Indice Insee | 96 | 98 | 102 | 86 | 100 | 87 | 133 | 256 | 273 | 316 | 306 |

Pratiques de recyclage

Beaucoup des matières premières pour constituer un robot seront issues du recyclage. Un indicateur pertinent est le taux d'utilisation de matières premières recyclées utilisées par l'industrie³.

| % matières recyclées utilisées | 1994 | 1996 | 1998 | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Acier | 34,5 | 35,4 | 40,1 | 41,7 | 40,7 | 42,7 | 41,7 | 44,5 | 40,9 |
| Métaux non ferreux | 38,7 | 37,7 | 38,8 | 39,4 | 36,8 | 34,8 | 39,3 | 42,3 | 46,4 |
| Plastiques | | | | 5,9 | 6,0 | | | 4,9 | 5,3 |

Rétrospective

Si on se réfère au simple coût de l'électricité, ces dernières années, l'électricité en France est restée à bon marché, le prix du kilowattheure étant l'un des plus bas en Europe⁴. L'analyse du coût de l'énergie montre une baisse au cours des vingt dernières années avec, depuis 2011, une tendance à la hausse.

Énergie

Des évolutions fortes sont en cours, du fait du développement de mesures mises en œuvre pour limiter l'émission de gaz à effet de serre et la relance d'une réflexion sur le mix énergétique du futur.

- Bien que l'historique sur vingt ans montre une tendance favorable, on peut attendre notamment à la montée en puissance du solaire, de l'éolien et des bio ressources. Le coût de l'électricité augmentera probablement, du fait de l'adoption de ces filières ou du fait de contraintes toujours croissantes sur la filière nucléaire.

³ <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/299/1161/recyclage-matieres-premieres.html>

⁴ Source : Chiffres et statistiques du Commissariat général au développement durable, n° 366, novembre 2012.

- La diminution progressive de l'usage des carburants fossiles. A l'heure actuelle, ce sont plutôt les économies de consommation qui sont à l'ordre du jour, mais d'ores et déjà la montée en puissance de véhicules hybrides ou électriques est prévisible.

Le stockage de l'énergie

Une partie des robots d'assistance personnelle étant autonomes, c'est-à-dire transportant leur propre stockage d'énergie, il est bon de rappeler les performances actuelles dans ce domaine.

Batteries

Les batteries lithium ion actuels peuvent stocker une énergie de l'ordre de **100 à 250 Wh/kilogramme de batterie**. Pour les applications type exosquelette, cela correspond à des batteries entre 5 et 10 Kg pour une énergie stockée de 1 à 2 kWh. Pour un véhicule électrique la masse des batteries atteint 200 kg pour une énergie de 30 kWh. Les développeurs annoncent que cette capacité pour les batteries lithium ion pourrait être portée à **400 Wh par kilogramme de batterie**^{5,6}.

Pile à combustible

Une autre manière de stocker l'énergie est sous forme de carburant (hydrocarbure ou hydrogène). Pour fixer les idées rappelons que 1 kilogramme de combustible stocke typiquement 8 kWh. Mais il faut ajouter la masse d'une pile à combustible qui transforme l'énergie chimique du carburant en énergie électrique. C'est la pile à combustible qui est lourde. Si on regarde les produits actuellement sur le marché, les dispositifs produisent 10 à 15 watts par kilogramme^{7,8}. Pour alimenter un robot de 200 watts, il faut donc, dans l'état de l'art actuel, un système d'une vingtaine de kilogrammes.

Matières premières

En ce qui concerne les matières premières, on observe trois tendances.

- Tout d'abord, une lente augmentation des pratiques de recyclage. Pour certaines filières qui ont des points communs avec la robotique, des taux élevés sont prévus à court terme : pour la filière automobile, la directive européenne 2000/53/CE fixe des objectifs chiffrés à atteindre au plus tard le 1^{er} janvier 2015 notamment un taux minimum de réutilisation et de recyclage de 85 % en masse du véhicule usagé. Pour les déchets d'équipements électriques, la directive européenne 2002/96/CE impose notamment la réutilisation, le recyclage, la valorisation des DEEE collectés. Les objectifs de recyclage sont : 75 % pour le gros électroménager (valorisation : 80 %), 50 % pour le petit électroménager, les jouets, l'appareillage domestique (valorisation :

⁵ <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/69280.htm>

⁶ http://www-liten.cea.fr/fr/activites_rd/batteries_O2.htm

⁷ <http://www.pile-combustible.fr/>

⁸ <http://pdf.directindustry.com/pdf/sfc-energy-ag/jenny-600s/22825-235850.html#open>

70 %), 65 % pour les produits bruns et gris (valorisation : 75 %), et 80 % de valorisation pour les lampes à décharge.

- Comme observé sur l'indicateur Insee, une augmentation de leur cours du fait de la montée en puissance de nouveaux acteurs comme la Chine.
- Des inquiétudes sur certains métaux stratégiques qui sont à la fois difficilement remplaçables, difficiles à recycler et en même temps rares (avec des ressources aux mains de quelques états). Un groupe d'experts européens en a ainsi identifié dix⁹.

| | |
|--------------------------------------|---|
| Antimoine | Micro-condensateur |
| Cobalt | Batterie lithium-ion, combustible synthétique |
| Gallium | Photovoltaïque en couche mince, LED blanche, micro-électronique |
| Germanium | Fibre optique, optique infrarouge |
| Indium | Écran, photovoltaïque en couche mince |
| Platine (groupe de métaux du) | Pile à combustibles |
| Palladium | Catalyseur, désalinisation eau de mer |
| Niobium | Micro-condensateur |
| Neodyme (terre rare) | Aimant permanent, laser |
| Tantale | Micro-condensateur, technologie médicale |

Prospective

Quels sont les déterminants de l'évolution future de la variable ?

Énergie

Le coût de l'énergie électrique est en baisse. Toutefois, il est difficile d'extrapoler naïvement le passé car nous **sommes en période de rupture et ce n'est pas un signal faible**. Au niveau national, on parle de transition écologique, d'une augmentation de la consommation d'électricité si les véhicules électriques remplacent une partie des véhicules à carburant, de débat sur l'énergie. On peut donc s'attendre à long terme (2050) à une augmentation du coût de l'électricité voire, si les énergies renouvelables gagnent en poids, à des restrictions d'utilisation à certaines heures.

⁹ « Critical raw materials for the EU »
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf

Il faut toutefois relativiser l'impact de ces évolutions sur le parc robotique :

- l'énergie consommée par tous ces robots devrait rester faible devant celle du parc automobile dans l'hypothèse où celui-ci passerait à la propulsion électrique. Soit les robots d'assistance seront autonomes, donc limités par leur batterie¹⁰, soit ils seront liés au secteur mais ils seront tout de même limités pour des raisons de sécurité, car ils côtoient l'homme¹¹ ;
- la partie robots sur batterie aura l'avantage de pouvoir être rechargée aux heures creuses donc est très adaptée aux fluctuations accrues de tarif au cours de la journée. Il faut noter toutefois que cela peut entraîner une demande de puissance électrique de nuit qui se mesure en gigawatts GW, à laquelle il faudra ajouter celle liée à la recharge des automobiles électriques.

| | Masse Batterie | Energie stockée (150 Wh/kg) | Puissance moyenne | Autonomie/durée de fonct. par jour | Parc | Energie/an secteur | Energie /jour |
|--------------------|----------------|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------|
| Automobile | 200 kg | 30 kWh | 15 000 W | 2 heures | 30 millions d'automobiles | 580 milliards kWh ¹² | 53 kWh |
| Robot sur batterie | 10 kg | 1,5 kWh | 300 W | 5 heures | 30 millions de robots | 16 milliards kWh ¹³ | 1,5 kWh |
| Robot sur secteur | | | 1000 W | 12 heures | 1 million de robots | 4,4 milliards kWh ¹⁴ | 12 kWh |
| Humain | | | 200 W | longue durée | 60 millions de personnes | 50 milliards kWh ¹⁵ | 2,3 kWh |

Quelques ordres de grandeur

Au tarif actuel, la recharge d'un robot ou son utilisation durant 12 heures coûte entre 0,4 et 2 €. Peut-être les batteries permettront-elles de gagner un facteur deux ou trois, en portant à 50 milliards de kWh la demande annuelle pour le parc robotique à batteries. Mais cela restera sensiblement très inférieur aux besoins de l'automobile (d'ailleurs dans le futur, l'automobile sera peut-être elle aussi considérée comme un robot d'assistance). Il faudrait sans doute que l'électricité voie son tarif augmenter d'un facteur 10 pour que le prix commence à être dissuasif. À titre de comparaison la main d'œuvre d'une personne peu qualifiée coûte entre 125 et 500 €/jour.

¹⁰ On a supposé que les robots seraient électriques, suivant en cela l'automobile. On peut imaginer des robots à biocarburant ou à hydrogène mais cela n'aurait pas radicalement changé les conclusions, il s'agirait juste d'un changement de vecteur de l'énergie.

¹¹ Une exception, l'automobile. Une machine qui en pointe fait plusieurs dizaines de kW et côtoie l'homme.

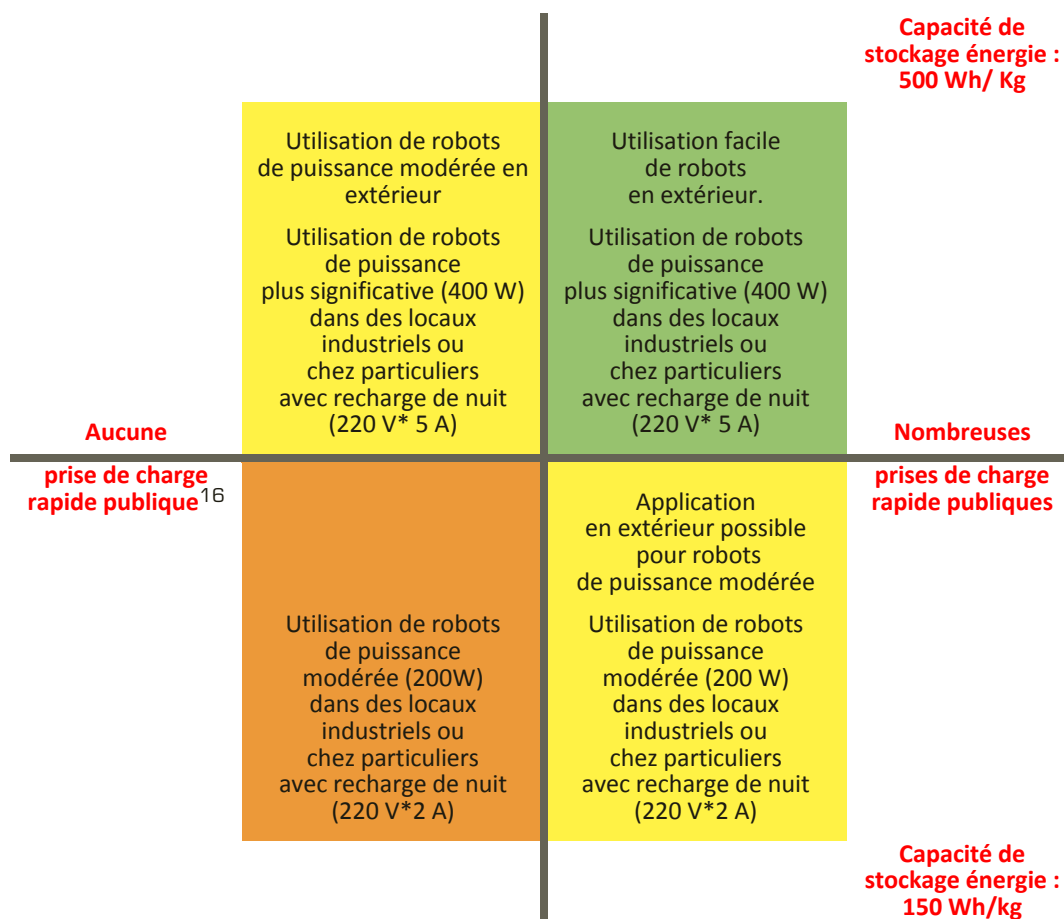
¹² Estimation : 50 MTEP avec 1 TEP=11 630 kWh . Donc 50 MTEP = 5,8 10¹¹ kw.h pour transports (y compris camions, bus...).

¹³ Soit 1,4 MTEP. Hypothèse = 1 plein de batterie par jour, 365 jours par an.

¹⁴ Soit 4,3 MTEP. Hypothèse. 12 heures par jour avec une puissance moyenne de 1 kW. On peut supposer que la puissance de telles machines sera limitée pour des raisons de sécurité.

¹⁵ Il ne s'agit pas d'électricité mais de nourriture.

Plus que le coût de l'électricité, le déploiement d'une partie de la robotique, celle qui fait appel à des robots sur batteries (logistique du dernier kilomètre, plein air, chez l'habitant, etc.) dépendra de la possibilité de recharger (ou échanger) les batteries à tout moment et de l'autonomie que permettra la technologie. La figure ci-dessous explicite les différents cas de figure.



Matières premières recyclables

Pour ces matériaux, la tendance actuelle est une augmentation lente des taux de recyclage. Avec la transition écologique, la nécessité de tendre vers une économie circulaire, l'éco-conception, on peut s'attendre à que ce taux augmente et que des robots soient traités comme des automobiles ou des équipements électroniques. Ils pourraient d'ailleurs avoir une composition intermédiaire entre ces deux types de biens (y compris les batteries). A priori on peut supposer que des solutions seront trouvées pour la plupart des matériaux, ces domaines étant déjà réglementés.

Matières premières non recyclables

Les robots tels qu'on les conçoit aujourd'hui contiennent des matériaux faisant partie de la liste de ceux sujet d'inquiétudes (voir ci-dessus) voire d'autres aux ressources mieux répartis dans le monde mais tout de même assez rares (argent). Ces matériaux sont

¹⁶ Prise de charge rapide (12 kW soit par exemple 400 volts * 30 ampères pour recharger en 5 minutes) dont il est difficile d'imaginer qu'elles ne soient pas aussi compatibles avec l'automobile) ou carburant s'il s'agit de piles à combustible.

utilisés pour réaliser les circuits électroniques et ne sont pas nécessairement remplaçable. Il en est de même pour les aimants (cobalt, néodyme, samarium). Certains de ces matériaux sont difficilement recyclables car, par exemple, utilisés en trace.

Des progrès dans la technologie du recyclage des matériaux ou des pièces détachées seront inévitables mais on est amené à faire deux hypothèses :

- hypothèse 1 : on peut contourner la future pénurie de certains éléments difficilement recyclables (par exemple composants à base surtout de carbone, composants moléculaires, actuateurs organiques (« muscles artificiels » et non plus magnétiques) ;
- hypothèse 2 : certains éléments ne pourront être substitués sans dégradation trop grande des performances. À noter qu'un tel scénario toucherait un secteur bien plus large que la robotique.

Hypothèses

Hypothèse 1

Malgré des progrès, le recyclage de certains éléments rares n'est pas suffisamment performant pour assurer une ressource suffisante. Cette ressource est consommée par d'autres secteurs jugés plus prioritaires. Ou alors, le coût de l'énergie augmente considérablement. Le développement de robots d'assistance physique à performances intéressantes et à coût abordable est donc impossible.

RAP 0

Hypothèse 2

Il n'y a pas de pénurie d'éléments rares nécessaires pour construire des robots ou elle peut être contournée par l'utilisation de composants à base de carbone, de composants moléculaires ou d'actuateurs organiques (« muscles artificiels » et non plus magnétiques).

Le coût de l'énergie (le plus vraisemblablement électricité, mais éventuellement biocarburant ou hydrogène) reste marginal dans les dépenses d'investissement et de fonctionnement des robots d'assistance physique.

Cependant, l'autonomie des batteries reste limitée ce qui limite l'utilisation « autonome » des robots. Globalement le développement des robots d'assistance physique évolue parallèlement à celui de l'automobile électrique avec laquelle ils partagent les bornes de rechargement.

RAP +

Hypothèse 3

Cette hypothèse est identique à l'hypothèse 2, mais diffère sur le dernier point : celui du développement des batteries et de la disponibilité des bornes de rechargement. Les progrès technologiques en matière de stockage de l'électricité dans les batteries

permettent un fort développement de la locomotion automobile électrique, donc bénéficient aussi aux robots assistance physique. Les bornes de rechargement sont communes et nombreuses et l'approvisionnement en énergie ne constitue pas un problème pour l'alimentation des robots d'assistance physique.

RAP ++

Disponibilité et qualité d'offre de services client associés (service après-vente, formation, installation, maintenance)

Stéphanie DEVEL, INRS.

Définition de services client et positionnement de la variable

On entend par disponibilité, la disponibilité dans le temps et géographique de l'offre de service.

Dans le domaine de l'industrie, le service après-vente (SAV) accompagne la vie d'un équipement de production, assurant la prise en charge :

- de l'installation,
- de la mise en route,
- de la formation à l'utilisation,
- de la prise en compte des besoins d'évolution (en l'occurrence du robot) en fonction de son utilisation,
- de l'assistance technique,
- de l'entretien préventif,
- des dépannages et autres réparations,
- de la gestion des pièces de rechange.

L'existence d'un service après-vente (SAV) important reste une forte valeur ajoutée dans l'acquisition d'un équipement. En revanche, l'existence de défaillances à ce niveau constitue souvent à moyen ou long terme un lourd handicap dans la stratégie de vente et de communication des entreprises fabriquant et/ou diffusant l'équipement. Dans les activités de service pur, on emploie généralement l'expression service client, qui est plus générale, dans la mesure où elle inclut l'ensemble de la relation client. Ces activités de service sont principalement des activités de proximité et peuvent constituer à terme, un vivier d'emplois significatif.

Le déploiement des robots d'assistance physique passe par la création de ces services. Même si la tendance actuelle est à la simplification dans la manipulation et la mise en œuvre des objets technologiques, il n'en reste pas moins que l'installation, la mise en route, le réglage de tels équipements sont des phases importantes nécessitant une formation spécifique notamment dans le secteur de la robotique industrielle.

Le développement des services après-vente est donc une question importante dans le déploiement de ces robots, le premier conditionnant pour partie le second.

État des lieux, rétrospective

La conception puis la commercialisation des robots d'assistance est faite actuellement, dans la majorité des cas, par des petites entreprises innovantes ou *start-up* issues de laboratoires de recherche, actives surtout dans le domaine de la robotique personnelle (Aldebaran, Gostai, EOS...).

Ces petites structures se positionnent, dans la majorité des cas, comme des fournisseurs de technologies et non comme des entreprises commerciales avec un service client. De plus ces PME sont fortement soumises aux lois du marché et peuvent disparaître aussi rapidement qu'elles se sont créées. Lorsque l'entreprise disparaît l'utilisateur se trouve confronté au problème de maintenance de l'appareil.

L'expérience, dans le domaine de la robotique, a montré la faible capacité des concepteurs à mettre en place et à maintenir dans la durée des prestations suffisantes pour l'entretien courant et le dépannage. En effet, dans les années 1980 des sociétés comme Cybernetix ou Robotsoft se sont positionnées pour réaliser des robots sur mesure dans le cadre d'applications précises : assistance au handicap, nettoyage industriel, intervention et contrôle sur des installations nucléaires. Par exemple, une petite série de robots de nettoyage a été développée pour la RATP. Son exploitation a été arrêtée au bout de 3 ou 4 ans, notamment pour des raisons de coût de la maintenance.

Il semble judicieux de différencier deux types de prestations en fonction de l'équipement et du cadre de son utilisation.

- Pour des équipements qui ont vocation à fonctionner dans les foyers (en particulier les robots utilisés dans le cas de l'aide à la personne), l'arrivée des technologies de l'information a rendu disponible une large gamme d'outils de service client. Ces outils vont du technicien qui se déplace au support en ligne sur des sites web (FAQ, conversation en ligne avec un technicien, communauté/forum d'utilisateur...) Cette offre de service très diversifiée est liée à la complexité très variable des technologies disponibles et à la culture et aux compétences techniques également très diverses chez l'utilisateur : du spécialiste du bouton marche/arrêt au *geek*...

- Pour la robotique industrielle, le réglage de la machine aux tâches particulières qu'elle devra opérer (programmation et/ou adaptation de l'automate à la tâche), mais également le réglage de l'équipement en fonction de l'opérateur (adaptation à l'opérateur, dans le cas de robots d'assistance au geste notamment) restent autant de phases critiques qui pourraient nécessiter une formation spécifique à l'utilisation de l'équipement. Il y aura donc probablement besoin au sein de l'entreprise cliente d'un poste particulier de « régleur » qui aura été formé spécifiquement à l'utilisation du robot et à son paramétrage en fonction de la tâche qui devra être effectuée. En ce sens, la situation ne sera probablement pas très différente de l'utilisation des machines outils ou des robots actuels.

Hypothèses

Hypothèse 1

Le marché se développe, les robots développés sont mono-tâches et naturellement, il s'ensuit une standardisation et une simplification maximales dans l'utilisation et la maintenance. La relation client est alors prise en charge, pour une part, par des entreprises commerciales ou des revendeurs (sur le modèle des produits électroménagers blancs). Et en parallèle, grâce au développement des nouvelles technologies, un support technique est également mis en place par les sociétés intervenant sur le secteur, notamment avec l'animation de communauté d'utilisateurs : un partage des pratiques d'utilisation (forum), la mise en place d'un FAQ, voire un système de vente en ligne (sur le modèle de la société iRobot qui commercialise actuellement les aspirateurs-robots).

La robotique industrielle peut continuer à requérir l'emploi de personnel spécialisé, mais ces interventions resteront exceptionnelles.

Hypothèse 2

Le marché des robots d'assistance se développe et trouve des applications au niveau du grand public. Cependant les technologies utilisées restent suffisamment complexes pour nécessiter une maintenance et un accompagnement spécifiques et de haut niveau. La vente du robot va de pair avec la vente de service pour faciliter son utilisation. Les entreprises conceptrices prennent de l'ampleur et elles ont les moyens de mettre en œuvre une véritable politique de commercialisation avec un service client à part entière. Le modèle actuel peut être cherché du côté de la société Aldebaran qui commercialise aujourd'hui son robot Nao à un coût d'environ 12 000 € avec un prix de maintenance annuelle équivalent à environ 10 % du prix d'achat. En parallèle se développent également des sociétés relais qui se développent régionalement en pôles d'innovation technologique à qui sont dédiés les services après-vente permettant de garantir le bon fonctionnement des robots complexes.

Hypothèse 3

Le marché reste un marché de niche.

Les *start-up* conceptrices doivent prendre en charge la commercialisation et la relation client de leurs produits avec les moyens dont elles disposent, malgré les aides qui leur sont allouées par des dispositifs d'incitation tels que l'actuel plan France robots initiatives. La commercialisation à grande échelle de leurs produits reste difficile et ne décolle pas. Les produits et la relation client disparaissent avec l'entreprise en cas d'accident économique. Ces difficultés liées à la maintenance des équipements ne concourent pas à l'établissement de la confiance nécessaire à leur dissémination dans le monde du travail et dans l'environnement domestique (robots d'assistance à la personne).

Hypothèse 4

Le marché se développe et les robots développés peuvent être complexes, mais les composants sont standardisés au maximum, ce qui simplifie la maintenance et son coût (quand un module ne fonctionne plus, on le remplace), il est même envisageable que le robot soit alors réparé directement par l'utilisateur.

Les acteurs de la filière, le tissu industriel

Philippe CHARPENTIER, INRS.

Définition et indicateurs

Définition et champ de la variable

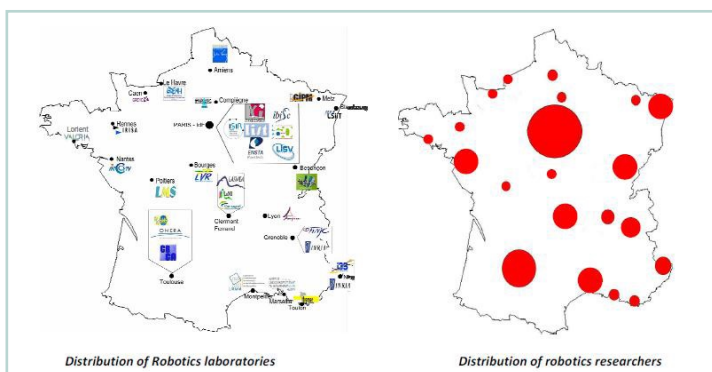
La filière regroupe l'ensemble des opérateurs et activités concourant à la production et à la mise sur le marché des robots d'assistance physique (RAP). En conséquence, les acteurs de la filière à considérer sont ceux impliqués dans la recherche universitaire ou d'entreprise, la conception, la fabrication et la distribution de robots.

Par définition, les acteurs situés en aval de la distribution (côté demande : institution, prescripteurs, client) ne seront pas dans le champ de la variable.

On peut considérer que le **tissu industriel** débute au stade du transfert des innovations issues de la recherche universitaire ou d'entreprise pour se terminer à celui de la commercialisation des RAP. Sous-ensemble des acteurs de la filière, il ne fera pas l'objet d'un traitement particulier dans la suite de cette fiche.

Indicateurs pertinents et données de l'évolution de la variable

Des données quantitatives concernant les acteurs de la filière des robots d'assistance physiques existent, par exemple le nombre de laboratoires réellement impliqués, le nombre et le chiffre d'affaire des start-up concevant des RAP...



60 laboratoires et 1000 chercheurs sont dédiés à la robotique en France
Source IAPR, 2010.

Les seules données quantitatives existantes sont des données actuelles, données par exemple par *The Robot Report*¹, sans qu'on dispose de l'historique d'évolution sur les 30 années écoulées.

La partie rétrospective de l'exercice de prospective se basera sur des données qualitatives tirées du rapport sur le développement industriel futur de la robotique de service en France produit par le Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économique² (Pipame) en partenariat avec la Direction générale de la compétitivité de l'industrie et des services (DGCIS). Les robots d'assistance physique étant une des catégories des robots de service, nous considérerons que cette rétrospective sera suffisamment représentative pour être utilisée dans l'exercice de prospective RAP.

Rétrospective

En France

Les premiers travaux sur la robotique en France sont menés durant les années 1970 par le CEA via la réalisation de bras de manipulation pour le nucléaire, l'Inria sur certaines technologies comme la vision ou encore le Laas (Laboratoire d'automatique et d'analyse des systèmes) et son robot mobile Hilare (heuristiques intégrés aux logiciels et automatismes dans un robot évolutif). De fait, la France a rapidement occupé une place sur la scène européenne en robotique.

Dans les années 1980, le CEA développe également des robots dits d'intervention, ce sont des engins télé opérés qui ont pour finalité d'intervenir en zone radioactive en cas de catastrophe nucléaire. En parallèle des entreprises privées se positionnent dans le domaine de la robotique industrielle notamment dans le secteur automobile, mais la situation économique et sociale ne permet pas le développement du secteur. En ce qui concerne la robotique de service, une première génération de PME réalise des robots d'assistance aux handicaps, ou de nettoyage industriel. La RATP a commandé une vingtaine de robot de nettoyage, mais pour des raisons de coût d'entretien des difficultés d'acceptation par le personnel, ils ont été abandonnés.

Dans le secteur de la défense des grandes entreprises (Dassault, Sagem, Thales...) se sont positionnées en développant des drones, des robots sous-marins ou d'intervention terrestre, mais l'engagement de la France dans ce domaine reste variable.

La France a continué à affirmer sa position en recherche académique avec plusieurs laboratoires portés par le CNRS, l'Inria ou encore le CEA List, mais aussi par des laboratoires traitant de problématiques appliquées (Cemagref, Inserm, Onera, Ifremer...). La recherche en automatique et en technologies de perception se développe considérablement dans le domaine des transports avec des laboratoires de l'Inrets, du LCPC, le Lasma, etc.

Depuis les années 2000 une nouvelle génération de PME développant des technologies autour de la robotique de service : Aldebaran, Gostai, Eos...

¹ <http://www.therobotreport.com>

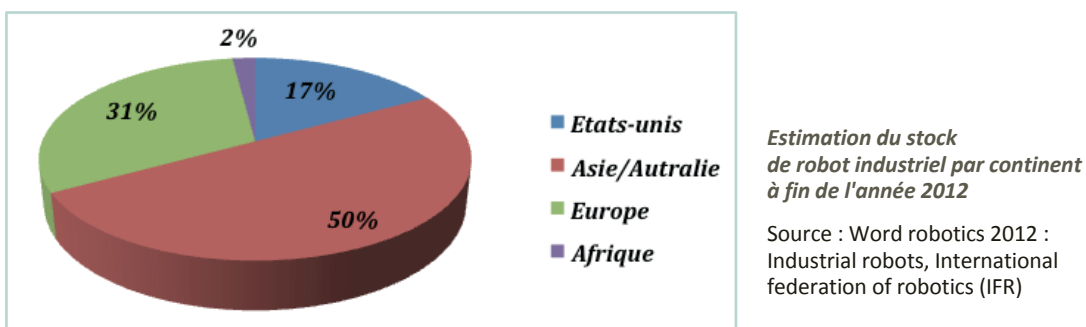
² "Le développement industriel futur de la robotique personnelle et de service en France". Rapport Pipame, avril 2012, 198 p.

La structuration de la filière robotique française est un phénomène relativement récent. Le Groupement de recherche (GdR) en robotique a été créé en 2007 par le CNRS dans le but d’animer et de structurer la communauté scientifique du domaine d’une part, et de promouvoir, faciliter et dynamiser les échanges entre la recherche et d’industrie d’autre part. Ainsi le GdR Robotique cherche également à stimuler la recherche collaborative au travers d’un club des partenaires. Aujourd’hui, plus de 1300 chercheurs et ingénieurs relevant de différents établissements publics et privés sont membres du GdR Robotique et participent aux travaux de groupes de travail organisés autour de grandes thématiques correspondant à des enjeux particuliers pour la recherche et l’innovation qui sont : la robotique médicale, les véhicules autonomes (terrestres, marins et sous-marins et aériens), la manipulation robotisée à différentes échelles, les architectures de commande avancée de systèmes robotiques, les interactions entre les systèmes robotiques et les utilisateurs, la conception d’architectures mécaniques et mécatroniques innovantes, les robots humanoïdes, la neuro-robotique³.

Début 2013, le ministre du Redressement productif a présenté le plan robotique du gouvernement intitulé France robots initiatives et estimé à environ 100 millions d’euros. L’objectif affiché de ce plan est de faire entrer la France dans le top 5 de la robotique mondiale à l’horizon 2020.

Au niveau international

La rétrospective portera sur 3 pays moteurs : Allemagne, États-Unis et Japon.



En Allemagne

De façon historique, ce pays est leader mondial de la robotique industrielle probablement en raison de sa puissante industrie.

Le développement de la robotique de service s’appuie sur la structuration importante de la robotique industrielle. Le choix fait par les instituts de recherche académique allemands, qui orientent leur recherche vers des programmes ayant de fortes visées applicatives notamment en développant des robots effectuant des tâches simple comme le transport d’objet. Ces deux facteurs permettent à l’Allemagne de développer fortement l’industrie des robots de service et d’être le leader en Europe dans ce domaine.

Par exemple : des robots légers modulaire qui ont pour objectifs de reproduire des mouvements effectués par le bras de l’homme développé par le premier constructeur allemand de robots industriels : Kuka.

³ <http://www.gdr-robotique.org/>

Depuis les années 1990, on observe une réduction notable du nombre des entreprises spécialisées en robotique, elles ne sont plus aujourd'hui qu'une dizaine d'entreprise leaders à vraiment produire de la valeur selon le Pr. Dillmann du KIT (*Karlsruher institut für technologie*).

Aux États-Unis

Contrairement à l'Allemagne, les États-Unis n'ont pas fait le choix de développer la robotique industrielle malgré l'importante utilisation de ces robots dans l'industrie automobile. Le développement des robots de service s'est appuyé sur l'expertise développée dans des domaines de la défense (Lockheed Martin), de l'agriculture (John Deere), des mines et travaux publics (Caterpillar).

Ils sont devenus les leaders mondiaux en développant des applications domestiques tels que la société iRobot.

Depuis quelques années, ils ont établi une feuille de route dans le domaine de la robotique de service afin d'avoir une vision plus efficace des avancées technologiques, d'avoir une coordination des efforts des différentes parties prenantes et ainsi piloter au mieux cette discipline.

Leur tissu industriel est composé de gros centres de recherche académique associés avec des développements commerciaux et de nombreux petits industriels, sans qu'il y ait de grosses entreprises « sclérosant » le marché. Ce système leur permet de conserver leur avance dans le domaine.

On retrouve également des associations très actives permettant d'activer la communication dans le domaine, de fédérer et d'informer les différents acteurs de la robotique de service.

Au Japon

Le Japon reste l'incontestable leader de la robotique. Il existe deux marchés de la robotique : la robotique industrielle née au début des années 60 pour accompagner l'automatisation des chaînes industrielles automobiles et la robotique humanoïde et de service. Les premiers robots humanoïdes développés par les laboratoires universitaires sont apparus dans les années 70-80.

Cette dernière reste expérimentale mais est portée par le gouvernement japonais et par les grandes entreprises. Le développement de la robotique de service est vu comme un atout permettant de faire face aux problèmes posés par l'évolution de la démographie japonaise : faible taux de natalité, pénurie de main d'œuvre non qualifiée, vieillissement de la population depuis quelques années. Elle devient un enjeu majeur pour le Japon.

Une accélération du développement dans la robotique de service est survenue dans les années 1990 avec le *humanoid robotics project* sponsorisé par le METI (ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie).

On observe depuis les dernières crises économiques (2008-2009) un ralentissement dans l'activité du Japon dans le domaine de la robotique ; la robotique industrielle avec l'arrêt de nombreuses lignes robotisées et la robotique humanoïde et de service avec une baisse des financements des projets peu sûrs.

Les acteurs de la filière sont structurés au travers de deux gros organismes fédérateurs la *Japan Robot Association* à visées commerciales et la *Robotics Society of Japan* qui a pour objectif de promouvoir la recherche académique. On trouve également des pôles de compétitivité concentrant des acteurs de la robotique.

Synthèse

Le véritable moteur du développement de la filière robotique est l'innovation technologique, laquelle amène à concevoir des équipements capables de remplir des fonctions ou à rendre des services jusqu'alors inenvisageables.

Dans les quarante années passées, les acteurs principaux de la filière qui ont émergé sont :

- dans un premier temps, les sociétés (Kuka, ABB, Fanuc, etc.) impliquées dans la fabrication et la distribution des robots industriels. Au niveau international, *The Robot Report* (<http://www.therobotreport.com/>) recense encore 242 sociétés de ce type, en 2013.
- dans un second temps, les laboratoires de recherche, tant universitaires (Laas, Inria, CEA-List en France) que d'entreprises. La recherche technologique dans l'ensemble des domaines de la robotique (mécanique, électronique, automatique et informatique) n'a cessé de progresser. Cette émergence des laboratoires de recherche correspond au passage il y a une vingtaine d'année de la robotique industrielle à la robotique de service (au sens large du terme).
Le nombre des laboratoires universitaires ou d'entreprises impliqués dans la filière (au niveau international, 262 laboratoires de recherche recensés en 2013 par *The Robot Report*) ou encore les projets nationaux et internationaux, en particulier européens, montre qu'une intense activité de recherche demeure.
- depuis une dizaine d'années, les *start-up* qui industrialisent les innovations des laboratoires de recherche, par exemple Aldebaran, Gostai, EOS, RB3D pour la France, iRobot pour les États-Unis (au niveau international, 207 *start-up* recensées en 2013 par *The Robot Report*).
Cette émergence correspond à l'inflexion que le développement de la robotique a connu avec l'apparition de nouvelles technologies de détection et de commande, qui ont permis d'envisager la robotique collaborative. Alors que les grandes entreprises étaient motrices dans le développement de la robotique industrielle, ce sont pour l'instant essentiellement des startups ou des entreprises de taille moyenne qui sont impliquées dans la robotique collaborative, à l'origine des RAP.

On constate aussi que l'intervention des pouvoirs publics (français et européens) a un effet certain sur le développement de la filière, en particulier par :

- les subventions qu'elle peut fournir à la recherche institutionnelle pour développer des projets moteurs,
- les commandes qu'elle peut passer aux entreprises de certains secteurs d'activité stratégiques ou porteurs,
- la structuration des différents acteurs qu'elle peut impulser.

Prospective

Les tendances du passé peuvent-elles se poursuivre ?

Depuis les années 1970, la filière robotique est en développement constant, soutenu par la recherche et l'innovation, qui ont permis d'introduire des robots dans des secteurs d'activité autres que la robotique manufacturière, puis par les nouvelles possibilités de collaboration homme-robot.

La nouvelle tendance liée à l'apparition de la robotique collaborative, à l'origine du développement des RAP, n'en est qu'à ses débuts. Étant relativement récente, elle devrait se poursuivre.

Facteurs de ruptures des tendances du passé.

Incertitude sur le comportement de la filière ?

Sur les quarante années passées, deux ruptures ont affecté les acteurs de la filière. La première correspond à l'utilisation des robots dans des applications hors industrie manufacturière, la seconde à la possibilité de faire collaborer les hommes et les robots, qui permet d'envisager des robots d'assistance physique. Dans un cas comme dans l'autre, ces ruptures ont pour origine l'innovation.

Actuellement, il ne semble pas qu'une évolution technologique puisse être un facteur de rupture susceptible d'affecter les acteurs de la filière. Concernant la collaboration homme-robot (dernière rupture en date), les acteurs de la recherche travaillent essentiellement soit à mettre au point des concepts existants (exemple de la détection par vision), soit à en développer d'autres (intentions de mouvement de l'utilisateur à travers des sondes myoélectriques). Bien que novateurs, ces derniers développements sont dans la continuité des précédents. Par ailleurs, on ne voit pas de frein technologique rédhibitoire qui viendrait stopper cette évolution.

Deux ruptures majeures pourraient affecter les acteurs de la filière :

- la disparition des incitations financières ou des subventions à la recherche, due par exemple à une récession économique majeure, à des préoccupations scientifiques autres ou à des choix politiques concernant les finances publiques. Sans financement, les organismes publics de recherche ne produiraient plus d'innovations et n'alimenteraient donc plus les acteurs suivants de la filière, qui auront alors de grandes difficultés à exister sans ces innovations technologiques ;
- l'émergence d'un ou de plusieurs acteurs forts dans un des secteurs d'activité de la filière. Ce ou ces acteurs forts seraient de type grosse entreprise (par exemple Kuka) qui diversifierait ses domaines d'application ou *start-up* (par exemple iRobot) qui développerait une innovation porteuse sur un marché à forte diffusion, puis en trouverait des applications en robotique d'assistance à la personne dans le domaine professionnel. On pourrait alors assister à une redistribution des cartes, certains des acteurs fragiles de la filière étant amenés à disparaître ou à changer leur domaine initial de compétences pour aborder des champs laissés libres par le ou les acteurs forts.

Signaux faibles ? Faits porteurs d'avenir ?

Un des signaux faibles est l'intérêt que des sociétés comme Kuka portent à des domaines de la robotique qui ne sont traditionnellement pas les leurs.

Hypothèses

Hypothèse 1

L'émergence d'un ou plusieurs acteurs industriels forts au niveau mondial qui empêcheraient l'émergence de nouveaux acteurs.

Hypothèse 2

Le tissu industriel composé de nombreux acteurs de taille modeste avec une structuration selon différentes modalités sur le modèle des États-Unis.

Hypothèse 3

Le tissu industriel composé de nombreux acteurs de taille modeste avec quelques grands acteurs moteurs.

Une grosse entreprise déjà fortement implantée en robotique (*a priori* en robotique industrielle) diversifierait ses domaines d'application pour investir sur le marché des RAP, ou une *start-up* développerait une innovation porteuse sur un marché à forte diffusion, puis en trouverait des applications en robotique d'assistance à la personne.

La filière robotique d'assistance à la personne aurait alors un ou plusieurs moteurs puissants qui couvriraient tout ou partie des activités de la filière, de la recherche à la diffusion des RAP. Ils impacteraient de façon non négligeable la diffusion des RAP, ce qui se répercuterait sur la filière et sa composition, chacun devant retrouver (ou non) une place par rapport à ce ou ces moteurs.

Hypothèse 4. L'absence de tissu industriel

La filière robotique est en grande partie dépendante des innovations technologiques et des nouveaux concepts produits par la recherche universitaire ou institutionnelle. Sans ce carburant, il n'est plus possible de mettre des équipements réellement nouveaux sur le marché. En conséquence, l'ensemble des acteurs de la filière sera touché.

Soutiens à la filière robotique

Carole GAYET, INRS.

Définition

Par soutiens il faut entendre essentiellement les soutiens financiers publics ou privés et les politiques publiques susceptibles de concourir au développement des robots d'assistance physique. Ces soutiens s'adressent directement au secteur de la conception des robots d'assistance physique : en direction des entreprises qui conçoivent ces robots, des organismes et projets de recherche en robotique. Les soutiens pourraient être indirects comme par exemple l'élaboration d'une réglementation autorisant l'introduction de drones dans la circulation aérienne ou d'automobiles autonomes dans la circulation routière.

Il semble qu'il faille s'intéresser non seulement aux soutiens hexagonaux mais aussi aux soutiens au niveau européen et international car, même s'il n'y avait pas de soutiens et actions en faveur de RAP *made in France*, cela n'empêcherait pas les travailleurs dans les entreprises et autres lieux de travail en France d'être confrontés à des RAP *made in Germany* ou *made in Japan* par exemple.

Indicateurs

1. Soutiens dans le secteur de la robotique
 - Soutiens publics à la robotique en France
 - Soutiens privés en France
 - Soutiens à la robotique au niveau européen
 - Soutiens à la robotique au niveau international
2. Le marché de la robotique comme secteur de redressement productif : créateur d'emplois
3. Concurrence européenne et mondiale : Allemagne, Japon...

Rétrospective

Soutiens au secteur de la RAP

Soutiens publics à la robotique en France

La politique des pôles de compétitivité a été décidée lors du Comité interministériel d'aménagement et de compétitivité des territoires (CIACT) du 13 décembre 2002. Le CIACT du 14 septembre 2004 en définit la méthode de mise en œuvre : des appels à projets, sur la base d'un cahier des charges. La phase 3 a été lancée par le gouvernement le 9 janvier 2013 pour la période 2013-2018.

Les pôles de compétitivité bénéficient de subventions publiques et d'un régime fiscal particulier, ils doivent rendre l'économie plus compétitive, tout en luttant contre les délocalisations, créer des emplois, rapprocher la recherche privée et publique et développer certaines zones en difficulté. Sont notamment issus de cette politique :

- Anubis : vers une chirurgie sans cicatrice
- Asemar : un drone autonome et intelligent pour l'exploration des fonds marins
- IRIMI : un système d'imagerie médicale robotisé pour les interventions chirurgicales mini-invasives
- Romeo : un robot humanoïde de grande taille pour l'assistance à la personne
- SeaExplorer : un planeur autonome pour l'exploration sous-marine
- Secmar : sécurité et sûreté des approches maritimes

A la suite du rapport Gallois, le Premier ministre a présenté le 6 novembre 2012 un pacte de 35 mesures en faveur de la compétitivité 2013-2017 avec notamment des moyens en faveur de la robotique.

Les États généraux de l'industrie en 2010 avaient désigné le secteur de la robotique comme levier de croissance économique.

Soutiens privés en France

Il semble que le système français fonctionne essentiellement avec quelques start-up ou entreprises de niche bénéficiant occasionnellement de l'aide de *business angels*.

Au Japon, des investissements privés significatifs sont ceux de Honda et Kawada.

Dmitry Grishin, patron de Mail.ru, une des plus grosses sociétés Internet de Russie a créé un fond d'investissements de 25 millions de dollars qui a déjà investi trois fois dans des sociétés américaines. À ses yeux la France ferait partie des zones actives sur le secteur.

Soutiens à la robotique au niveau européen

La Commission européenne a financé plus de 120 projets de recherche dans le domaine de la robotique pour un montant d'environ 600 millions d'euros au cours des cinq dernières années. RoboEarth, un système de communication ainsi qu'une base de données permettant aux robots d'envoyer, d'échanger ou de partager du savoir sur une grande variété de sujets, est financé depuis décembre 2009 et pour 4 ans par la Commission européenne.

La Commission européenne soutient un nouveau partenariat public-privé Horizon 2020 visant notamment à améliorer la compétitivité industrielle de l'Europe au moyen de technologies robotiques innovantes ainsi qu'à fournir des produits et services robotiques qui contribueront à répondre aux défis sociétaux auxquels l'Europe est confrontée.

La Commission européenne soutient la recherche dans le domaine de la robotique au moyen de ses programmes-cadres de financement de la recherche et de l'innovation. Le programme Horizon 2014-2020 est doté d'un budget indicatif de 80 milliards d'euros.

En janvier 2012 a été créé Robolution Capital, premier fonds d'investissement européen dédié à la robotique de service en France et en Europe et premier fonds mondial sur ce secteur. Ce fonds, dont l'objectif de souscription s'élève à 60 millions d'euros, a vocation à investir dans une perspective moyen-long terme dans des entreprises spécialisées du secteur de la robotique de service domestique et professionnelle.

Soutiens à la robotique au niveau international

Extrait rapport Pipame :

« Les pays asiatiques – Corée, Japon, Taïwan et dans une mesure moindre la Chine – voient dans la robotique de service, notamment personnelle, un secteur à très fort potentiel en termes de développement industriel. Ainsi, ces pays ont inscrit la robotique personnelle et de service comme un axe stratégique de développement dans leur stratégie d'innovation. Cela se traduit par des soutiens financiers et un accompagnement de la structuration, ciblée sur cette thématique.

A *contrario*, les pays d'Europe n'ont pas identifié de manière formelle ce secteur d'activité comme particulièrement important, dans l'ensemble des technologies « de la communication ». Ainsi, si les acteurs de la robotique bénéficient bien de soutiens financiers à l'innovation, ils viennent au niveau national d'appels à projets plus larges, et non d'instruments spécifiquement dédiés. Ce constat induit que les financements publics globaux de la filière ne sont aujourd'hui pas garantis d'un exercice à l'autre.

Les États-Unis présentent un profil encore différent avec un soutien à deux niveaux : des subventions fortes sur les contrats de recherche pour la défense, qui profitent indirectement aux secteurs civils, voire grand public (iRobot, par exemple) ; un plan de développement de la robotique, annoncé à l'été 2011, visant à travailler sur les robots de service professionnels. »

Exemples de financements directement dédiés à la robotique de service

| PAYS | ACTION | |
|---------------------|---|--|
| Corée du Sud | Korean Robotics basic Plan Objectif : leader mondial en 2018 Passage de 6 200 emplois en 2008 à 80 000 en 2018 | 750 M\$; 2009-13 720 M\$; 2002-08 |
| France | Financements de projets de recherche Action Robea Programme ANR PSiRob Fonds européens (appels non spécifiques) | 3,2 M€ 15,2 M€ (2006) 20 M€ (2009) |
| Allemagne | Fonds européens (appels non spécifiques) | 94 M€ (2009) |
| États-Unis | Plan Obama, développement de la robotique de service professionnelle (2011) | 70 M\$ |
| Japon | Investissements privés significatifs : Honda Kawada | 100 M\$ 300 M\$ |
| Taïwan | Soutien public à la filière : Intelligent Robot Industry Development Intelligent Robot Technology Development Intelligent Robot Research | 100 NTD/an 200 NTD/an 100 NTD/an |

Quelques exemples emblématiques de soutien à la filière :

- Le *Korean Robotics Basic Plan* vise à faire de la Corée du Sud le leader mondial de la robotique de service (et donc potentiellement de la robotique dans son ensemble) à l'horizon de 2018. La robotique est ainsi déclarée comme un chantier national stratégique pour l'industrie. Il est soutenu par exemple par l'achat public de robots éducatifs pour les écoles, permettant à Yujin de passer d'une production artisanale à une production industrielle.
- Le LELR (*Local Education Laboratory on Robotics*), dans la communauté de communes de Valdera (Italie) introduit, à titre expérimental, les robots dans les écoles de différents niveaux avec le double objectif d'aider aux apprentissages et d'être un support d'éducation aux sciences de l'ingénieur.
- En Europe, dans le but de candidater à la constitution d'un *flagship*, la Communauté organise le projet *Robot Companion for Citizens* (RCC). S'il est retenu, le projet organisera le financement de la recherche, au niveau européen, sur une durée de 10 ans.

Enfin, les exemples coréen, avec la robotique d'éducation ou domestique, et américain, avec la robotique de défense, montrent que l'existence d'un marché intérieur est un moteur fort pour le développement de la filière. Dans ces deux cas, c'est même la commande publique qui permet l'installation d'un marché et l'industrialisation des technologies et des produits.

Le marché de la robotique comme secteur dynamisant l'économie

La Commission européenne estime que le marché de la robotique de services (robots domestiques, de loisir, d'assistance à la personne et à l'éducation...) pèse 3,3 milliards de dollars et pourrait atteindre 100 milliards en 2020, et ce marché sera multiplié par 30 en dix ans.

En France, la robotique est perçue comme un secteur créateur d'emplois directs et indirects, et comme un enjeu de compétitivité souligné dans le rapport Gallois comme dans le Pacte pour la compétitivité, la croissance et l'emploi du gouvernement de novembre 2012.

« Elle [la robotisation de l'appareil productif] permet de sauvegarder de la production industrielle, des emplois, de prévenir les délocalisations et est un levier central dans les processus de relocalisation d'activité, programme prioritaire du gouvernement. En effet, démonstration est faite depuis longtemps qu'il existe une relation entre taux d'emplois industriels dans l'économie et taux de robotisation. Les nations les plus industrialisées d'Europe, comme l'Allemagne ou l'Italie sont aussi les plus robotisées. » Extrait du plan France robots initiatives (FRI).

Or la France est sous-équipée en robots industriels. Dans l'industrie hors automobile, 33 000 robots en France et 150 000 en Allemagne. Dans l'automobile, 1,5 fois moins de robots en France qu'en Allemagne.

« Nous estimons que les emplois directs induits par la robotique de service à l'horizon de 5 à 10 ans sont de quelques milliers à quelques dizaines de milliers. ». Source : cabinet Erdyn pour le Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (Pipame) et la Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGCIS).

Concurrence européenne et mondiale

La robotique industrielle est un marché dominé par les Japonais, les Américains et les Allemands.

La Commission européenne lancera en 2013 un partenariat public-privé dans le domaine de la robotique afin d'aider les sociétés implantées en Europe à augmenter leur part du marché mondial de la robotique industrielle et de service.

La part française dans les projets européens en robotique et systèmes cognitifs est de 5,6 % contre 27,4 % pour l'Allemagne, 17,3 % pour la Grande Bretagne et 12,4 % pour l'Italie.

Les nations les plus industrialisées d'Europe, comme l'Allemagne ou l'Italie, sont les plus robotisées. 34 500 robots industriels avec une moyenne d'âge élevée en France. 62 000 en Italie et 150 000 en Allemagne. Une course de vitesse est engagée avec les pays émergents qui, face à la croissance des salaires, ont engagé un mouvement important de robotisation pour conserver leurs avantages compétitifs. Désormais, la Chine robotise son appareil productif plus rapidement que le nôtre.

Tendances, facteurs et acteurs

Tendances

Développement de la robotique au niveau académique en France et en Europe depuis les années 2000 avec un soutien financier publique européen.

Sous-équipement de la France en robotique dans le secteur industriel.

Dans les années 1980 le secteur industriel n'a pas pris le virage de la robotisation. Les industriels ont peut-être voulu remplacer l'humain sur des tâches trop complexes, ils ont été déçus. Ils ont préféré reprendre des humains plus adaptatifs pour ces tâches requérant un haut niveau de précision. C'est aussi l'époque des premières délocalisations. Moins d'entreprises donc moins de robots.

En France, le nombre d'entreprises dont l'activité principale est la conception ou la fabrication de robots de service serait compris entre 30 et 60 pour un nombre d'emplois de quelques centaines de personnels très qualifiés : chercheurs, ingénieurs et techniciens majoritairement.

Émergence de l'intérêt pour la robotique avec les robots ménagers, les robots médicaux, les robots mobiles humanoïdes.

Facteurs

Compétitivité économique, dette publique.

Acteurs

Pays concurrents, compétences intellectuelles, *start-up*.

Prospective

Déterminants de l'évolution future

Les tendances du passé ne peuvent-elles que se poursuivre ?

Pas de soutien en France : en cours de changement.

Robotique académique : pourrait évoluer.

Marché de niche : pourrait évoluer.

Soutien dans les pays concurrents : Allemagne, Italie, GB, USA, Japon, Corée... : va se poursuivre.

Existe-t-il des facteurs de ruptures des tendances du passé ?

Oui, le besoin de développer des secteurs compétitifs pour relever le niveau de la dette publique.

Infléchissements des tendances

Oui, mise en œuvre d'un plan France robots initiatives (FRI).

Parallèlement, il semblerait (source Syndicat de la robotique de service professionnel et personnel, Syrobo) que la France soit à un moment crucial où le basculement dans la robotique est possible, avec des progrès depuis 4-5 ans qui ont préparé le terrain. Dans la vie quotidienne : autonomie, web 2, intelligence embarquée, voitures équipées, bâtiments de plus en plus connectés intégrant les nouvelles technologies, plus récemment avec les smartphones . En entreprise : tunneliers, Baxter de Rethink Robotics, nouveau robot pour les chaînes de montage, le partenariat public/privé *Factories of the Future*, qui est un programme de recherche d'un budget d'un peu plus de 1 000 milliards d'euros pour aider l'industrie manufacturière à développer de nouvelles technologies.

L'enjeu pour la France : mettre en phase l'académique et l'industriel, ne pas laisser filer son intelligence et son savoir-faire au Japon comme dans les années 70-80.

Hypothèses

Construites sur les incertitudes majeures (facteurs de rupture des tendances) (besoin de développer des secteurs compétitifs pour relever le niveau de la dette publique), elles prennent en compte les tendances lourdes (soutien et incitation dans les pays concurrents : Allemagne, Italie, GB, USA, Japon, Corée... qui vont se poursuivre) et les faits porteurs d'avenir (mise en œuvre d'un plan France robots initiatives)

Hypothèse 1. Pas de soutiens importants (saupoudrage)

Cette hypothèse correspond à la situation récente de la France et constitue une tendance lourde, mais elle semble être en passe d'évoluer avec l'élaboration d'un plan France robots initiatives en mars 2013. L'objectif est de soutenir directement et indirectement le secteur de la robotique en France. À ce jour, les modalités concrètes de ce soutien ne sont pas connues : 100 millions d'euros d'investissement, répartis entre les entreprises et le monde de la recherche. Par ailleurs, un soutien indirect est également envisagé sans que ses déclinaisons pratiques soient connues en incitant certains secteurs économiques en particulier à consommer. Toutefois, nul ne saurait dire si ce plan sera pérenne à l'horizon 2030 dans la mesure où la tendance lourde ne va pas dans ce sens. *C'est un début qui peut suffire à amorcer la pompe, aux dires du Syrobo.*

Si les aides publiques décrochaient, les aides privées en interne comme en externe pourraient peut-être profiter aux acteurs français de la robotique. En effet, le premier fond d'investissement français en robotique, Robolution Capital, a été créé en janvier 2012.

En tout état de cause, les soutiens à l'extérieur devraient se poursuivre, car c'est une autre tendance lourde. Aux yeux de Dmitry Grishin, patron de Mail.ru, une des plus grosses sociétés Internet de Russie qui a créé un fond d'investissements de 25 millions de dollars, la France ferait partie des zones actives sur le secteur.

Hypothèse 2. Soutiens sur certains secteurs stratégiques

C'est la nouvelle tendance en France avec le plan FRI

Le plan FRI aura impulsé une dynamique dont on peut penser qu'il restera nécessairement quelque chose à travers les modifications induites dans le secteur de la robotique lui-même et dans des secteurs identifiés comme débouchés privilégiés.

Quand bien même le public décrocherait, le privé pourrait continuer à y voir un intérêt. Il est peu probable que tous les soutiens à l'extérieur disparaissent, ils peuvent peut-être tout au plus stagner et maintenir leur niveau actuel eu égard à l'enjeu économique de compétitivité.

Entre autres mesures :

- axes prioritaires de déploiement : transport & logistique, défense & sécurité, environnement (intervention en milieu hostile...), machines intelligentes (usine du futur, nouveaux procédés manufacturiers collaboratifs, cobotique...), assistance à la personne ;
- soutien R&D robotique financé par l'État ;
- financement de défis de collaboration académique/entreprise ;
- achats publics de robotique ;
- relance des formations de haut niveau.

Les pays asiatiques, Corée, Japon, Taïwan et dans une mesure moindre la Chine

Soutiens financiers et accompagnement de la structuration ciblés sur la robotique personnelle et de service.

Le Korean robotics

Basic plan vise à faire de la Corée du Sud le leader mondial de la robotique de service (et donc potentiellement de la robotique dans son ensemble) à horizon de 2018. La robotique est ainsi déclarée comme un chantier national stratégique pour l'industrie. Il est soutenu par exemple par l'achat public de robots éducatifs pour les écoles, permettant à Yujin de passer d'une production artisanale à une production industrielle. 720 M\$ sur 2002-2008 et 750 M\$ sur 2009-2013.

Europe

Soutiens financiers à l'innovation à l'occasion d'appels à projets plus larges. Les financements publics ne sont donc pas garantis d'un exercice à l'autre.

États-Unis

Subventions fortes sur les contrats de recherche pour la défense, qui profitent indirectement aux secteurs civils, voire grand public (iRobot, par exemple) ; un plan de développement de la robotique, annoncé à l'été 2011, vise à travailler sur les robots de service professionnels.

Hypothèse 3. Soutien massif quel que soit le secteur

Quand bien même ce soutien massif ne proviendrait pas de la France mais d'autres pays, l'hexagone n'étant pas étanche, les RAP pourraient alors déferler sur le territoire. Reste l'inconnue de la solvabilisation de la demande, mais dès lors que le soutien à l'extérieur serait massif, l'accès financier en serait alors par là même facilité.

Incidations à l'utilisation

Carole GAYET, INRS.

Définition

Par incitations, il faut entendre essentiellement les incitations financières. Elles peuvent être publiques mais aussi privées. Les incitations peuvent s'adresser directement à l'ensemble des secteurs impliqués dans la conception des robots d'assistance physique : incitations en direction des entreprises qui conçoivent ces robots, des organismes et projets de recherche en robotique. Les incitations peuvent aussi être indirectes et s'adresser aux utilisateurs potentiels de ces robots d'assistance physique. Par exemple, une politique d'aide financière à l'acquisition d'un robot d'assistance physique dans une entreprise ou une politique de prise en charge de la perte d'autonomie des personnes âgées ou handicapées dont les moyens financiers ne leur permettraient pas d'acquérir le robot qui se substituerait à eux et/ou au salarié qu'il faudrait mobiliser pour les aider. Autre exemple extrait du plan France robots initiatives (FRI) de mars 2013 : la proposition d'une réglementation autorisant l'introduction de drone dans la circulation aérienne ou d'automobile autonome (sans chauffeur) dans la circulation routière.

Il semble qu'il faille s'intéresser non seulement aux incitations hexagonales, mais aussi aux incitations au niveau européen et mondial, car même s'il n'y avait pas d'actions en faveur de RAP *made in France*, cela n'empêcherait pas les travailleurs dans les entreprises et autres lieux de travail en France d'être confrontés à des RAP *made in Germany* ou *made in Japan* par exemple.

Indicateurs

Pour évaluer les évolutions possibles dans le domaine des incitations à l'utilisation, deux indicateurs ont été choisis :

1. la place des RAP aujourd'hui chez les consommateurs de robotique : entreprises, particuliers,
2. les incitations à la consommation existantes à ce jour.

Rétrospective

Les RAP aujourd'hui en entreprise et chez les particuliers

Il convient tout d'abord de souligner le sous-équipement de la France en robotique dans le secteur industriel.

Dans les années 1980 le secteur industriel n'a pas pris le virage de la robotisation. À l'origine, les industriels ont peut-être voulu remplacer l'humain sur des tâches trop complexes, ils ont été déçus. Ils ont préféré confier à nouveau à des humains plus adaptables ces tâches requérant un haut niveau de précision. C'est aussi l'époque des premières délocalisations massives. Ces délocalisations ont correspondu à un moindre investissement en France, donc à un moindre recours à la robotisation.

Les nations les plus industrialisées d'Europe, comme l'Allemagne ou l'Italie sont les plus robotisées. Il existe 34 500 robots industriels avec une moyenne d'âge élevée en France, 62 000 en Italie et 150 000 en Allemagne. Une course de vitesse est engagée avec les pays émergents qui, face à la croissance des salaires, ont engagé un mouvement important de robotisation pour conserver leurs avantages compétitifs. Désormais, la Chine robotise son appareil productif plus rapidement que le nôtre.

Chez les particuliers, on a assisté à une émergence de l'intérêt pour la robotique avec les robots ménagers.

En milieu hospitalier, on note l'apparition des robots médicaux.

Il convient en outre de signaler un grand intérêt académique en France et à l'international pour les robots mobiles humanoïdes.

Incitations à la consommation dans des secteurs dans lesquels les robots d'assistance physique seraient amenés à se développer

À ce jour, il ne semble pas qu'il y ait en France, en Europe ou à l'international, de secteur dont on puisse dire qu'il ait été encouragé à développer le recours aux RAP. Par exemple, en France, les plans de développement des services à la personne ont visé essentiellement le déploiement de l'emploi dans ce secteur sans imaginer qu'il puisse être consommateur de RAP. De même, le plan de soutien à l'automobile ou à l'industrie ne vise pas à développer les RAP.

Le plan FRI évoque comme axes prioritaires de déploiement : l'aide à la personne, le transport et la logistique, la défense et la sécurité, l'environnement (intervention en milieu hostile...), les machines intelligentes (usine du futur, nouveaux procédés manufacturiers collaboratifs, cobotique...).

Tendances, facteurs et acteurs

Les principaux facteurs identifiés comme susceptibles d'avoir une influence sur cette variable « Incitation à l'utilisation » sont les suivants: compétitivité économique, dette publique, incitations financières, incitations psychologiques, pénurie de main d'œuvre.

Les acteurs identifiés sont les suivants : secteur de l'aide à la personne, transport et logistique, défense et sécurité, environnement (intervention en milieu hostile...), machines intelligentes (usine du futur, nouveaux procédés manufacturiers collaboratifs, cobotique...).

Prospective

En France, la robotique est perçue depuis peu comme un enjeu de compétitivité souligné dans le rapport Gallois comme dans le Pacte pour la compétitivité, la croissance et l'emploi du gouvernement de novembre 2012.

« Elle [la robotisation de l'appareil productif] permet de sauvegarder de la production industrielle, des emplois, de prévenir les délocalisations et est un levier central dans les processus de relocalisation d'activité, programme prioritaire du gouvernement. En effet, démonstration est faite depuis longtemps qu'il existe une relation entre taux d'emplois industriels dans l'économie et taux de robotisation. Les nations les plus industrialisées d'Europe, comme l'Allemagne ou l'Italie sont aussi les plus robotisées. » Extrait du plan FRI.

Or la France est sous-équipée en robots industriels : dans l'industrie hors automobile, 33 000 robots en France et 150 000 en Allemagne. Dans l'automobile, 1,5 fois moins de robots en France qu'en Allemagne.

« Nous estimons que les emplois directs induits par la robotique de service à l'horizon de 5 à 10 ans sont de quelques milliers à quelques dizaines de milliers. » Source : cabinet Erdyn pour le Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (Pipame) et la Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGCIS).

Certains secteurs comme celui de l'aide à la personne en établissement privé par exemple pourraient être clients et très intéressés par l'utilisation des RAP.

Quels sont les déterminants de l'évolution future ?

Les tendances du passé ne peuvent-elles que se poursuivre ?

Il n'y a pas d'incitation actuellement en France : cette situation pourrait changer avec le plan FRI.

Existe-t-il des facteurs de ruptures des tendances du passé ?

Peut-être, par exemple le besoin de développer des secteurs compétitifs pour abaisser le niveau de la dette publique.

Peut-on imaginer un infléchissement des tendances ?

Peut-être, avec le plan France robots initiatives.

Hypothèses

Hypothèse 1. Incitations à la robotisation des entreprises et des personnes

L'action engagée dans le plan FRI est poursuivie au long cours. Elle entre en résonance positive avec d'autres dispositifs d'incitation, notamment en termes de recherche et de transfert, mis en place ailleurs dans le monde.

Cette action d'aide au développement est complétée par des aides à l'équipement qui concourent à solvabiliser et augmenter la demande de robots d'assistance physique :

- dans le secteur industriel ou de la logistique où des dispositifs financiers directs ou indirects sont mis à la disposition des entreprises pour une aide à l'équipement ;
- dans le secteur de l'aide à la personne (établissements ou au domicile) où une politique volontariste d'équipement est également mise en place.

Hypothèse 2. Robotisation des entreprises

Les aides au développement sont plus limitées en France, mais maintenues dans plusieurs pays étrangers. L'offre de nouveaux robots d'assistance physique toujours plus performants et perfectionnés est donc forte.

Face à la forte demande des entreprises, l'État maintient des incitations financières limitées (crédit d'impôts, subventions) aux entreprises.

Hypothèse 3. Robotisation d'assistance aux personnes dépendantes

Comme précédemment, les aides au développement sont plus limitées en France, mais maintenues dans plusieurs pays étrangers. L'offre de nouveaux robots d'assistance physique toujours plus performants et perfectionnés est donc forte.

Dans cette hypothèse, une demande forte émanerait des personnes en perte d'autonomie. L'État maintient des incitations financières limitées (crédit d'impôts, subventions) aux établissements hébergeant ce public ou aux particuliers intéressés par l'utilisation de robots d'assistance à la personne à leur domicile.

Hypothèse 4. Pas d'incitations

Les conditions économiques font que toute aide au développement ou à l'équipement est supprimée.

Périmètre géographique du marché des robots

Adel SGHAIER, INRS.

Introduction

Les différentes études réalisées sur le marché de la robotique sont unanimes et décrivent une évolution des ventes aussi bien des robots industriels que des robots de service. Néanmoins, la répartition géographique de ces marchés dépend du type de robot et est amenée à varier dans les années à venir.

Rétrospective

Les recherches et développements en robotique de chaque pays se sont orientés vers des domaines spécifiques dans le but de répondre au mieux aux besoins de chaque pays. Par exemple, on a pu remarquer ces dernières années le développement des robots humanoïdes au Japon. Ce développement a été impulsé par une volonté politique de pallier le manque de main d'œuvre dans le domaine de l'assistance à la personne du fait du vieillissement de la population dans ce pays. Dans la suite de ce paragraphe, nous allons faire une analyse rétrospective sur deux types de robots : les robots industriels et les robots de service.

Robots industriels

La Fédération internationale de la robotique (IFR) donne des chiffres assez précis sur le marché des robots industriels. Après un repli des ventes en 2009 causé par la crise économique mondiale, les ventes sont reparties à la hausse depuis 2010. L'analyse de la répartition géographique des ventes de robots industriels peut nous renseigner sur la rapidité de l'évolution du marché dans les différentes régions du monde, ce qui nous donnera une idée des évolutions futures du périmètre géographique de ce marché.

Deux types de données sont analysés dans les études de marché de la robotique réalisées par l'IFR¹ :

- le nombre de nouvelles installations robotiques par pays (demande) qui est déterminé par le relevé des livraisons faites par les principaux fabricants de robots industriels,
- le stock de robots industriels des fabricants (offre) qui indique la production de robots pour chaque pays.

Depuis 2010, on peut remarquer une augmentation des commandes de robots industriels dans la plupart des pays avec une augmentation importante pour la Chine, le Japon, la Corée et l'Amérique du Nord (voir figure 1). L'augmentation d'installations nouvelles peut avoir différentes raisons. Pour le Japon par exemple, l'augmentation du nombre des nouvelles installations de robots industriels fait suite à un investissement massif pour la rénovation et la modernisation d'installations existantes. On peut remarquer une forte croissance des installations robotiques en Corée entre l'année 2009 et 2010 (+ 190 %) qui est expliquée par des décisions politiques fortes pour la robotisation de l'industrie dans ce pays. Ces installations ont continué à croître mais plus faiblement (+ 8,6 %) en 2011 (voir les chiffres en détail en annexe). Les commandes de robots industriels de l'Allemagne ont atteint un niveau record en 2011. En France, les nouvelles installations sont en forte croissance ces dernières années : + 13 % en 2010 et + 49 % en 2011 mais n'ont pas atteint leurs niveaux d'avant la crise (3 300 installations en 2007 contre 3 058 en 2011). On peut remarquer également l'augmentation importante des installations de robots industriels en Chine. Cette augmentation est due à l'expansion rapide de l'industrie de l'électronique et de l'automobile dans ce pays. L'IFR prévoit une forte croissance des commandes de robots pour la Chine dans les années à venir.

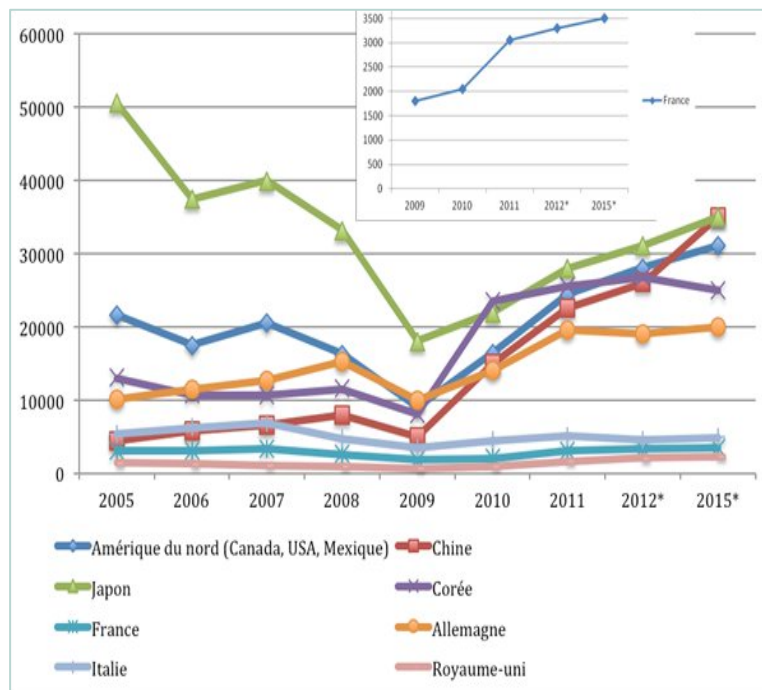


Figure 1. Évolution des installations (demande) de robots industriels dans le monde (Source IFR)

¹ World Robotics 2012 Industrial Robots, IFR - World Robotics 2012 Service Robots, IFR

Il est intéressant d'observer l'évolution des stocks de robots industriels pour chaque pays. Cela permet d'avoir une idée précise des pays qui fabriquent et commercialisent les robots à l'échelle mondiale. L'évolution des stocks que nous pouvons observer sur la figure 2 prouve que les stocks ne sont pas complètement liés à la demande dans chaque pays. En effet, on peut remarquer par exemple que, pour le Japon, malgré une augmentation des demandes en termes de robots industriels, l'offre est en continuelle diminution. Pour les autres pays, il est intéressant de remarquer que l'offre de robots industriels n'a pas été aussi fortement impactée par la crise que la demande. Ceci peut s'expliquer par la demande grandissante des pays en voie de développement comme l'Inde et le Pakistan qui n'ont pas de production locale de robots capable de faire face à la demande. Le marché de l'offre de robots industriels reste, tout de même, dominé par l'Asie. La diminution de l'offre au Japon est largement compensée par le développement rapide de l'offre en Chine. Mis à part pour l'Allemagne où le marché de l'offre continue à progresser, le marché européen est stable. La France n'échappe pas à ce phénomène puisque le stock de robots tourne autour de 34 000 unités ces quatre dernières années (annexe).

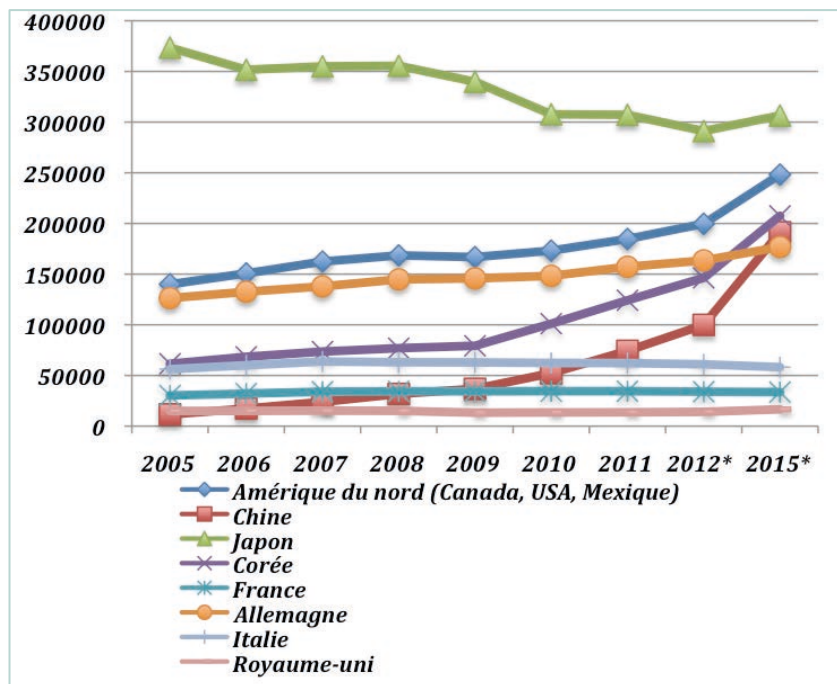


Figure 2. Évolution des stocks (offre) de robots industriels dans le monde
(Source IFR)

Globalement ce que l'on peut retenir des chiffres donnés par la Fédération internationale de la robotique, c'est que l'offre et la demande en robots industriels sont en hausse depuis 2009 et que cette tendance ne devrait pas changer à l'horizon proche. L'IFR émet, tout de même, des réserves à cette croissance dans le cas où la crise économique perdure : « Les problèmes financiers des grands marchés pourraient réduire la croissance de l'économie mondiale ou même provoquer une récession. Cela peut entraîner une diminution des investissements aussi en robotique. Dans ce cas, bien que les investissements prévus pourraient être retenus pendant un certain temps, la tendance à l'automatisation va se poursuivre à une date ultérieure afin d'accroître la productivité, la rentabilité et de garantir la durabilité de la production industrielle ».

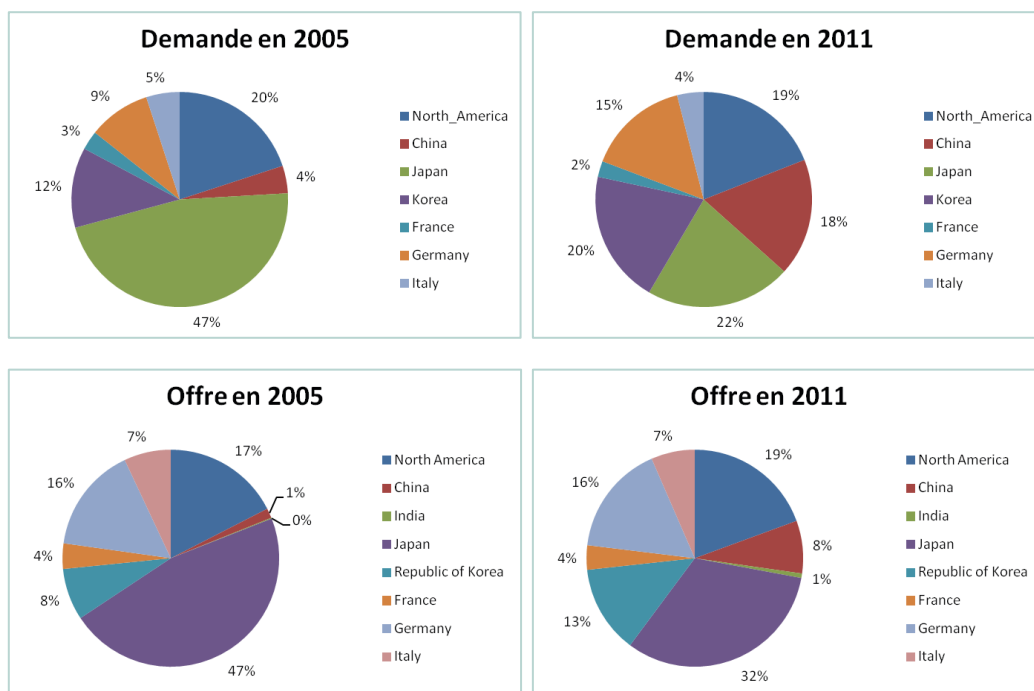


Figure 3. Périmètre géographique du marché de la robotique industrielle entre 2005 et 2011 (Source IFR)

On peut également observer un changement important de la répartition géographique du marché. En effet, la Chine vit une évolution importante de son marché aussi bien en demande qu'en offre de robots industriels (voir figure 3). Cette évolution vient accompagner la croissance économique de la Chine de ces dernières années. Cette évolution ne devrait pas cesser dans les années à venir.

Robots de service

Contrairement au marché des robots industriels, le marché des robots de service professionnels est peu mature. Le nombre total de robots de service professionnels vendus dans le monde en 2011 est de 16 408 unités marquant ainsi une progression de 9 % par rapport à 2010 (source IFR). Ce marché est dominé principalement par les ventes de robots militaires, robots logistiques et de robots médicaux (voir figure 4).

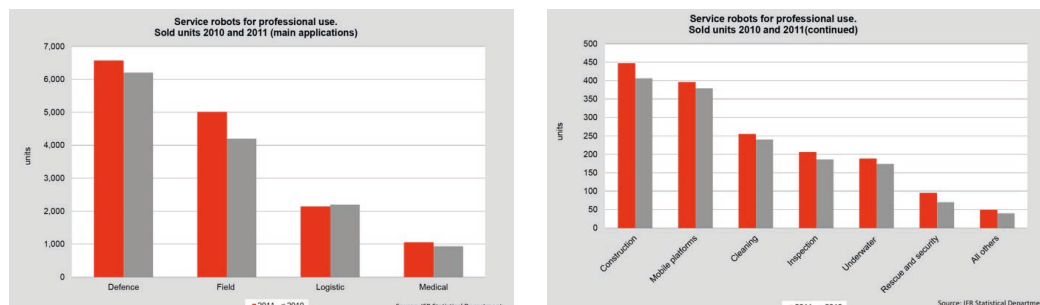


Figure 4. Ventes mondiales de robots de service professionnels

Le marché des robots de service personnels (robots jouets et robots de tâches ménagères) est, quant à lui, florissant. En effet, les ventes de robots de tâches ménagères se comptent en millions d'exemplaires (voir figure 5) et les prévisions de l'IFR laissent présager une augmentation exponentielle des ventes dans ce domaine.

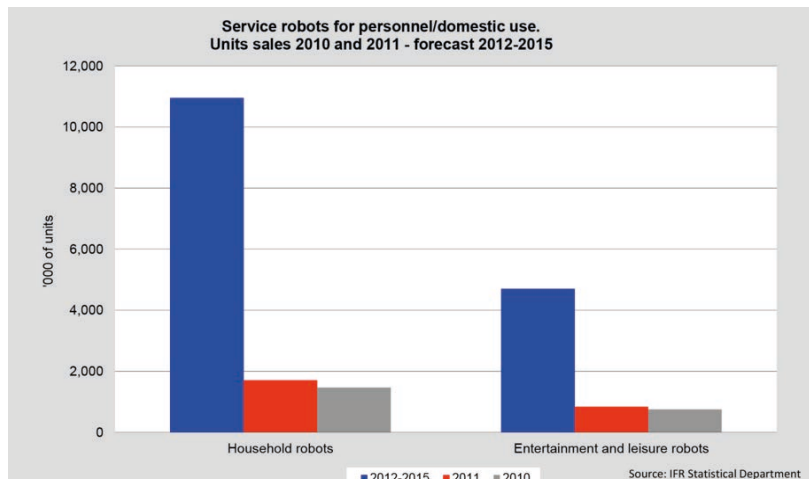


Figure 5. Ventes mondiales des robots de service à usage domestique

Le marché de la robotique de service reste pour l'instant un marché émergent. La filière est en cours de structuration que ce soit à l'étranger ou en France (rapport Pipame)². Le périmètre géographique de ce marché n'est pas clairement établi et peut être amené à changer dans les années à venir. Contrairement à ce qui a été présenté dans le paragraphe précédent (Robots industriels), on ne dispose pas de chiffres précis sur la répartition géographique de l'offre et de la demande pour les robots de service. Néanmoins, on peut identifier un certain nombre de leaders mondiaux.

Le rapport de la Pipame identifie les acteurs principaux de la robotique de service comme étant :

- les États-Unis (robots militaires et robots de service personnels),
- la Corée (robots de service personnels et robots humanoïdes),
- le Japon (robots humanoïdes et robots de transports de personnes),
- la France (robots militaires, robots de nettoyage, robots logistiques et robots pour la recherche et l'éducation),
- l'Allemagne (robots logistiques),
- la Suisse (robots logistiques).

Le marché de la robotique de service est à l'heure actuelle à une étape charnière. Mis à part les robots militaires et les robots ménagers, on peut observer qu'il existe une activité de recherche scientifique importante et plusieurs robots sont disponibles à l'état de prototypes. Mais peu de solutions sont commercialisées ou commercialisables. Les acteurs principaux adoptent des politiques de recherches différentes, ce qui peut expliquer les domaines dans lesquels il sont leaders :

- aux États-Unis, la recherche scientifique sur les robots est principalement financée par le secteur de la défense. En effet la Darpa³ est l'un des principaux investisseurs dans le domaine de la recherche en robotique. Elle organise des concours et finance de nombreux laboratoires universitaires (Carnegie Mellon, Stanford, MIT, Berkeley,...) ainsi que des sociétés (iRobot par exemple) ;

² Pipame. Le développement industriel futur de la robotique personnelle et de service en France.

³ <http://www.darpa.mil/> (département recherche de l'armée américaine)

- le Japon et la Corée ont des recherches fortement orientées vers les robots humanoïdes ;
- en France, il existe une activité de recherche scientifique fortement orientée vers les robots humanoïdes et les robots mobiles. On peut citer par exemple le laboratoire CNRS-Laas qui possède une unité mixte avec le *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology* (Japon) et qui mène des recherches dans le domaine de la robotique humanoïde. L'animation de recherche en France est assurée par le GdR Robotique qui tente également de faciliter le transfert technologique à travers le club des industriels⁴ ;
- l'Allemagne mène des travaux en commun avec Honda (Japon) sur la robotique humanoïde. Il existe également plusieurs travaux de recherche sur les robots industriels collaboratifs (DLR, Fraunhofer Institute) ainsi que sur les robots mobiles ;
- l'Italie mène également des travaux de recherche dans le domaine de la robotique humanoïde.

Le rapport Pipame donne un aperçu sur les domaines de recherche en relation avec la robotique dans lesquels chaque pays s'investit le plus (voir figure 6).

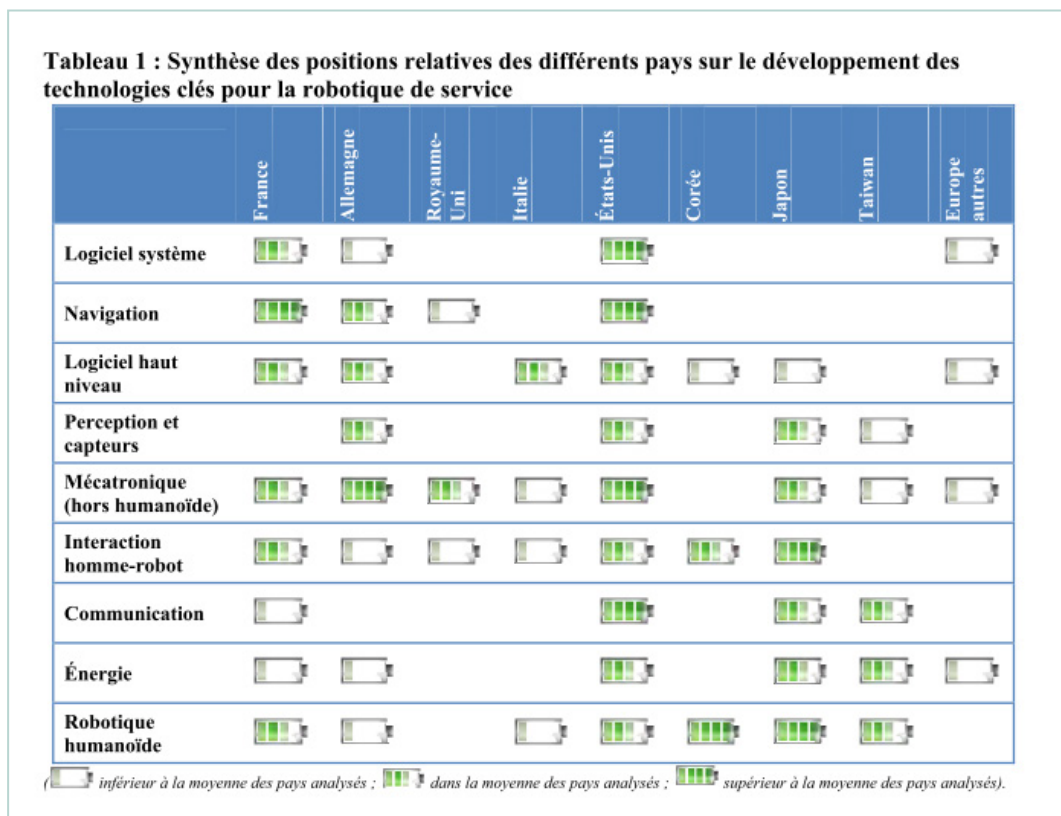


Figure 6. Développement des technologies de la robotique par pays

⁴ http://www.gdr-robotique.org/club_des_partenaires/presentation.php

Prospective

Tendances

Les prévisions à court terme de l'IFR (2015) présagent une forte augmentation de l'offre asiatique avec une envolée du marché de l'offre chinoise (+157 %) et une croissance importante du marché de l'offre coréenne (+67 %). L'IFR prévoit également une croissance forte du marché de l'offre nord-américaine (+34 %) faisant ainsi face à une demande importante dans cette région. Mis à part pour l'Allemagne (+12 %), les prévisions laissent présager une stagnation du marché de l'offre en Europe.

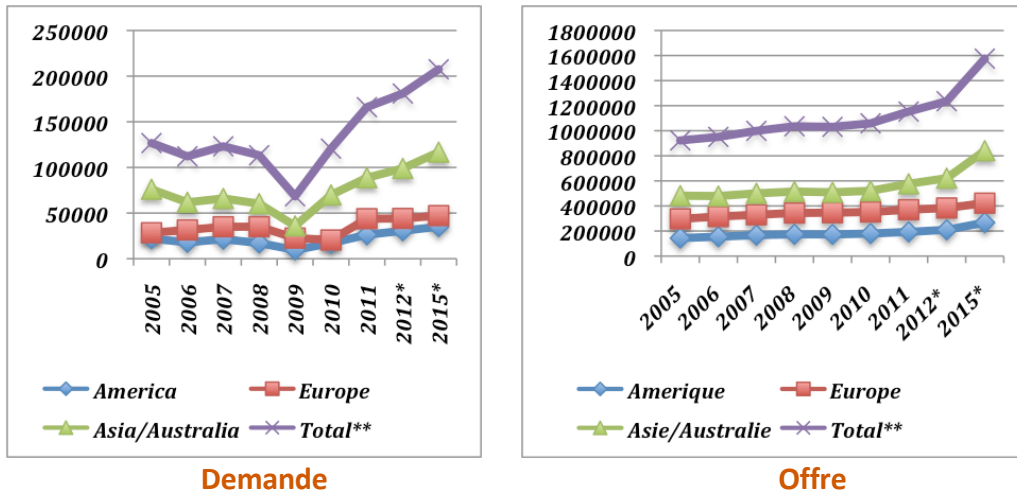


Figure 7. Tendances du marché de l'offre et de la demande en robotique industrielle

Plusieurs études prévoient une envolée du marché de la robotique de service à l'image de ce qui s'est passé ces dernières années concernant le marché de l'informatique ou de la téléphonie mobile. Cette envolée a déjà été initiée par les ventes de robots domestiques qui ont généré beaucoup de profits ces dernières années. Ainsi, d'après les statistiques du ministère de l'Économie coréen, les profits générés par le marché de la robotique de service pourraient dépasser de loin ceux générés par le marché des robots industriels dans les prochaines années (voir figure 8)⁵.

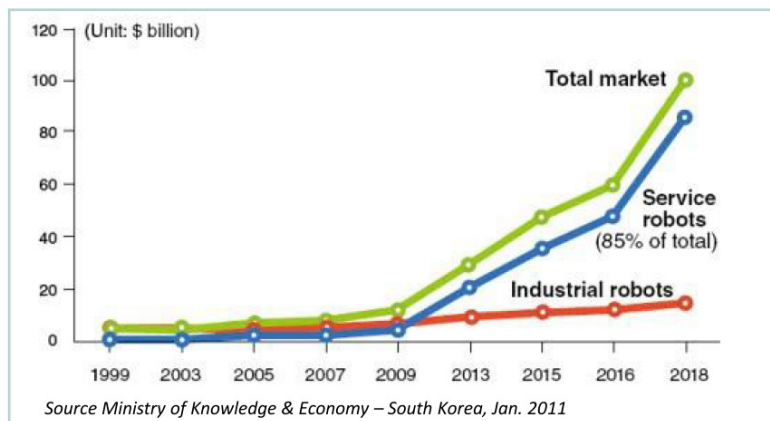


Figure 8. Chiffre d'affaires généré par le marché de la robotique dans le monde

⁵ Catherine Simon (Business Resonance), From Industrial Maturity to industrial « Robotlution », INOROBO 2012.

Le marché de la robotique de service est pour l'instant peu mature. Les seuls marchés qui ont atteint la maturité suffisante sont ceux des :

- robots militaires : le marché des robots pour l'armée et la défense est de loin dominé par les États-Unis. Au vu de la politique de financement de la recherche en robotique pour l'armée adoptée dans ce pays, cette tendance devrait continuer dans les années à venir. La France pourrait jouer un rôle important dans ce marché. La DGA⁶ participe directement ou indirectement à plusieurs projets de développement de robots militaires comme les drones, les robots mobiles ou les exosquelettes⁷ ;
- robots ménagers : ce marché qui est à l'heure actuelle dominé par les États-Unis risque fortement de voir son périmètre changer. En effet, les ventes de la Chine et la Corée dans ce domaine sont croissantes. Le développement de ce type de robots ne nécessitant pas une technologie avancée, on risque de voir arriver sur le marché des robots ménagers asiatiques à des prix extrêmement concurrentiels ;
- robots jouets : la vente des robots jouets (du type Aibo par exemple) a été dominée jusqu'à présent par le Japon. De la même manière que pour les robots ménagers, on risque de voir le marché chinois et coréen de ce type de robot croître fortement à l'image du robot chien coréen Genibo⁸ qui est proposé à un prix de l'ordre de 5 fois moins important que le robot chien japonais Aibo⁹ (1729 \$ contre 9990 \$).

En ce qui concerne le marché des autres types de robots de service qui reste pour l'instant un marché de niche, les prévisions d'évolutions futures sont plus incertaines. Le rapport Pipame pose plusieurs éléments déterminants dans l'évolution de ce marché dont l'aspect économique (modèle économique, chaîne de la valeur, mode de financement pour les robots compagnons...) reste le point central. Les avancées technologiques ainsi que les questions d'acceptabilité et d'éthique sont identifiées comme étant également des déterminants importants de l'évolution de ce marché. *Business Resonance* dans une présentation à Inorobo 2012 considère que le marché de la robotique de service se trouve dans une étape charnière dangereuse (« vallée de la mort ») entre la recherche, l'industrialisation et la commercialisation (figure 9-a) mais considère que l'Europe possède les armes nécessaires (recherche universitaire, *start-up* innovantes, fabricants de robots...) pour relever ce challenge¹⁰. Le président d'Electra Studios, une *start-up* proposant des produits et des services pour l'éducation et la recherche en robotique, fait le même constat et souligne que le marché de la robotique de service est dans une étape clef¹¹ (figure 9-b).

⁶ Direction générale de l'armement : <http://www.defense.gouv.fr/dga/>

⁷ <http://www.defense.gouv.fr/actualites/economie-et-technologie/les-drones-marins-avenir-de-la-lutte-contre-les-mines-navales>

<http://www.defense.gouv.fr/dga/mediatheque/videos/l-exosquelette-hercule2>

<http://www.defense.gouv.fr/dga/mediatheque/videos/le-robot-terrestre-minirogen>

⁸ <http://www.robotshop.com/dasa-robot-genibo-robot-dog-17.html>

⁹ <http://www.amazon.com/Sony-AIBO-ERS-7M3-Pearl-White/dp/B0001JO37K>

¹⁰ Catherine Simon (Business Resonance), From Industrial Maturity to industrial « Robotlution », INOROBO 2012.

¹¹ Dan Kara (Electra Studios), The Robotics Industry Today and Tomorrow, RoboBusiness 2012.

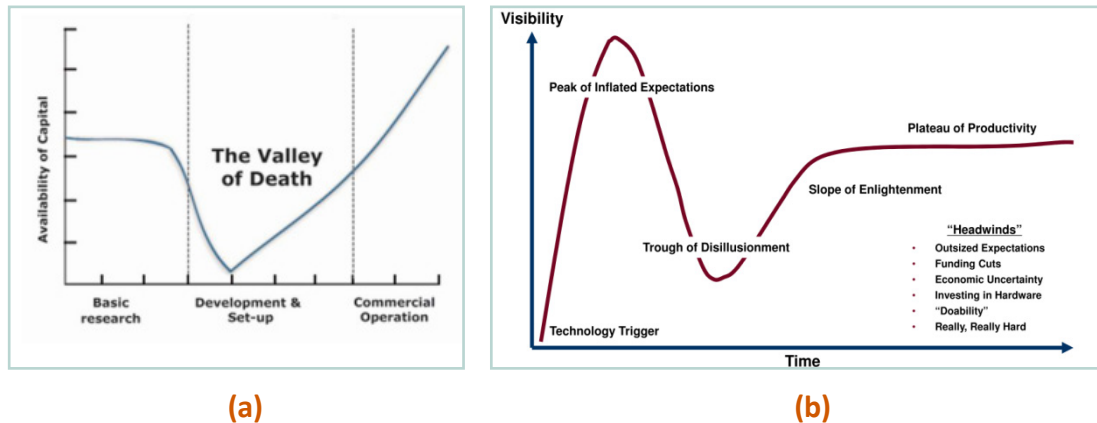


Figure 9. Marché de la robotique de service en Europe entre recherche et commercialisation

Facteurs de rupture

Le facteur de rupture principal pour le marché de la robotique industrielle est le facteur économique. En effet, nous avons pu voir un recul important de la demande en robots en 2009 suite à la crise économique. Ce recul a généré un ralentissement dans l'offre de robots industriels à l'échelle mondiale. Certes, les ventes ont redémarré sous l'impulsion de décisions politiques en faveur de la robotisation dans les pays développés et sous l'impulsion de la demande dans les pays émergents, mais une crise économique plus intense et qui durerait dans le temps pourrait impacter négativement le développement du marché de la robotique industrielle.

Le facteur de rupture économique risquerait d'impacter plus intensément le marché de la robotique de service qui lui n'est pas encore complètement mature. Contrairement aux robots industriels qui peuvent participer à l'essor économique d'un pays, le maintien de financement de projets de recherche pour la robotique de service paraît plus délicat à défendre devant de fortes restrictions budgétaires dictées par une crise économique qui dure. Un des facteurs importants pour le développement des robots de service est sans aucun doute l'évolution des technologies qui influe directement sur la faisabilité de ces robots.

Hypothèses

Hypothèse 1 (tendancielle). Le marché des robots industriels classiques (en cage) et des RAP est croissant et dominé par l'Asie à l'exception des marchés stratégiques (robots médicaux et militaires)

Le marché de la robotique industrielle est dominé par l'Asie sous l'impulsion chinoise et coréenne qui continue. En Europe, le marché allemand continue son évolution, poussé par l'avance technologique. En France et dans le reste de l'Europe, le marché croît dans un premier temps puis stagne voire recule légèrement devant la poussée du marché asiatique. Aux États-Unis, à l'image du marché européen, on pourra remarquer une légère croissance puis une stabilité voire un recul.

Le marché chinois et coréen est très croissant sur les robots de service ménagers et les robots ludiques. Seuls les marchés des robots militaires et des robots médicaux qui sont considérés comme stratégiques et pour lesquels les avancées sont protégées par les états leaders (États-Unis, France, Allemagne...) échappent à la domination chinoise et coréenne. Pour ces marchés, les États-Unis et l'Europe restent les leaders mondiaux.

Hypothèse 2. La progression asiatique (hors Japon) est freinée par l'avance technologique des pays pionniers et le marché européen est croissant

Des transferts de technologies de la recherche scientifique vers les industriels protégés par des brevets permettent au Japon, aux États-Unis et à l'Europe de garder leurs *leaderships* au niveau de la robotique industrielle. Des décisions politiques permettent d'encourager les transferts technologiques et l'innovation en France et en Europe. Suite à la fin de la crise économique et bénéficiant d'une avance au niveau de la recherche scientifique, les pays de la Communauté européenne menés par l'Allemagne et la France dominent le marché florissant de la robotique de service. Le Japon reste un acteur principal du marché des robots de service, surtout dans le domaine des robots humanoïdes et des robots de transport de personnes. Les États-Unis gardent leur avance au niveau de la robotique militaire.

Hypothèse 3 (hypothèse de rupture). Le marché de la robotique est en recul. Il ne se maintient que pour les robots industriels au Japon, aux États-Unis et en Europe (pas de développement de RAP). Seule la robotique militaire progresse (États-Unis et Europe)

Le monde fait face à une crise économique de plus en plus importante et qui dure dans le temps. Face à cette crise, tous les pays mettent en place des restrictions budgétaires. Ces restrictions ont pour effet de freiner la croissance du marché de la robotique de service et surtout en ce qui concerne les marchés peu matures. Seul le marché de la robotique militaire échappe à ces restrictions et reste dominé par les États-Unis et l'Europe. Le marché de la robotique industrielle est, quant à lui, partiellement épargné. Les retombées en termes de productivité de l'utilisation des robots industriels argumentent le maintien économique de cette branche dans les pays développés. Les États-Unis, l'Europe et le Japon sont les pays qui ont les plus gros marchés de robots industriels. La croissance de ce marché ralentit, tout de même, face à la crise économique mondiale qui dure.

Annexe

Données des stocks et installations de robots industriels dans le monde
(données croisées à partir des rapports de l'IFR de 2007, 2009 et 2012)

| Country | Operational stock at year-end | | | | | | | Forecasts | |
|--|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 * | 2015 * |
| America | 143634 | 154680 | 167100 | 173977 | 172800 | 179785 | 192966 | 209500 | 267200 |
| North America (Canada, Mexico, USA) | 139984 | 150725 | 162400 | 168489 | 166800 | 173174 | 184679 | 199693 | 248232 |
| Central and South America | 3650 | 3955 | 4700 | 5488 | 6000 | 6611 | 8287 | 9807 | 18968 |
| Asia/ Australia | 481652 | 479027 | 500500 | 514914 | 509000 | 520831 | 576545 | 621500 | 841300 |
| China | 11557 | 17327 | 23900 | 31787 | 36800 | 52290 | 74317 | 99900 | 191300 |
| India | 1069 | 1905 | 3500 | 3716 | 4200 | 4855 | 6352 | 8300 | 17100 |
| Japan | 373481 | 351658 | 355000 | 355562 | 339800 | 307698 | 307201 | 291200 | 306500 |
| Republic of Korea | 61576 | 68420 | 73600 | 76923 | 79300 | 101080 | 124190 | 146300 | 207500 |
| Taiwan | | | | | | 26896 | 29837 | 33500 | 46700 |
| Thailand | | | | | | 9635 | 13088 | 17200 | 34900 |
| Other Asia/ Australia | | | | 10157 | 48900 | 18377 | 21560 | 25100 | 37300 |
| Europe | 296918 | 315624 | 329800 | 343700 | 346100 | 352142 | 369965 | 383800 | 422500 |
| France | 30236 | 32110 | 34000 | 34370 | 34400 | 34495 | 34461 | 34000 | 33600 |
| Germany | 126294 | 132594 | 137900 | 144803 | 145800 | 148256 | 157241 | 163500 | 176800 |
| Italy | 56198 | 60049 | 63800 | 63051 | 62900 | 62378 | 62245 | 61000 | 58200 |
| Spain | | | | 28636 | 27400 | 28868 | 29847 | 29400 | 29500 |
| United Kingdom | 14948 | 15082 | 15300 | 15133 | 13300 | 13519 | 13641 | 14100 | 16600 |
| Other Europe | | | | 27950 | 62300 | 60164 | 66640 | 74000 | 93200 |
| Africa | 634 | 1060 | 1700 | 1784 | 1800 | 2232 | 2495 | 2800 | 3900 |
| TOTAL * * | 922838 | 950974 | 999100 | 1035674 | 1031000 | 1059162 | 1153097 | 1235600 | 1575500 |

| Country | Yearly installations | | | | | | | Forecasts | |
|---------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012* | 2015* |
| America | 21986 | 17910 | 21400 | 17192 | 9600 | 17114 | 26227 | 30600 | 35100 |
| North America | 21567 | 17417 | 20500 | 16242 | 9000 | 16356 | 24341 | 28000 | 31000 |
| Central and South America | 419 | 493 | 900 | 950 | 600 | 758 | 1886 | 2600 | 4100 |
| Asia/Australia | 76047 | 61748 | 66000 | 60294 | 35900 | 69833 | 88698 | 98900 | 116700 |
| China | 4461 | 5770 | 6600 | 7879 | 5000 | 14978 | 22577 | 26000 | 35000 |
| India | 450 | 836 | 1600 | 883 | 500 | 776 | 1547 | 2000 | 3500 |
| Japan | 50501 | 37393 | 39900 | 33138 | 18000 | 21903 | 27894 | 31000 | 35000 |
| Korea | 13005 | 10756 | 10700 | 11572 | 8100 | 23508 | 25536 | 26800 | 25000 |
| Taiwan | 4096 | 4307 | 15464 | 3359 | 23644 | 3290 | 3688 | 4400 | 5500 |
| Thailand | 1458 | 1102 | 2472 | 1585 | 6411 | 2450 | 3453 | 4100 | 7000 |
| Other Asia/Australia | 1163 | 812 | 11095 | 1878 | 11014 | 2928 | 20483 | 4600 | 5700 |
| Europe | 28432 | 31536 | 35000 | 35066 | 22600 | 20483 | 43826 | 44100 | 47200 |
| France | 3077 | 3071 | 3300 | 2605 | 1800 | 2049 | 3058 | 3300 | 3500 |
| Germany | 10075 | 11425 | 12700 | 15248 | 10000 | 14061 | 19533 | 19000 | 20000 |
| Italy | 5425 | 6259 | 6900 | 4793 | 3500 | 4517 | 5091 | 4600 | 4900 |
| Spain | 2709 | 2409 | 24141 | 2296 | 1500 | 1897 | 3091 | 2500 | 3000 |
| United Kingdom | 1363 | 1220 | 1000 | 909 | 600 | 878 | 1514 | 2000 | 2200 |
| Other Europe | 157 | 995 | 809 | 4179 | 5200 | 6937 | 9921 | 11100 | 10600 |
| Africa | 204 | 426 | 700 | 461 | 300 | 259 | 323 | 350 | 500 |
| TOTAL** | 126669 | 112203 | 123100 | 113345 | 68400 | 120585 | 166028 | 180950 | 207500 |

Demande de robots d'assistance physique dans le secteur de l'agriculture

Rachel BARBET-DUTRAYE, CCMISA.

Définition courte de la variable et de son champ

Cette variable traite de la demande en RAP dans le secteur de l'agriculture. Il s'agit d'identifier les déterminants qui influencent la demande en RAP dans les exploitations agricoles.

Il est difficile de définir précisément le champ d'investigation car les trois organismes que sont le ministère de l'Agriculture, l'INSEE et la MSA s'appuient sur des définitions et des périmètres statistiques différents et leurs enquêtes n'ont pas la même périodicité (cf. annexe 1)*.

Quelques décennies de modernisation rapide, depuis la fin du dernier conflit mondial, ont profondément transformé l'agriculture de notre pays. C'est désormais une activité fortement mécanisée, très régulée par les pouvoirs publics et les organismes professionnels, inscrite dans des dispositifs de certification et de contrôle, disposant d'une protection sociale spécifique et intégrée dans le circuit des échanges économiques. L'agrandissement et la spécialisation des exploitations, l'intensification de l'usage du sol, l'utilisation de processus de type industriel, l'élévation continue de la production physique de travail et la production font que, de toutes les activités économiques, l'agriculture est celle qui a connu la mutation la plus profonde². Ses productions abondantes et diversifiées, fondées sur une mobilisation importante de capitaux, garantissent la production de masse des industries agroalimentaires¹.

* Les numéros de notes dans le texte se rapportent aux documents cités dans la bibliographie à la fin de cette fiche.

Rétrospective de la variable

Évolution du marché mondial de la robotique et place de l'agriculture

Le parc de robots de service professionnels est évalué par l'IFR à 63 000 unités fin 2008 d'une valeur de 11,2 milliards USD. Le marché 2009-2012 pourrait atteindre 49 000 robots supplémentaires pour un montant approchant 10 milliards USD.

Dans cette catégorie, le premier domaine utilisateur concerne l'élevage et l'agriculture qui représentent 31 % de la valeur du parc de robots professionnels installés. Pour l'essentiel, il s'agit de trayeuses, objet d'un marché mature. Les principaux constructeurs sont des fabricants d'équipements agricoles ou agroalimentaires tels que les groupes suédois TetraLaval, néerlandais Lely, allemand GEA Farms Technology et britannique Fullwood Packo³.

Les robots cueilleurs, pour les récoltes de fruits sont encore largement en développement par de grands constructeurs parmi lesquels Harvest Automation (USA), Deere and Co (USA) ou Yanmar Agricultural Equipments (Japon)³.

Dans le domaine de l'agroalimentaire, les robots sont portés par les problématiques d'hygiène et de sécurité. L'exploitation des robots en agroalimentaire est encore assez récente. Jusqu'alors cantonnés à des rôles de fin de ligne, l'encaissage et la palettisation, des robots commencent à intégrer le conditionnement direct du produit malgré des contraintes fortes de sécurité et d'hygiène.

D'autres applications germent telles que la prévention des troubles musculo-squelettiques dans certaines branches comme la boucherie où une pénurie de main d'œuvre est constatée. Après le secteur de l'embouteillage précurseur, des applications existent chez les maraîchers, pour l'ensachage des salades, les fromagers pour la fonction de « déclayage », mais également la fabrication de gâteaux associées souvent à la qualité par un visionnage et des calibrages³.

Apparition des robots et des robots d'assistance physique dans les différents secteurs agricoles

Dans le secteur de l'élevage, si on considère un robot comme « un système doté d'une souplesse d'utilisation capable d'exécuter sans relâche des tâches pénibles et fastidieuses (voire dangereuses) », la première déclinaison au niveau agricole concerne le robot de traite qui connaît un réel succès depuis les premiers développements dans les années 90. En 2012, plus de 3 000 exploitations françaises sont équipées d'un robot de traite (soit 4 à 5 % des exploitations)⁴.

La traite robotisée se développe partout en France car elle constitue une réponse parmi d'autres aux attentes des éleveurs face à **l'agrandissement des exploitations**, à la **diminution de la main d'œuvre** et à la **recherche d'une meilleure qualité de vie** (état des lieux Nord-Pas-de-Calais-Picardie). La réduction de la main d'œuvre et la modernisation des équipements d'élevage déclenchent la réflexion et le choix du robot : pour 46 % des éleveurs, la réduction de la main d'œuvre a été le premier élément déclencheur dans la réflexion conduisant à l'acquisition d'un robot de traite. Dans un quart des cas, c'est le renouvellement des équipements de traite, la mise aux normes ou la nécessité de moderniser les bâtiments, qui ont poussé les éleveurs à franchir le pas. D'autres éléments sont venus appuyer la réflexion comme la recherche de la qualité de vie citée à 28 % comme raison de second niveau (soulager l'astreinte et la pénibilité de la traite, gagner en

souplesse horaire et en facilité d'organisation, disposer de davantage de temps pour les loisirs et pour des engagements extra professionnels, raisons de santé) mais aussi des motivations liées au suivi des troupeaux et au goût pour l'innovation et les nouvelles technologies⁵.

Si on considère un robot comme « un système doté d'un certain degré d'intelligence et des moyens de perception et de commande associés permettant de réagir seuls à un changement de circonstances (dont situations imprévues) dans l'environnement de travail », la première déclinaison au niveau agricole concerne les robots mobiles pour l'élevage évoluant dans des espaces structurés que sont les bâtiments d'élevage. Les robots de nettoyage et les robots pousse-fourrage se développent dans les années 2000 alors que les robots de distribution d'aliments apparaissent dans les années 2010⁴.

Depuis les années 2010, on assiste à la création de prototypes par des laboratoires ou des sociétés innovantes dans un contexte d'agriculture durable. Plusieurs plans gouvernementaux ont été mis en place dans le cadre d'une **agriculture durable** permettant de préserver la richesse des écosystèmes, de desserrer la contrainte énergétique et de sécuriser les productions tout en consommant moins d'entrants notamment :

- le plan **Ecophyto 2018** : en complément du retrait du marché des produits phytopharmaceutiques concernant les substances actives les plus préoccupantes, le plan d'action Ecophyto 2018 a pour vocation à généraliser les meilleures pratiques agricoles économes en pesticides, et à construire, grâce à la recherche, l'innovation de nouveaux systèmes de production viables et diffusables permettant d'aller plus loin dans la réduction. L'objectif de ce plan signé en 2008 est une réduction de 50 % de l'usage des pesticides sur 10 ans donc à horizon 2018 ;
- le **Plan de performance énergétique 2009-2013** des exploitations agricoles qui allie enjeu économique et environnemental et dont les objectifs inhérents sont :
 - de réduire la facture énergétique dans un souci de viabilité et de pérennité économique des exploitations agricoles, dans un contexte mondial où les prix des énergies fossiles sont très volatils et s'orientent à long terme vers des hausses,
 - de lutter contre le changement climatique grâce à des modes de production plus sobres en énergie.

C'est ainsi que dans le cadre du plan Ecophyto 2018 du Grenelle de l'environnement, un robot électrique de désherbage mécanique des exploitations légumières dénommé Oz⁶ a été développé. Il peut intervenir de façon autonome ou semi-autonome (en autonomie dans 50 % des cas, le reste en manuel avec une télécommande sans fil). Ce robot autonome peut évoluer vers un RAP dans un contexte :

- d'assistance à la récolte puisqu'il est capable de suivre le producteur pendant sa récolte et de transporter les cagettes de légumes,
- d'aide à la décision : il collecte des données de température, d'humidité pour fournir des informations à l'agriculteur,
- d'effarouchage : le robot fait fuir les ravageurs et nuisibles, type gibiers et oiseaux.

Concernant ces perspectives de développement, la force de cette technologie réside dans la capacité de navigation autonome dans les cultures en rangées. Elle pourra être adaptée et valorisée sur d'autres segments en France et à l'international telles que les grandes cultures : maïs, tournesols..., les monocultures : melons, pommes de terre, les

cultures sur planche avec un robot enjambeur (salades...), la viticulture avec un robot d'entretien de la vigne, l'arboriculture et l'horticulture.

De même en viticulture, un robot de tonte viticole a été développé, le Vitirover, dont l'utilisation permet d'éliminer les désherbants et de limiter les produits chimiques. De plus, ce robot fonctionne en totale autonomie solaire, ce qui permet aussi de réduire la consommation d'énergie dans le cadre du **plan de performance énergétique**. Cette microtondeuse d'ultra haute précision se positionne en rupture avec les matériels traditionnels toujours plus gros et toujours plus chers⁷.

À noter que parmi le développement des robots pour les espaces ouverts, une hiérarchisation s'impose dans le degré d'autonomie : robots télécommandés, robots semi-autonomes (RAP ?), robots autonomes, qui permet de bien identifier / situer la place de l'opérateur dans la boucle de contrôle et de surveillance du robot dans la réalisation de sa tâche⁴.

Enfin, les RAP auraient surtout tendance à se développer au Japon⁸, où la crise démographique n'épargne pas les agriculteurs, dont environ les deux tiers ont plus de 65 ans. Réticents à faire appel à la main-d'œuvre étrangère, les Japonais imaginent des technologies de pointe pour permettre aux paysans âgés de continuer d'œuvrer sans s'éreinter. C'est dans cette optique qu'une équipe de recherche a conçu un exosquelette motorisé (*power assist suit*) à l'université d'agriculture et de technologie de Tokyo, sachant que l'État encourage les initiatives pour développer les robots en tous genres et les technologies d'assistance aux personnes âgées. Cette structure confère à l'utilisateur une agilité et un confort inégalés pour déterrer des gros radis, cueillir le raisin ou les abricots.

Prospective et déterminants de l'évolution future de la variable

Démographie et géographie des agriculteurs en France

Une tendance lourde à la baisse de la population active agricole¹

Quelles que soient les sources statistiques, une même tendance à la baisse de l'emploi agricole s'observe (cf. figure 1). Cette baisse est depuis longtemps amorcée : la population active agricole est passée de 8,3 millions en 1896 à 7,4 millions en 1949. Elle s'est accélérée à partir des années 1950 et 1960 quand, par l'intermédiaire de plans de modernisation, l'État et les organisations professionnelles agricoles ont favorisé la motorisation, la mécanisation, l'utilisation d'engrais et d'aliments pour le bétail. La population active agricole représentait, en 2008, 3 % de la population active totale contre 8 % en 1980 (source Agreste). En France comme à l'échelle internationale, la principale cause de cette baisse de l'emploi agricole réside dans les immenses gains de productivité réalisés. Entre 1946 et 1974, la production agricole a pratiquement doublé alors que la superficie cultivée a diminué de 1 %.

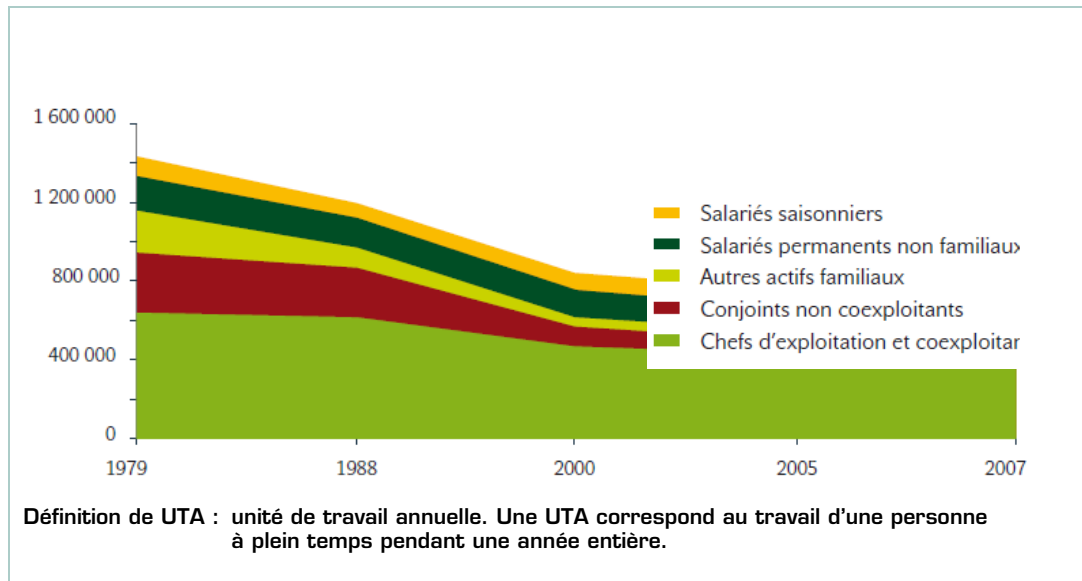


Figure 1. Les UTA dans les exploitations professionnelles¹

Sources : Agreste, recensements agricoles et enquêtes structures

Un recours croissant à la main d'œuvre salariée et extérieure¹

Si les tendances des dernières décennies montrent une diminution régulière du nombre de chefs d'exploitation, on a en revanche vu augmenter le recours à la main d'œuvre des entreprises de travaux agricoles (ETA) et des coopératives d'utilisation du matériel agricole (CUMA) (cf. figure ci-après). En 2010, les CUMA et ETA représentent 2 % des unités de travail annuel (UTA) totales de l'ensemble des exploitations contre 0,4 % en 1979 (Agreste).

En 2007, cette externalisation concernait notamment les grandes cultures (céréales, oléagineux, protéagineux) où les ETA et les CUMA représentent 20 % des UTA, dans les vins de qualité (18 %) ou encore en bovins lait (13 %).

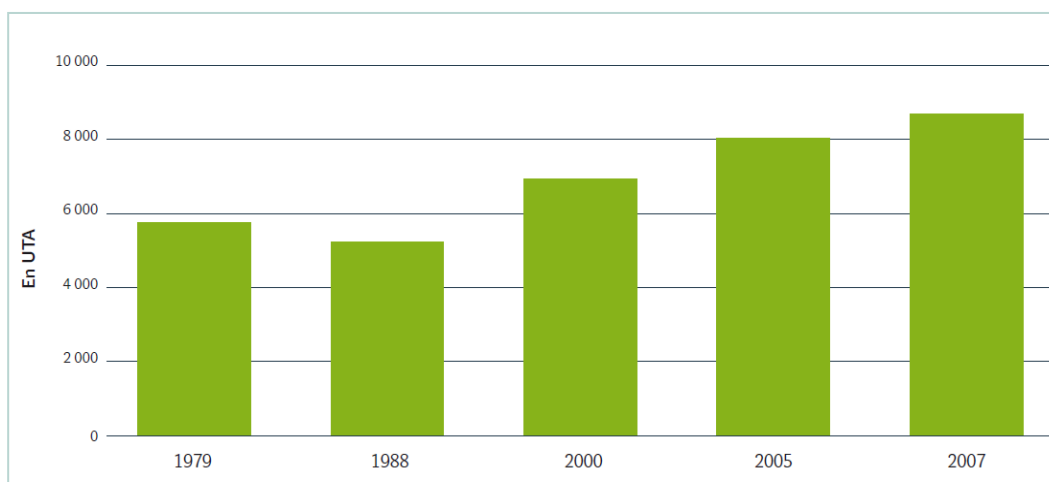


Figure 2. Le recours aux ETA et CUMA dans les exploitations professionnelles

Sources : Agreste, recensements agricoles et enquêtes structures

L'augmentation du salariat (permanent et saisonnier), quant à elle, paraît depuis les années 1980, corrélée à la baisse de la main d'œuvre familiale. Les conjoints non coexploitants et les autres aides familiaux, qui représentaient près de 30 % des UTA en 1988, n'en cumulent plus que 15 % en 2005 et 12 % en 2010.

L'externalisation et la salarisation pourraient donc, dans l'hypothèse de la prolongation de ces tendances, se poursuivre et s'accroître dans les prochaines années. Le développement des exploitations de grande taille, à lui seul, fait que la place du salariat devrait encore se renforcer, que ce soit au sein de l'exploitation ou par l'externalisation (ETA et CUMA).

Une tendance lourde au vieillissement de la population agricole¹

La population agricole vieillit. La part des chefs d'exploitation et co-exploitants de plus de 60 ans est passée de 15,2 % en 1988 à 20 % en 2010, tandis que celle des moins de 35 ans tombait de 19 % à 12 %. En conséquence, la pyramide des âges s'est rétrécie à la base et élargie au sommet.

Les prévisions démographiques réalisées sur la base d'une hypothèse de prolongement des tendances tablent sur la poursuite de ce vieillissement et un décalage du gros des effectifs vers la tranche des 55 ans et plus.

Selon l'INSEE, l'agriculture est, après l'énergie, le secteur qui perdra le plus d'effectifs d'ici 2020. Ce vieillissement structurel est inscrit dans la démographie mais son ampleur future dépendra en partie de la politique d'installation, d'entrée dans le métier.

Une féminisation de l'agriculture¹

La proportion de femmes chefs d'exploitation ou co-exploitant augmente, passant de 12 % en 1988 à 27 % en 2010.

De plus en plus de jeunes femmes s'installent en individuel. En 2009, 22 % des jeunes agriculteurs (JA) aidés étaient des femmes (ADASEA) et celles-ci représentaient une part encore plus grande des installations non aidées : entre 40 % et 45 %¹⁰. En 2009, les activités principales des exploitations pilotées par des femmes étaient l'élevage bovins lait, les cultures céréalières et industrielles, les cultures et élevages non spécialisés et la polyculture élevage.

Dans le salariat agricole, la part des femmes augmente aussi (un quart en 2007 contre 16 % en 1988). Elles sont surtout présentes dans la viticulture et dans l'élevage.

Il faut également ajouter à ces catégories les conjointes d'exploitants, dont 22 % sont actives sur l'exploitation¹¹.

La féminisation va de pair avec la diversification des activités : accueil à la ferme, transformation, vente directe...

Parmi les conséquences de cette féminisation de l'emploi agricole, on peut citer le recours plus important à la main d'œuvre extérieure, à la mécanisation, aux services de remplacement, corollaires d'un autre rapport au travail qui laisse plus de place à la vie familiale.

Répartition géographique : des bassins de production spécialisés¹

Les tendances passées mettent en évidence une concentration des chefs d'exploitation et des co-exploitants dans des bassins de production spécialisés. Les régions de l'Ouest (Pays de la Loire, Bretagne) ont dorénavant un poids conséquent. Dans les années 2000, le Sud-Ouest (Midi-Pyrénées en particulier) a rassemblé une part croissante de chefs d'exploitation et de co-exploitants. Une des conséquences de cette concentration est la surreprésentation des agriculteurs dans la population active de l'Ouest de la France (cf. carte ci-dessous)

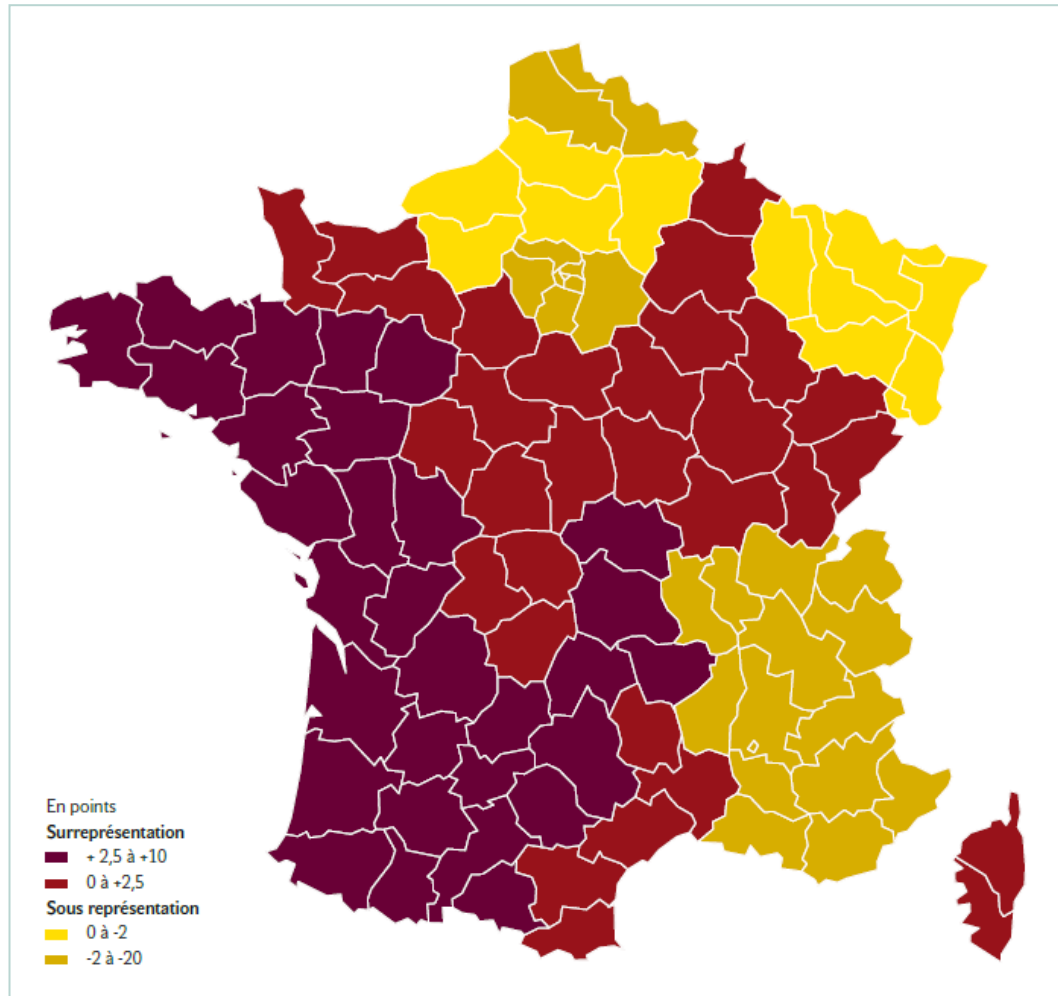


Figure 3. Répartition géographique des agriculteurs en 2007 (surreprésentation dans l'Ouest)

Source : Insee

Cette distribution géographique s'explique par le poids des structures et l'importance du type de production. Elle pourrait être modifiée à l'avenir par des changements de politiques agricoles (impacts de la fin des quotas laitiers sur les régions productrices de lait, entre autres), par une libéralisation encore plus poussée des échanges ou encore par des délocalisations touchant certaines productions.

Les aides régionales, dont le rôle est de plus en plus important¹² pourraient aussi demain limiter ou au contraire accentuer des contrastes territoriaux.

Une réforme de la PAC faisant davantage varier les aides selon les types de territoire (montagne, zones à handicaps naturels...), pourrait également avoir des conséquences directes sur les stratégies des exploitants, et donc sur la répartition géographique des activités agricoles.

En deçà des grands équilibres et déséquilibres économiques du territoire national, des reconfigurations de la production agricole pourraient aussi intervenir à des échelles plus locales, au niveau des bassins de vie et d'emploi. L'agriculture périurbaine pourrait ainsi se développer, sous l'effet des politiques volontaristes de certaines villes et de réseaux de distribution. L'augmentation de la part des produits de proximité dans l'approvisionnement des cantines scolaires va d'ores et déjà dans le sens d'un maintien, voire d'une meilleure répartition de l'agriculture sur l'ensemble du territoire. C'est l'un des objectifs du Programme national pour l'alimentation (PNA), lancé en septembre

2010, dont l'une des actions consiste à développer des circuits courts, avec notamment la modification du code des marchés publics pour donner la priorité à ces produits dans la restauration collective.

Contenus des activités agricoles

Des tendances lourdes

La modernisation de l'agriculture¹

Cette modernisation de l'agriculture a suivi un modèle déjà engagé aux États-Unis depuis la moitié du XX^e siècle. La motorisation de la culture attelée a vu le nombre mais surtout la puissance des tracteurs augmenter et remplacer chevaux et bœufs. Si le nombre total de tracteurs est aujourd'hui stable en France, les immatriculations de tracteurs de plus en plus puissants continuent de progresser, permettant ainsi à un actif seul de cultiver une grande surface. La mécanisation de l'agriculture a également contribué à diminuer le nombre d'actifs sur les exploitations françaises.

Le même phénomène a touché l'élevage avec la mécanisation de l'alimentation, de la récolte des œufs, de la traite du lait...

Le recours croissant à des intrants issus de la chimie moderne (engrais, pesticides, antibiotiques) a permis d'augmenter la productivité des systèmes de culture et de production animale. Après l'essor de la fertilisation azotée de 1970 à 1990, les progrès de la chimie ont également permis une utilisation croissante et de plus en plus efficace des produits phytosanitaires pour protéger les cultures et les sols, et des produits vétérinaires pour protéger les animaux d'élevage. Enfin, la sélection accrue des plantes a permis de proposer des variétés très productives capables de valoriser les hauts niveaux d'intrants prescrits par le conseil agricole. Un processus identique de sélection a abouti à la spécialisation de l'élevage bovin français¹³.

L'effet démultiplicateur de ces éléments de modernisation a entraîné l'évolution des structures de production : les systèmes d'exploitation ont ainsi pu atteindre des niveaux de productivité de plus en plus élevés par actif et par unité de surface.

L'accroissement de la taille des exploitations¹

La conséquence de ces évolutions est une agriculture de moins en moins utilisatrice de main d'œuvre, ce qui a permis aux populations rurales d'alimenter le marché de l'emploi et la croissance industrielle des Trente Glorieuses. Cependant, cette agriculture moderne a aussi nécessité beaucoup d'investissements en capitaux et en intrants. Beaucoup d'exploitations n'ont pu suivre le mouvement et ont disparu, les terres étant reprises par celles qui restaient, d'où la tendance à l'accroissement de la taille des exploitations (cf. figure suivante)

Ce vaste mouvement de modernisation s'est traduit par une spécialisation géographique de l'agriculture, avec la transformation de régions entières pour utiliser au mieux le potentiel agronomique de leur sol et de leur climat : les grandes cultures en Picardie ou dans le bassin parisien dont les systèmes de rotation se sont simplifiés ; l'élevage breton ou normand ; l'arboriculture et la vigne dans les régions ensoleillées. Par défaut, les petites exploitations diversifiées n'ont pu se maintenir que dans des régions à plus faible potentiel (massifs montagneux et autres zones défavorisées).

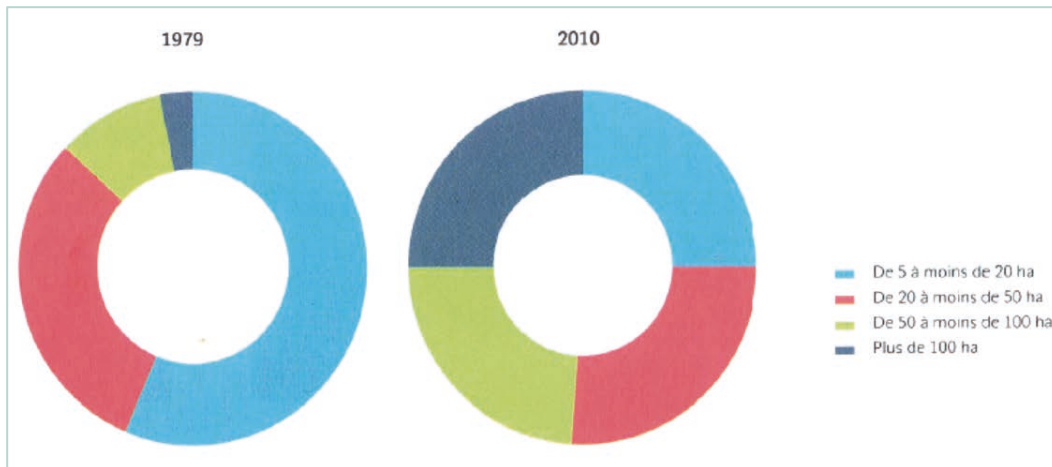


Figure 4. L'accroissement de la taille des exploitations

Source : Agreste, recensements agricoles

Des conséquences¹

Le paradigme technique qui se déploie est basé sur la forte mobilisation des technologies et de l'énergie. Il vise la maîtrise des écosystèmes par leur artificialisation dans une seule finalité productive. La spécialisation de l'agriculture est combinée à une augmentation de la productivité et de la production.

En grandes cultures, la superficie qu'un agriculteur peut exploiter seul a augmenté régulièrement au cours des cinquante dernières années. Cette tendance se poursuit aujourd'hui avec des équipements plus performants (puissance et largeur de travail) et un nombre d'opérations culturales qui diminue. Les évolutions techniques et génétiques permettent d'envisager, dans les prochaines années, une simplification accrue du travail.

Dans les systèmes d'élevage bovin laitier, on observe la même tendance à l'augmentation de la productivité et de la taille des structures. La collecte de lait en France est stable depuis le début des années 1990 (autour de 22 à 23 milliards de litres) alors que le nombre de producteurs a été divisé par 2,5 sur la période. Les nouveaux bâtiments d'élevage ont diminué le temps de travail consacré à l'affouragement et à la manutention des déjections. Avec les nouvelles installations et robots, la traite n'est plus un facteur limitant du nombre d'animaux actifs.

Des perspectives¹

La production agricole a triplé depuis 1949 et la productivité au travail a augmenté (+4,4% par an en moyenne) plus rapidement que dans tous les autres secteurs de l'économie.

Pour les quinze prochaines années, de probables perspectives d'évolution sont à signaler. Après la mécanisation, c'est l'informatisation qui transformera les processus de production, de gestion et de commercialisation. Les équipements en grandes cultures seront encore plus performants, à condition que les exploitants puissent maintenir un niveau d'investissement élevé. Cependant, la taille des structures constituera probablement un frein au développement d'équipements de plus en plus gros, larges et puissants.

Les agriculteurs pourraient s'adapter à cette situation par des formes d'organisation du travail innovantes, conduisant à un très fort développement des entreprises de travaux

agricoles (ETA) et des formes de travail collaboratif (CUMA). En élevage aussi, les perspectives d'évolution pourraient être le recours à l'usage de l'informatique (robots de traite) pour aller vers des « élevages de précision ».

Des signaux faibles, des faits porteurs d'avenir¹

Plusieurs paramètres pourraient infléchir cette tendance dominante comme une plus forte prise en compte de l'environnement et du bien-être animal, une grave crise sanitaire, une plus forte recherche de valeur ajoutée, d'où la nécessité d'améliorer la résilience face aux aléas. Une telle inflexion serait difficile à négocier pour des agriculteurs dont le travail s'est considérablement spécialisé et standardisé ; elle imposerait en effet, de s'appuyer davantage sur les processus biologiques et de faire de l'environnement un facteur à part entière du système de production, plutôt que de compter sur une artificialisation toujours croissante et un fort recours aux intrants.

Des incertitudes majeurs concernant l'évolution des matériels agricoles et le développement des robots d'assistance physique⁴

L'IRSTEA (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) identifie trois voies de développement possibles⁴.

La première voie est celle de la tendance de l'évolution du marché, à savoir le développement et l'achat de machines toujours plus lourdes, toujours plus grosses et toujours plus puissantes permettant un rendement de chantier important et le maintien de la compétitivité économique mais dont les inconvénients se posent en termes de préservation du sol (compaction des sols), de risque routier (machines hors gabarits) et de sécurité de par la difficulté de contrôle sur de grandes largeurs de travail⁴.

La deuxième voie résulte de la proposition de certains laboratoires de recherche attentifs au développement de petits robots pour « une agriculture de précision à l'échelle de la plante ». C'est ainsi qu'on assiste au développement de robots autonomes capables d'améliorer le rendement des terres agricoles en optimisant le travail d'ensemencement (robot Prospero de David Dourhout aux États-Unis), d'entretenir et de récolter les cultures¹⁴. Ces robots permettent de préserver les sols (pas de problème de compaction) et d'entretenir une activité continue. Les limitations concernent le faible rendement de chantier par machine et la difficulté de contrôle simultané d'un très grand nombre de robots. Ce concept est envisageable pour les productions à forte valeur ajoutée telles que les fleurs et les cultures maraîchères ou celles qui entraînent des conditions de travail difficiles (rizière...). Mais il n'est pas réellement adapté à la production céréalière de par les surfaces cultivées⁴.

La troisième voie privilégie, quant à elle, la coopération de machines de taille moyenne avec une machine leader avec un pilote et des machines (ailiers) en mode automatique permettant un haut degré de modularité (possibilité de travailler seul ou en association). C'est dans un cadre de projets de recherche que sont développés des prototypes tels que le robot agricole de l'IRSTEA : Aroco (plate-forme autonome et tout-terrain) permettant la mise en œuvre de pratiques plus précises limitant, par exemple, les impacts négatifs des produits chimiques et des engrais et autorisant une meilleure valorisation du travail de l'agriculteur et plus de sécurité⁴.

Hypothèses

Hypothèse 1. Une inflexion par radicalisation des tendances observées

Une inflexion possible de la tendance générale pourrait résider dans l'accélération du mouvement de financiarisation et de restructuration du secteur agricole. Cette inflexion s'appuierait d'un côté sur la montée en puissance d'exploitations agricoles très spécialisées, segmentées et soutenues par un fort mouvement d'intégration verticale. En parallèle, on assisterait au développement de « l'agriculture de firme » avec une sous-traitance intégrale des travaux agricoles et des tâches de gestion associées. Cette inflexion pourrait se développer dans un contexte de forte pression sur la compétitivité et de recherche d'une productivité physique maximale¹.

D'où une agriculture intensive et spécialisée favorisant le recours à la prestation de service (ETA, CUMA) : forte mécanisation avec apparition de machines de plus en plus larges et de plus en plus puissantes. En dehors des systèmes de GPS, le besoin en RAP serait très faible voire n'existerait pas de par l'absence de main d'œuvre et de salariat. La sylviculture connaîtrait le même sort.

L'utilisation des RAP serait pour l'essentiel limitée à des activités spécialisées comme la vigne, le maraîchage ou l'arboriculture.

RAP +

Hypothèse 2. Scénario tendanciel

Les impacts environnementaux apparaissent aujourd'hui comme une forte limite aux pratiques agricoles intensives d'où la poursuite d'une agriculture raisonnée et le développement de matériels collaboratifs plus petits, plus légers respectant les sols types RAP. Parallèlement, on assiste à une diversification des activités agricoles vers la vente directe et la transformation notamment dans les petites exploitations surtout pour les activités de maraîchage, de viticulture et d'horticulture. De même, le tourisme à la ferme se développe notamment dans les exploitations spécialisées en ovins, caprins et en arboriculture¹. D'où le développement de ces activités de niche et l'utilisation de RAP pour les activités de désherbage, de taille, de récolte, d'alimentation des animaux

RAP ++

Hypothèse 3. Une inflexion environnementale

Les limites environnementales, ainsi que la sensibilisation croissante des consommateurs aux questions telles que les pesticides, les antibiotiques au autres (pour leur propre santé, sinon plus, que pour l'environnement), obligerait à une révision progressive du système de production. Il ne s'agirait pas seulement d'augmenter le nombre d'exploitations ou la part de la surface agricole utile (SAU) en agriculture biologique mais de « verdir » l'ensemble des pratiques. Cette transformation passerait par la mise en place de fortes politiques de soutien¹.

D'où une agriculture raisonnée et durable qui pourrait entrer en synergie avec le développement des circuits courts (type Amap : Association pour le maintien d'une agriculture paysanne) et une plus grande attention portée par les consommateurs à la proximité et à la qualité de leur alimentation. On assisterait au développement de

matériels plus petits et collaboratifs type RAP aussi bien en agriculture qu'en sylviculture et l'importance économique de l'agriculture serait soutenue par le développement des secteurs d'activités biologiques (viticulture, maraîchage, arboriculture) fortement pourvoyeurs de main d'œuvre et donc de RAP en soutien de cette main d'œuvre.

Cette hypothèse n'exclut pas que des investissements pour des cultures de masse (céréales) mais à moins forte valeur ajoutée soient effectués à l'étranger pour assurer l'alimentation du bétail par exemple.

RAP +++

Bibliographie

1. Gambino M., Laisney C., Vert J., (coord.). Le monde agricole en tendances. Un portrait social prospectif des agriculteurs. Centre d'études et de prospective, SSP, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire, 2012.
2. Daucé P. Agriculture et monde agricole. Paris, La Documentation française, 2003.
3. DRIRE Ile-de-France. Enjeux et défis de l'industrie de la robotique en Île-de-France. 2010, 37 p.
4. Berducat M. Les agroéquipements de demain au service de la croissance verte. La robotique au champ ? SIMA, 24 février 2013.
5. Chambre d'agriculture de région Nord – Pas-de-Calais. La traite robotisée en Nord - Pas de Calais – Picardie. État des lieux et pistes d'optimisation. 2011.
Disponible sur : <http://www.agriculture-npdc.fr/fileadmin/documents/Publication/ProdAnimales/FicheetPlaquette/RobotTraite.pdf> (consulté le 9 avril 2013)
6. Naïo Technologies. La robotique au service de l'agriculture. [en ligne].
Disponible sur : <http://naio-technologies.com/> (consulté le 9 avril 2013)
7. Vitirover. Robot Viticole – Vitirover. Robot tondeur viticole.mht
Disponible sur : <http://www.vitirover.com/fr/> (consulté le 18 juin 2013)
8. AFP. Au Japon, les agriculteurs du futur seront mi-homme, mi-robot. 2010.
Disponible sur : <http://www.ladepeche.fr/article/2010/04/09/813585-japon-agriculteurs-futur-seront-mi-homme-mi-robot.html> (consulté le 14 mai 2013)
9. Coutin P. La population agricole en France. Bulletin de la société française d'économie rurale, n°1(1), pp. 18-25, 1949.
10. Lefebvre F. Démographie agricole : la France doit elle craindre l'avenir ? Prévisions à l'horizon 2020. Deméter, 2009.
11. MSA. Les femmes dans l'agriculture au 1er janvier 2009. Direction des études des répertoires et des statistiques, 2010.
12. Gambino M. Les politiques agricoles des régions : état des lieux et perspectives. CEP-MAAPRAT, Note d'analyse, n°8, mai 2009.
13. Vissac B. Les vaches de la république. Saisons et raison d'un chercheur citoyen. Paris, INRA éditions, 2002.
14. Quentin Mauguit. Une armée de robots pour remplacer nos agriculteurs ? Futura-Sciences, 2012.
Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d/developpement-durable-armee-robots-remplacer-nos-agriculteurs-35855/> (consulté le 9 avril 2013)

Annexe

Qu'est-ce qu'un agriculteur ?¹

L'emploi agricole ne se limite pas aux seuls chefs d'exploitation. Pour la statistique agricole (service de la statistique et de la prospective (SSP) du ministère en charge de l'Agriculture), la population active agricole comprend toutes les personnes travaillant à temps plein ou partiel sur une exploitation : chefs d'exploitation, conjoints, salariés, etc. (cf. figure ci-après). En 2007, 1 020 000 personnes étaient dans ce cas. Les chiffres plus récents fournis par le recensement agricole de 2010 font maintenant état de 970 000 personnes.

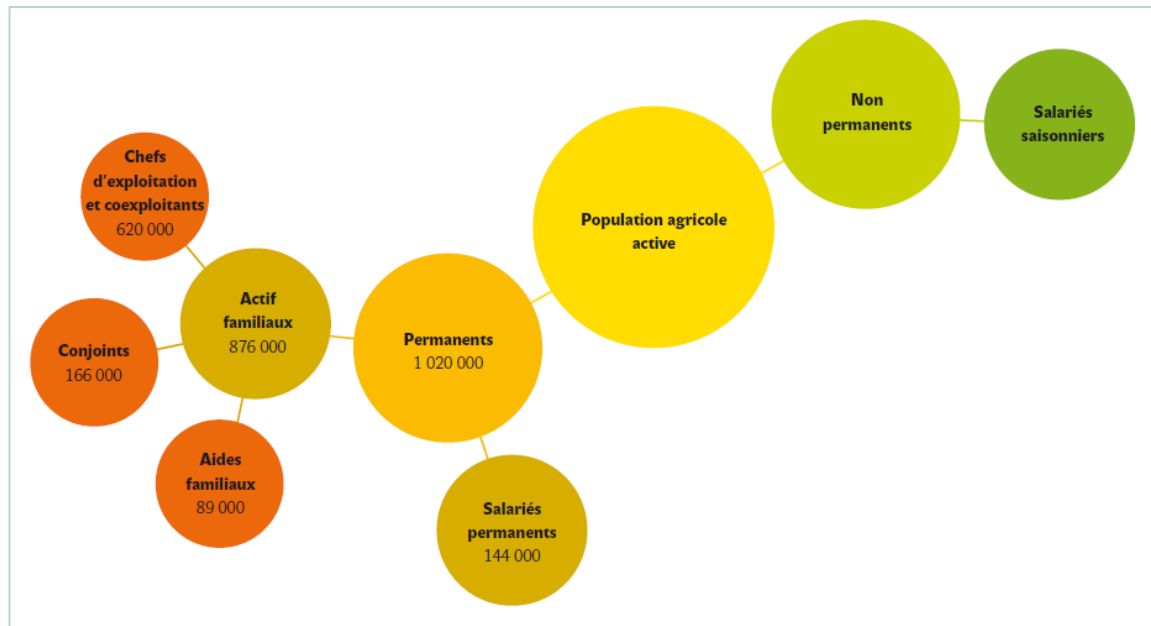


Figure 4. Les périmètres de la statistique agricole

Source Agreste 2010

D'autres sources statistiques existent sur les agriculteurs, du côté de l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) et de la Mutualité sociale agricole (MSA) (cf. ci-après).

Elles ne retiennent pas les mêmes critères et périmètres, n'ont pas des enquêtes de la même périodicité et n'aboutissent donc pas aux mêmes résultats. Au-delà de ces questions de méthode, la société change toujours plus vite que les outils construits pour les observer, d'où des décalages entre les réalités vécues par les agriculteurs et les quantités statistiques qui en rendent compte.

Les données sont également tributaires de l'évolution des catégories juridiques, des nouvelles normes administratives et des statuts émergents : ainsi la catégorie de co-exploitants n'existait pas avant les années 1970, puis elle a souvent été incluse dans une catégorie plus générale regroupant chefs d'exploitation et co-exploitants, noyant ainsi la hausse du nombre de co-exploitants dans la baisse plus générale de cette catégorie.

De la même façon, les définitions des exploitations agricoles ne recouvrent pas les mêmes périmètres. Pour la statistique agricole, c'est une unité économique et de production qui répond simultanément aux trois conditions suivantes :

- elle crée des produits agricoles ;

- elle est soumise à une gestion courante indépendante ;
- elle atteint ou dépasse une certaine dimension, exprimée par l'un des trois critères suivants :
 - avoir une surface agricole utile (SAU) supérieure ou égale à un hectare,
 - sinon, posséder une superficie en cultures spécialisées supérieure ou égale à 0,2 hectares,
 - sinon, présenter une activité suffisante de production agricole estimée en nombre d'animaux, en surface de production ou en volume de production (par exemple plus de 5 chèvres ou 15 ares de fraises).

Diverses sources statistiques¹

Le ministère de l'Agriculture, grâce aux enquêtes Structures et au recensement agricole, fournit des informations sur les producteurs et les activités des exploitations. Les données de son service de la statistique et de la prospective (SSP) sont décennales et exhaustives pour les recensements ; elles sont triennales pour les enquêtes Structures et reposent sur un échantillon (77 800 exploitations pour la dernière en 2007). Toutes ces enquêtes permettent de cerner les évolutions à moyen et long termes. À noter que le champ des enquêtes du SSP exclut la pêche, l'aquaculture, la chasse, la sylviculture, les marais salants, les exploitations de bois, les services à l'agriculture...

L'Insee recense les personnes (y compris conjoints et aides familiaux) déclarant exercer une profession agricole. Ces personnes sont distinguées en fonction de la taille de l'exploitation :

- les agriculteurs sur petites exploitations en dessous de 20 hectares équivalent-blé ;
- les agriculteurs sur exploitations moyennes entre 20 et 40 hectares équivalent-blé ;
- les agriculteurs sur grandes exploitations au-delà de 40 hectares équivalent-blé.

Les ouvriers agricoles sont regroupés avec la PCS ouvriers. Le secteur agricole pour l'Insee comprend la sylviculture et la pêche.

La MSA, seule productrice de données annuelles sur la population agricole, mobilise des informations sur ses cotisants et bénéficiaires, qui peuvent être des salariés, des inactifs (retraités et invalides), des exploitants, conjoints ou aides familiaux. Le champ de la MSA est le plus large, car il comprend la pêche, l'aquaculture, les exploitations forestières, les entreprises de services (entreprises de travaux agricoles, coopératives d'utilisation de matériel agricole), les paysagistes, les centres équestres, le secteur de la coopération...

Ces trois grands organismes s'appuient donc sur des définitions et des périmètres statistiques différents, et leurs enquêtes n'ont pas la même périodicité.

L'évolution de la logistique et des nouvelles technologies

Virginie GOVAERE, INRS.

Les activités logistiques (approvisionnement, transformation de la matière, transport, entreposage, identification automatique, échanges de données informatisées...) sont liées les unes aux autres par des liens de dépendance technique, chronologique ou géographique. L'enjeu actuel de la logistique consiste à optimiser la chaîne dans son ensemble (depuis les fournisseurs jusqu'aux clients) c'est-à-dire à assurer la coordination optimale de ces processus d'activités mis indifféremment en œuvre par les entreprises industrielles, les prestataires et les entreprises de distribution appartenant à la même chaîne ou au même segment logistique. L'approche actuelle de la logistique est ainsi transversale, intégrante, dématérialisée d'où un recours aux technologies de l'information et de la communication massif voire généralisé. Cette approche de la logistique nécessite la maîtrise de la fiabilité et de la fluidité des flux physiques et d'informations, et permet de répondre aux impératifs contradictoires : la rapidité et la réactivité à la demande (« zéro temps de réponse »), la fiabilité du service proposé et la cohérence des coûts.

La logistique présente la caractéristique d'être dépendante de paramètres comme :

- les impératifs du marché et les contraintes d'implantation et de fonctionnement des unités de production industrielles et commerciales ;
- les prix de transport, sa réglementation et le stockage de la marchandise : un difficile compromis :
 - il est important d'arbitrer entre la nécessité d'augmenter la fréquence des déplacements de marchandises (en augmentant leur fractionnement) et celle, au contraire, de les massifier par des opérations intermédiaires de stockage, de cross dock, de préparation retardée... ;
 - la dominance du transport routier dans un cadre réglementaire et sécuritaire contraignant en constante évolution (exemple de la mise en application de la taxe carbone en 2013, temps de travail contraignant pour les conducteurs de poids lourds...);
 - le coût du carburant...
- la diversité des volumes, des clients, des acteurs, des produits, des saisonnalités et l'intégration des systèmes d'information.

Ces caractéristiques de fractionnement des volumes, de diversité, de « zéro temps de réponse », de traçabilité, de baisse des coûts et surtout de coordination des différents acteurs n'ont pas toujours existé. On distingue classiquement trois grandes phases d'évolution :

- la logistique dite « séparée » recouvre une période allant de 1945 à 1973. Elle est marquée par le souci principal de produire de façon rationnelle, quantitative et enfin qualitative. La préoccupation majeure des entreprises est alors d'optimiser et de rationaliser les facteurs de production. Les services et fonctions de l'entreprise sont cloisonnés et travaillent de façon indépendante. La logistique est alors dans une approche taylorienne, quantitative et non formalisée basée sur le concept de « capacités infinies » de la production, du stockage, du transport... ;
- la logistique dite « intégrée » commence avec les chocs pétroliers (1973) et la mondialisation des économies et des marchés. Les acteurs de la chaîne logistique prennent conscience de la nécessité de diminuer le coût global des produits en agissant plus particulièrement sur celui de leur transport et de leur stockage. La logistique est alors considérée uniquement en termes de coûts directs. De plus, pour satisfaire les clients, les services de l'entreprise, par un découplage des organisations se mettent progressivement à échanger les données techniques, financières, commerciales et marketing. L'évolution des techniques informatiques permet de répondre à de tels enjeux et contraintes ;
- la logistique dite « coopérée » ou *Supply Chain* débute dans les années 90 avec l'intensification de la mondialisation des marchés et leur financiarisation. Dans ce cadre, la logistique a une place fondamentale dans la chaîne clients-fournisseurs et est considérée comme une source de profits. Le découplage interne de la fonction logistique s'étend à l'intégration des différents acteurs de la chaîne. Il apparaît prioritaire de coller à la demande, d'avoir un temps de réponse le plus court possible, de produire et de livrer de faibles quantités. Cette tendance s'intensifie à la fin des années 90 avec les lois Galland et Raffarin. Les « zéro défaut » et « zéro stock » font place au « zéro temps de réponse » et aux « capacités limitées ». Un tel objectif peut être atteint par des mécanismes de coopération entre les clients, les producteurs, les fournisseurs et les opérateurs logistiques. Le problème n'est plus seulement l'intégration des phases logistiques mais aussi la collaboration et la coopération entre les entreprises d'une même chaîne logistique via un système d'information fonctionnant en temps réel.

La logistique actuelle affirme la prédominance des flux informationnels, orientés par des logiques gestionnaires et financières au détriment de la simple gestion des flux physiques. Elle se réalise avec l'assistance d'un réseau de logiciels informatiques qui peut donner le sentiment d'une machine fonctionnant par elle-même. L'intensification et la traçabilité des flux informationnels se répercutent sur les flux physiques, des outils de travail performants sont mis en place tout au long de la chaîne. Que ce soit pour les caissières, pour les préparateurs de commandes, pour les conducteurs, l'intensification et le contrôle du travail passent par l'introduction de nouveaux outils de transmission de l'information. À ce jour, ces outils existent. Des améliorations peuvent leur être apportées et les évolutions attendues dans le secteur portent essentiellement sur l'interopérabilité des systèmes, leur nomadisme ainsi que sur l'automatisation de la traçabilité et la diminution de leur coût (par exemple les RFID : radio fréquence identification).

Cependant, il ne faut pas oublier que les flux physiques, c'est-à-dire les colis, continuent aujourd'hui d'être transportés par l'humain, à la force des bras. C'est d'ailleurs dans la gestion des flux physiques que le secteur de la logistique identifie les facteurs de risques (financiers et humains) et donc les marges d'évolution les plus importantes. Concernant ces flux, deux aspects sont à considérer au niveau des moteurs de l'évolution du secteur :

- le transport pour lequel les gains sont à trouver dans la modélisation des plans de transport (raisonner en bassin d'enlèvement et de livraison de ces flux, faire la chasse aux temps morts et improductifs, saturer les moyens de transport...) et dans l'économie d'énergie (réduire la consommation de gazole, les taxes carbone...). En effet, Le gazole a augmenté de 55% depuis 2003. Un camion coûte donc 9 800 € de plus par an pour son carburant. À noter que le transport routier est actuellement le seul mode de transport permettant une grande flexibilité et une livraison porte-à-porte ;
- l'entreposage pour lesquels les gains sont à trouver dans l'ajustement optimal et permanent des niveaux de stocks (compromis stocks dynamiques et statiques) et ainsi que dans les coûts et les risques liés à la manutention ;

Le premier aspect devrait conduire à une refonte géographique du paysage logistique en termes d'implantation des sites (concentration en bassin fournisseur-client, mutualisation des ressources logistiques entre fournisseurs et clients...) c'est-à-dire à un ré-engineering des phases amont et aval des déplacements de marchandises ainsi qu'à un développement des sites « du dernier kilomètre » avec recours aux véhicules électriques, à des véhicules urbains (passage d'un transport de poids lourds vers des transports en véhicules légers)... Cette évolution n'est pas encore massivement visible mais les prémisses sont enclenchées ; le marché des véhicules urbains du dernier kilomètre est en plein développement. Ce qui explose actuellement au niveau du maillon transport, c'est la recherche de l'économie d'énergie (formation à la conduite économique, contrôle et challenge sur la consommation, achat de matériel...).

Le second aspect devrait conduire à augmenter le taux de rotation des marchandises afin de réduire les stocks statiques. Pour ce faire les axes privilégiés sont au niveau d'une coordination des services achats et vente, d'une mutualisation des surfaces de stockage ainsi que de l'augmentation du niveau de traçabilité et de productivité à l'intérieur des plateformes et des entrepôts.

La logistique traite de flux physiques et par conséquent des moyens pour les évaluer et les améliorer au niveau quantitatif comme qualitatif (par la gestion de la qualité). Après les formations Prap (prévention des risques liés à l'activité physique), les éveils physiques, les robots d'assistance physique aux manutentionnaires et préparateurs ont fait leur apparition dans la grande distribution. Ce qui est visé, c'est une augmentation de la productivité (plus rapide, plus régulier, plus fort...) en permettant un allègement de la charge physique (gestes répétitifs, efforts intenses, postures contraignantes) et donc en réduisant les coûts liés aux accidents (lombalgies), aux maladies (TMS) et à l'absentéisme. La grande distribution propose souvent des solutions ou des démarches d'organisation qui sont ensuite généralisées à l'ensemble du secteur.

L'emploi dans ces activités logistiques

La logistique (hors transport) regroupe 811 000 emplois en France, dont 500 600 emplois d'ouvriers. Les emplois logistiques sont très majoritairement occupés par des hommes : seulement 18 % des salariés de la logistique sont des femmes. Le taux d'encadrement dans la logistique est de 9 % (contre 18 % en moyenne). 60 à 70 % des employés des entrepôts sont des préparateurs de commande. La fonction logistique est encore largement intégrée dans les entreprises industrielles et commerciales, seuls 22 % des emplois sont regroupés chez des prestataires spécialisés en logistique.

En ce qui concerne le transport routier de marchandise, l'Insee recensait un effectif de 345 000 professionnels pour 37 111 entreprises en 2012. Dans le Transport Routier de Marchandises (TRM), 97 % des entreprises occupent moins de 50 salariés, et 74 % moins de 5. Une entreprise de TRM emploie en moyenne 10,7 personnes. 54 % des salariés ont moins de 40 ans. Ils mènent carrière dans le secteur pendant 15 ans en moyenne. Le transport routier permet à des salariés sans formation initiale de trouver un emploi. En effet, 42 % des employés du TRM n'ont pas de diplôme ou sont titulaires du seul brevet des collèges (BEPC).

Santé et sécurité au travail dans la logistique et le transport

Les salariés du secteur transport et logistique sont 2 à 3 fois plus souvent accidentés que les salariés, des autres secteurs d'activités (le nombre d'accidents du travail avec arrêt pour 1 000 salariés était de 82,8 en logistique en 2009, contre 40 tous secteurs confondus). La gravité des accidents qu'ils subissent est nettement plus élevée que la moyenne.

Ce secteur d'activité présente des spécificités à prendre en compte en termes de prévention :

- la marchandise transite par différentes plateformes logistiques afin d'être stockée, transformée et (re)conditionnée. La multiplicité des intervenants (clients, fournisseurs, donneurs d'ordre, sous-traitants) et des contraintes à prendre en compte rend nécessaire la coordination des actions de prévention ;
- malgré la mécanisation des moyens de manutention, les préparateurs de commandes, conducteurs et livreurs, sont toujours amenés à soulever, déplacer ou transporter des charges, parfois sous pression de temps. La réduction des manutentions manuelles est un axe prioritaire de la prévention des risques dans ces secteurs d'activités ;
- si la part de l'activité physique que doivent accomplir les opérateurs est la plus visible, elle s'accompagne d'une activité mentale de plus en plus lourde (anticipation des tâches à réaliser, guidage vocal, modifications fréquentes des plannings...) qui peut contribuer à provoquer des risques d'atteinte à la santé et notamment des risques psychosociaux.

Dans les plateformes logistiques, les manutentions manuelles et le port de charges sont les premières causes d'accidents du travail (lumbagos, sciatiques, heurts, coupures...)

devant les accidents de plain-pied et l'utilisation d'engins mécaniques. Quand le travail se déroule sous contrainte de temps et/ou dans des organisations très rigides, il s'accompagne notamment de gestes répétitifs qui sont des facteurs de TMS, de même que de positions de travail contraignantes. Le travail dans le froid, le manque de marge de manœuvre, le stress favorisent le développement de ces troubles.

Dans le transport routier, 1 accident sur 10 survient sur la route provoquant des blessures graves et parfois mortelles. Les conditions de circulation, l'organisation du travail, la conception des véhicules et leur entretien, la formation des conducteurs peuvent devenir autant de facteurs de risque s'ils ne sont pas optimisés. L'essentiel des accidents se produit à l'arrêt, en particulier au moment d'accéder au véhicule ou d'en descendre, lors de la mise à quai, au cours des opérations de chargement/déchargement ou du bâchage et débâchage des remorques.

Le rapport de l'Observatoire européen des risques de l'EU-OSHA, couvrant l'ensemble du secteur du transport, met en lumière les dangers, les risques et les problèmes de santé et sécurité au travail (SST) suivants pour le secteur du transport routier :

- les principaux risques et dangers physiques sont : l'exposition aux vibrations et la station assise prolongée ; la manutention manuelle de charges ; l'exposition au bruit ; l'inhalation de vapeurs et de fumées, le maniement de substances dangereuses ; les conditions climatiques ;
- la fatigue est le problème de santé le plus souvent cité par les travailleurs du transport terrestre selon l'enquête européenne sur les conditions de travail d'Eurofound et les enquêtes nationales ;
- les cas de violence et de harcèlement se multiplient dans le secteur des transports, mais sont la plupart du temps passés sous silence.

Hypothèses

Hypothèse 1

Les coûts de la traçabilité, des puces RFID par exemple, ont chuté. Chaque marchandise est taguée à l'unité. Les quais des plateformes sont équipés. La vitesse de traitement est plus rapide et plus fiable à l'entrée et à la sortie de la plateforme. Les opérations de déchargement, de tri, de chargement sont alors plus nombreuses et ceci dans un délai plus court (augmentation de la concentration des marchandises). La manutention concerne un plus gros volume dans un temps plus court. Le fractionnement des commandes s'est poursuivi. La manutention manuelle est en pleine explosion (quantités livrées plus faibles, plus fréquentes, diminution des palettes mono-produit).

La vitesse de manutention devient le frein dans le traitement des commandes, les RAP viennent pour faciliter cette étape.

Demande de robot d'assistance physique +++

Hypothèse 2 tendancielle

Une automatisation complète des plateformes est mise en place. Les produits arrivent tagués et en palette complète en entrée. Ils sont stockés en rack de manière automatique. Les prélèvements et l'expédition sont automatisés, mécanisés. Le nombre de salariés sur la plateforme chute : disparition quasi complète des préparateurs de commandes, de la manutention manuelle exceptés dans les cas de dysfonctionnement.

Pas ou peu de demande en robots d'assistance physique.

Hypothèse 3

Le coût du gazole augmente fortement. Des plateformes de proximité des bassins d'enlèvement permettent de massifier la logistique amont (baisser les coûts d'énergie et augmenter le taux de remplissage du camion). Les plateformes du dernier kilomètre se multiplient en même temps que le fractionnement des commandes et la messagerie. Entre ces plateformes, le recours au transport ferroviaire : ceci est envisageable sous réserve d'une adaptation des infrastructures ferroviaires (augmentation importante du nombre de gares marchandises, travaux importants de mise aux normes des hauteurs des ouvrages d'art...) et des réglementations (actuellement, temps d'attente des conducteurs du TRM = temps de travail). Entre les plateformes du dernier kilomètre et le client final, le transport en véhicule léger s'organise (consommation de gazole plus faible, recours aux véhicules électriques, réglementation des conducteurs routiers non applicable) et contribue à diminuer les coûts en augmentant la flexibilité.

On observe alors une augmentation de la demande en robots d'assistance physique de par la multiplication des plateformes de dernier kilomètre pour qui les tâches de manutention restent importantes.

Développement des secteurs porteurs

Michel HERY, INRS.

Exposé de la problématique

La fiche variable « Évolutions technologiques » décrit les quatre domaines technologiques clés pour le développement des robots d'assistance physique :

- la mécatronique (mécanique - électronique),
- la perception,
- la locomotion,
- le comportement (commande) et l'intelligence artificielle.

D'autres domaines d'activité utilisent aussi ces technologies et concourent à leur diffusion. Compte tenu de la lourdeur des investissements nécessaires au développement de ces différentes technologies, cet intérêt commun de différents secteurs d'activité pour une même technologie est une chance (voire une condition *sine qua non*) pour leur développement : c'est la garantie de l'élargissement du marché initial pour les industriels engagés dans ces domaines.

Dans le cas de la technologie de détection par vision, par exemple, la mise sur le marché pour un large public de la caméra Kinect par Microsoft a permis :

- de rendre abordable le prix de cet équipement,
- de relancer la recherche sur le domaine à la fois en amont, sur des sujets plus fondamentaux, et aussi en aval, sur d'autres sujets plus appliqués,
- d'élargir à d'autres secteurs d'activité que ceux qui étaient initialement concernés par l'usage de cette caméra les possibilités d'utilisation et de développement de ce type d'outil.

En effet à l'origine, les débouchés identifiés se limitaient à des applications haut de gamme utilisées dans les secteurs militaires, de l'industrie nucléaire ou de l'automobile haut de gamme. Cet élargissement des secteurs a indéniablement contribué au développement de cette technologie liée à la perception.

On peut aussi imaginer que si un des domaines d'utilisation des robots d'assistance physique (par exemple le domaine militaire ou le secteur industriel) fait des progrès dans l'utilisation d'une des technologies évoquées précédemment, cet acquis va percoler plus ou moins rapidement dans les autres domaines d'utilisation de ces robots : par exemple les robots d'assistance à la personne. On peut *a priori* imaginer que cette diffusion ira dans la plupart des cas des utilisations les plus limitées et les plus sophistiquées (et supportant les coûts les plus élevés) vers les utilisations plus grand public (et bénéficiant de la réduction des coûts liée à l'effet d'échelle).

Sur le modèle de ce qui vient d'être exposé pour la perception (détection par vision), vont maintenant être étudiées les possibilités de développement dans les autres domaines technologiques concernés par la conception des RAP, domaines cités au début de cette fiche.

Évolution des domaines technologiques recensés

La mécatronique

L'industrie manufacturière des pays dits développés est confrontée actuellement à plusieurs défis dont il est raisonnable de considérer qu'ils sont au moins pérennes, voire qu'ils pourraient s'accroître :

- une demande des utilisateurs de machines (au sens large) de plus en plus axée vers des dispositifs et équipements sophistiqués, notamment pour des raisons de sûreté et de sécurité ;
- une concurrence renforcée des pays à bas coût de main d'œuvre imposant aux pays développés un développement continu des technologies mises en œuvre pour conserver, à la faveur de cette avance technologique, leurs parts de marché ;
- un déficit structurel, et qui va se renforçant, en main d'œuvre, notamment qualifiée ; une des raisons de ce déficit de main d'œuvre qualifiée est notamment dû aux deux paramètres précédents qui correspondent à une sophistication de plus en plus forte de la production dans les pays dits développés.

Dans un tel contexte, même si la mécatronique nécessite encore la mise en œuvre d'une ingénierie complexe et coûteuse, elle constitue une piste intéressante répondant aux besoins évoqués précédemment. À terme, elle peut aussi être un instrument de réduction des coûts de production et de maintenance. Elle constitue aussi un moyen pour intégrer en un seul système une production sophistiquée et donc de se protéger contre les risques de pillage intellectuel (contrefaçon plus ou moins servile).

En matière de mécatronique, ce sont les développements pour parvenir à la conception de l'équipement qui sont très coûteux. Mais quand cet équipement est au point, il est relativement facile (et donc bon marché) de le décliner vers des applications connexes. À ce titre, des développements mécatroniques mis en place pour des robots « classiques » devraient pouvoir être déclinés sans grande difficulté pour des robots d'assistance physique, plus vraisemblablement dans l'industrie d'abord, mais également ensuite avec des adaptations limitées pour les robots d'aide à la personne.

Plutôt que de développement d'un secteur industriel identifié précisément comme porteur au sein de la mécatronique, il semble que ce soit le développement global de ce type d'ingénierie en particulier dans le domaine des machines de l'industrie manufacturière qui puisse trouver des applications pour les robots d'assistance physique. Après l'aéronautique et les transports en général (automobiles notamment), les activités manufacturières et le levage sont aujourd'hui identifiés comme les futurs secteurs porteurs.

La perception

L'exemple de la Kinect a déjà été développé brièvement en introduction. Dans ce cas, le secteur porteur (les activités ludiques) est déjà identifié. Compte tenu de leur succès, la large diffusion de ces appareils de jeux constitue *a priori* un vecteur de développement suffisant pour garantir des investissements significatifs en recherche (et en développement) dans les années qui viennent, avec des retombées possibles dans le domaine des robots d'assistance physique. Certains robots d'assistance physique utilisent déjà cette technologie.

On peut aussi imaginer que ces mêmes activités ludiques soient des vecteurs d'applications pour des progrès dans d'autres domaines sensoriels, comme le toucher par exemple.

La locomotion

Compte tenu des terrains et milieux très divers sur et dans lesquels on peut être amené à faire se mouvoir un robot, il est difficile d'espérer des solutions univoques. Pour en rester aux évolutions dans des milieux relativement simples comme les sols plats ou les escaliers, avec les quelque dix millions d'aspirateurs Roomba déjà vendus (et un nombre indéterminé d'appareils de la concurrence s'inspirant du même principe), il est probablement déjà possible de considérer que, comme pour la Kinect, c'est à travers le développement potentiel d'utilisation grand public que l'élargissement du marché pourra se faire. Le souci marketing des fabricants de ces produits, soucieux de mettre à la disposition de leur clientèle des appareils proposés comme plus novateurs et incitant cette clientèle à renouveler le matériel qu'elle possède déjà, devrait être un vecteur significatif pour le développement des techniques. Si le marché existe, les financements pour la recherche et le développement suivront et bénéficieront à des équipements plus complexes techniquement comme les robots d'assistance physique.

Ces progrès devraient surtout être sensibles dans le domaine des robots d'assistance physique à la personne qui doivent pouvoir s'adapter à la plupart des situations très variées rencontrées dans l'habitat (encombrement, différences de niveau, étroitesse de certaines issues...). Ils sont *a priori* de moindre importance pour les robots à vocation mécanique pour lesquels il est plus souvent possible d'aménager le lieu de travail dans lequel ils seront utilisés.

Le comportement (commande) et l'intelligence artificielle

Ce domaine technologique est décrit dans la fiche variable « Évolutions technologiques » comme le plus problématique en matière de développement à court mais aussi à moyen terme. Dans ce contexte, le développement proche d'un secteur porteur (en particulier au niveau du grand public) susceptible d'assurer un marché conséquent aux entreprises spécialisées dans le développement des instruments et techniques utilisés dans le domaine de l'intelligence artificielle apparaît peu probable. Dans le futur proche (ou en tout cas jusqu'en 2030, date choisie pour la réalisation de cet exercice de prospective), il semble que les développements doivent rester encore assez confidentiels et spécifiques des applications le plus souvent industrielles auxquelles ils sont consacrés. Aucun autre secteur porteur n'a été identifié, notamment pour des applications grand public. On fait néanmoins l'hypothèse pour l'exercice, que si un tel secteur devait apparaître, ce pourrait être celui de la domotique.

Hypothèses

Hypothèse 1

Le domaine de la perception et celui de la locomotion continuent leur développement sous l'influence des applications grand public, respectivement dans le domaine du jeu (Kinect) et de l'électroménager (Roomba). En revanche, ceux de la mécanique et de l'intelligence artificielle restent l'apanage des plus grosses entreprises et du monde de la recherche.

Hypothèse 2

Elle est identique à l'hypothèse 1 pour ce qui concerne les domaines de la perception et de la locomotion. Concernant celui de la mécanique, elle s'appuie sur un développement accéléré de cette ingénierie dans de nouveaux secteurs comme celui de la mécanique industrielle et celui du levage qui pourrait, par exemple, se traduire par le développement de produits dans la domotique ou, plus modestement, dans le petit électroménager.

Hypothèse 3

Elle est identique à l'hypothèse 2 pour ce qui concerne les domaines de la perception, de la locomotion et de la mécanique. Concernant l'intelligence artificielle, elle table sur un développement rapide qui pourrait trouver une application dans un secteur tel que la domotique, assurant ainsi de plus larges débouchés aux techniques développées initialement dans un cadre industriel.

Demande de robots d'assistance physique dans le secteur de la gestion des déchets

Bertrand DELECROIX, INRS.

Fortement réglementé, le secteur du traitement des déchets couvre un domaine relativement large, tant en raison des nombreuses sources de déchets à traiter (emballages ménagers, déchets industriels non dangereux, déchets radioactifs, déchets d'activités de soin à risques infectieux ou DASRI, déchets d'équipements électriques et électroniques ou DEEE...) que par les différentes activités nécessaires à leur traitement (collecte, tri, enfouissement, incinération, compostage) ou bien encore par les nombreux types d'acteurs qui prennent part à ces activités (entreprises, collectivités, services publics...).

Les professionnels exerçant leur activité dans le secteur des déchets sont soumis à de nombreux risques traditionnellement rencontrés dans les industries (collision engins piétons, chutes, risque auditif...) ainsi qu'à des risques spécifiquement liés à leur activité (TMS, risques biologiques, risques de contamination).

Actuellement, si la tendance est à la mécanisation et l'automatisation dans les différentes phases du traitement des déchets, les RAP ne sont pas utilisés. Cependant, l'intérêt d'analyser la demande potentielle de robots d'assistance repose à la fois sur l'évolution des volumes de déchets à traiter et sur les modalités selon lesquelles le traitement des différents déchets est organisé, notamment au travers des divers acteurs mobilisés.

Évolution du secteur depuis 30 ans

Évolution législative

En 1975 en France est initiée la première « loi déchets » qui en donne une première définition, précise les responsabilités et obligations de leurs producteurs, prévoit que le transport, le courtage, le négoce et l'élimination de déchets sont des activités réglementées, et que la récupération des matériaux ou de l'énergie peut être aussi réglementée pour favoriser son essor.

La loi de 1992, en modifiant la loi de 1975, initie une politique plus ambitieuse de gestion des déchets, notamment en limitant le recours systématique à l'enfouissement des déchets : seuls les déchets ultimes seront acceptés en centre de stockage des déchets

ultimes (ou CSDU) au 1^{er} janvier 2002, en instituant une taxe, la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP), due par tout exploitant d'installation de traitement ou de stockage de déchets (principe du pollueur-payeur). Elle institue la rédaction de plans d'élimination des déchets afin de maîtriser l'évolution de la gestion des déchets en termes de tonnages produits/traités et de coûts. Ces plans sont gérés à l'échelle départementale pour les déchets ménagers (les PDEDMA) et les déchets du BTP, et régionale pour les déchets industriels (le PREDI) et les déchets d'activité de soins (le PREDAS).

Les lois issues du Grenelle de l'environnement, (lois Grenelle I adoptée en 2008, Grenelle II en 2010) renforcent la responsabilité des producteurs de déchets et encouragent à l'éco-conception. L'État se fixe trois objectifs ambitieux dans le domaine des déchets :

- réduire à la source la production de déchets en responsabilisant fortement les producteurs, de la conception du produit à sa fin de vie. L'objectif est de réduire la production d'ordures ménagères et assimilées de 7 % par habitant d'ici 2015, soit une réduction de plus de 5 kilogrammes par an et par habitant ;
- augmenter le recyclage matière et organique (qui comprend le recyclage et le réemploi, le compostage, la méthanisation et l'épandage) afin d'orienter vers ces filières un taux de 35 % en 2012 et 45 % en 2015 de déchets ménagers et assimilés contre 24 % en 2004, ce taux étant porté à 75 % dès 2012 pour les déchets d'emballages ménagers et les déchets des entreprises hors BTP, agriculture, industries agroalimentaires et activités spécifiques ;
- diminuer de 15 % d'ici à 2012 la quantité de déchets partant en incinération, en enfouissement et en stockage.

De nouvelles filières de responsabilité élargie du producteur, dites filières REP sont créées (pneus, meubles, déchets de soins), les collectivités territoriales sont encouragées à développer la tarification incitative auprès des ménages.

Les tonnages selon les types de déchets

En 2009, 770 millions de tonnes de déchets ont été produits en France. Les déchets de l'agriculture en représentent presque la moitié, ceux du BTP un tiers, tandis que les déchets ménagers, qui font l'objet de toutes les attentions, représentent seulement 5 % des déchets produits.

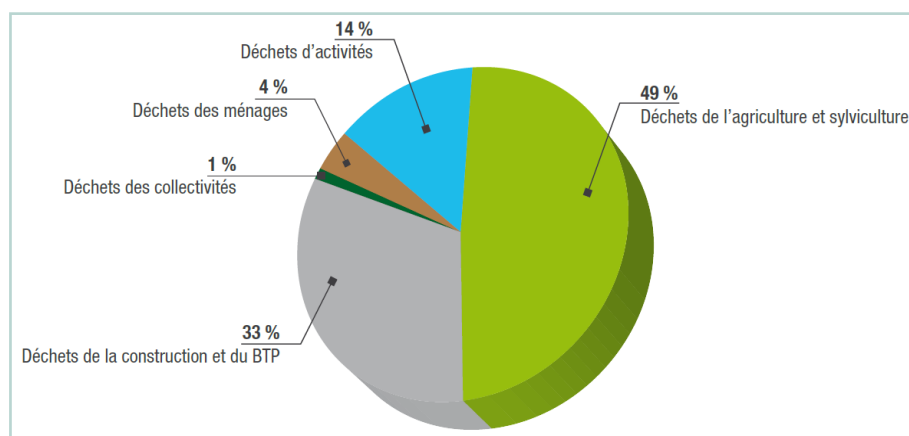


Figure 1. Part des différents secteurs dans la production de déchets en France en 2009

Source : Les chiffres clés des déchets, édition 2012, Ademe

Les déchets de l'agriculture et de la sylviculture

Ils sont constitués essentiellement de déchets organiques (résidus de récolte, déjections animales), de déchets dangereux (produits phytosanitaires non utilisés et les emballages vides de produits phytosanitaires), mais également de plastiques agricoles, de déchets d'activités de soins et de carcasses d'animaux...

La production de déchets dans le secteur BTP/construction

Le secteur de la construction pèse lourd dans la production de déchets non dangereux : 73,6 % du total des déchets générés par le secteur marchand. Les travaux publics représentent 85 % de la production des déchets du BTP, contre 15 % pour le secteur du bâtiment, soit 50 millions de tonnes par an (à titre de comparaison, chaque année, environ 30 millions de tonnes de déchets ménagers sont produits). 65 % proviennent de la démolition, 28 % de la réhabilitation et 7 % de la construction neuve.

Les déchets ménagers

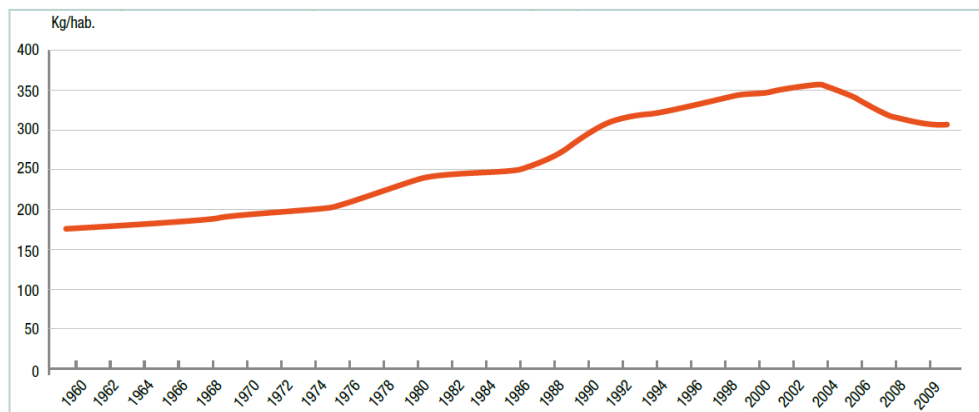


Figure 2 : Évolution de la production d'ordures ménagères par habitant entre 1960 et 2009

Source : Les chiffres clés des déchets, édition 2012, Ademe

En 2009, les déchets ménagers ont représenté environ 32 millions de tonnes, dont 12,5 millions ont été traités en déchèterie ou en encombrants, et les 19,5 restant constituant les ordures ménagères. Plusieurs facteurs expliquent que les déchets ménagers aient plus que doublé sur la période 1960-2005 : croissance démographique, augmentation plus rapide du nombre de ménages (personnes âgées seules, familles monoparentales, célibat), diffusion des nouvelles technologies et des nouveaux modes de consommation (restauration rapide, produits précalibrés...). Le fléchissement constaté à partir de 2005 s'explique par la forte augmentation des apports en déchèterie.

La production de déchets dans l'industrie

La quantité de déchets (hors boues et déchets organiques) produits en 2008 s'élève à 16,9 millions de tonnes pour les secteurs de l'industrie (y compris industrie agroalimentaire). Elle a diminué de 3,9 % depuis 2006.

Les déchets de bois représentent 33 % des déchets produits par l'industrie en 2008. Arrivent en deuxième position les déchets métalliques avec près de 4 millions de tonnes. Viennent ensuite les déchets minéraux (13,5 %), les déchets en mélange (13 %) et les déchets de papier et carton (12 %).

Les secteurs d'activité produisant le plus de déchets sont le travail du bois avec 4,5 millions de tonnes dont évidemment plus de 90 % de copeaux, sciures, écorces ou plaquettes, recyclés ou valorisés à 96 % ; l'industrie du papier et du carton avec 1,8 millions de tonnes dont 41,5 % de papier et carton mais aussi 25 % de déchets en mélange

et 21 % de bois ; et la fabrication de produits métalliques avec 1,6 millions de tonnes dont 72,5 % de métaux ferreux. (Source : Insee, 2010, La production de déchets non dangereux dans l'industrie en 2008).

Évolution des process de traitement

Activité au départ fortement manuelle, le traitement des déchets avant valorisation consiste essentiellement à séparer les déchets selon la matière. Depuis 1992 et le développement des centres de tri, l'automatisation des tâches de tri s'est fortement développée, **sans que les robots d'assistance physique soient pour l'instant utilisés.**

Le tri automatique consiste :

- à séparer les petits déchets des gros déchets ;
- à séparer du flux les objets métalliques ferreux (à l'aide d'overbands) ou non ferreux de type aluminium (à l'aide de machines à courants de Foucault) ;
- à séparer les déchets dits creux (bouteilles, flacons) des déchets plats (papiers) ;
- parmi les plastiques, grâce à des cribles optiques, à séparer les déchets selon les résines et les couleurs (PET clairs, PET foncés, PEHD, PS...).

Les agents de tri sont sollicités :

- en amont des phases de mécanisation pour retirer du flux de déchets à trier les objets susceptibles de perturber le processus automatique de séparation des matériaux ;
- en aval du tri automatique pour corriger les erreurs des machines.

Actuellement aucun RAP n'est à notre connaissance utilisé dans la filière des déchets.

(À noter que Veolia teste actuellement une machine permettant à un opérateur, d'indiquer sur un écran tactile un déchet à déplacer dans un exutoire grâce à un jet d'air comprimé.) Les progrès techniques visent à alléger au maximum le tri manuel par un développement de l'automatisme.

Hypothèses

Au vu de l'évolution récente des modes d'organisation de la gestion des déchets, trois évolutions principales sont susceptibles de survenir et qui peuvent influencer à la fois les volumes et les types de déchets à trier.

Hypothèse 1

Politique de développement de la prévention de la production de déchets et du recyclage : l'extension des filières de Responsabilité élargie du producteur (REP) aux déchets non ménagers amène les producteurs à prendre en charge la totalité des coûts de la fin de vie des produits concernés.

Cette hypothèse ne modifie pas fondamentalement la logique actuelle dans le traitement des déchets. Elle devrait se traduire par une plus forte automatisation du tri et ne devrait impliquer l'utilisation de RAP que de façon marginale.

Hypothèse 2

Politique de prévention de la production de déchets et du recyclage, renforcée par une réglementation stricte de l'enfouissement. Cette hypothèse suppose que les actions en faveur de la prévention et du recyclage ne pourront être pleinement efficaces que si le recours à la décharge est fortement contraint. Cette idée s'appuie sur le modèle allemand selon lequel tout déchet non inerte ne doit pas arriver en décharge.

Comme la précédente, cette hypothèse fait la part belle à l'automatisation. Mais le caractère plus poussé du tri peut conduire à un développement un peu supérieur de l'utilisation des RAP qui reste malgré tout marginale.

Hypothèse 3

Réforme de l'organisation et du financement de la gestion de déchets : la REP devient l'élément structurant de l'ensemble de la gestion du déchet. La responsabilité totale de la gestion des déchets est totalement transférée sur le producteur initial du produit. Les collectivités locales voient leur rôle transformé en celui de « voiture-balai », puisqu'actuellement, ce sont elles qui collectent une part importante des déchets. L'idée sous-jacente est que les producteurs sont les mieux placés pour assurer une gestion efficace de la fin de vie de leurs produits et réaliser les actions de prévention adéquates.

C'est cette hypothèse qui pourrait éventuellement le plus influencer l'usage des RAP selon les filières. En effet, le traitement de certains types de déchets pourrait alors se prêter davantage à l'utilisation de RAP qu'à une complète automatisation.

Demande + en fonction du volume des déchets collectés selon les filières.

Demande des industries de process et de production d'énergie

Michel HERY, INRS.

La question de l'utilisation des robots d'assistance physique dans les industries productrices d'énergie (raffinage pétrolier, production d'énergie nucléaire) ainsi que dans les industries de process (chimie, sidérurgie, électrométallurgie) suppose de réfléchir au devenir de ces activités en France à l'horizon 2030. Cette fiche sera donc d'abord consacrée à une description de la situation actuelle de ces industries avant d'envisager les conséquences à terme et de poser des hypothèses sur l'emploi des robots d'assistance physique.

Les industries productrices d'énergie et les industries de process ont pour point commun de nécessiter de forts investissements dans la construction et le fonctionnement de leurs installations industrielles. Le corollaire de ce lourd investissement dans les installations est que le coût de la main d'œuvre est souvent proportionnellement relativement faible dans le fonctionnement de ces installations par rapport à l'amortissement de l'investissement ou au coût de l'énergie consommée. Ces industries présentent également la particularité d'être fortement dépendantes d'un certain nombre de paramètres comme :

- la sécurisation, en volume et en prix, de l'approvisionnement en matières premières, largement importées pour la plupart d'entre elles (pétrole, uranium, minerais), même si l'utilisation de produits issus de la filière du recyclage progresse ;
- les exigences accrues ces dernières années pour ce qui concerne la sécurité des procédés (suite, notamment, à l'accident de l'usine AZF à Toulouse) et la diminution de leur impact sur l'environnement (émissions de gaz à effet de serre, notamment).

La situation économique de ces différentes branches n'est pas identique mais, à l'exception notable de la production d'énergie nucléaire, elles sont fortement impactées par les phénomènes liés à la mondialisation de la production et des échanges d'autant que comme indiqué précédemment, elles sont largement tributaires des importations de matières premières.

Raffinage pétrolier

Ce secteur connaît un déclin régulier marqué par la fermeture d'installations de distillation et par la restructuration de certaines autres en vue de diminuer la quantité d'essence produite au profit du gazole dont la production hexagonale est très largement déficitaire. Ceci est lié à la spécificité française liée à la prédominance de la motorisation diesel. En outre ce déclin s'inscrit dans un contexte de substitution relative des énergies fossiles par les énergies renouvelables et de meilleure efficacité énergétique qui voit diminuer la demande européenne. Cette tendance est appelée à se poursuivre puisque les besoins quotidiens en produits pétroliers devraient passer en Europe de 15,3 millions de barils en 2010 à 12,5 millions en 2030.¹

Selon l'Union française des industries pétrolières (UFIP), outre l'installation d'unités de conversion permettant d'augmenter la production de gazole, une part importante des investissements prévus dans les années à venir concerne la sûreté des installations dans le cadre du plan national sur la modernisation des installations industrielles.²

Le secteur du raffinage revêt une importance stratégique puisqu'il permet de garantir l'approvisionnement en carburant : à l'horizon 2030, le pétrole devrait assurer 85 % de l'énergie utilisée pour le transport en Europe. En outre, il assure également l'approvisionnement des plateformes pétrochimiques qui représentent une part significative de l'alimentation en matières premières de l'industrie chimique, au moins pour la chimie organique de base (éthylène, propylène) et les matières plastiques.

La grande inconnue d'ici 2030 (et au-delà) concerne la confirmation d'éventuelles ressources importantes en gaz de schiste sur le territoire national (de premières estimations plaçaient la France et la Pologne largement en tête des réserves supposées en Europe) et les choix qui seront faits d'en autoriser l'exploitation, que ce soit par la méthode de fracturation hydraulique ou par toute autre technique. L'existence de larges ressources dans l'hémisphère occidental (aux États-Unis notamment) et leur exploitation sont d'autres paramètres susceptibles d'influer sur le devenir de l'industrie du raffinage en France : elles peuvent par exemple aboutir à l'arrêt des importations nord-américaines d'essence en provenance du Vieux Continent et de France en particulier.

Industrie chimique

La situation de l'industrie chimique est plus contrastée. Le secteur est marqué par un très fort accroissement des échanges depuis les années 1980. En effet, 62 % de la production française est destinée à l'exportation, avec un taux de couverture d'environ 1,10 (valeur des exportations / valeur des importations). Cependant, ce taux global marque d'assez fortes disparités entre les différents secteurs.

¹ Union française des industries pétrolières. Livre blanc : l'industrie pétrolière en France. Contribution au débat sur l'énergie. 48 pages, janvier 2012.

² www.ufip.fr – Dossiers d'information : plan de modernisation.

Si la chimie minérale de base (production de chlore, d'engrais minéraux...) connaît un déclin régulier en raison de l'évolution des besoins de l'industrie chimique de spécialités et de la concurrence mondiale, d'autres secteurs maintiennent leur part de marché comme la chimie organique de base (dont on a vu la dépendance aux produits issus du raffinage pétrolier : son maintien semblerait difficile en cas de fermeture des raffineries) portée par exemple par la fabrication des matières plastiques de base ou la chimie de spécialités (peintures, encres, produits phytosanitaires ou de traitement de l'eau). La production des savons et parfums est en forte croissance. En revanche, le déficit en chimie fine pharmaceutique s'aggrave. À titre d'exemple, la production de paracétamol en France est devenue inexistante pour des raisons liées notamment à la nécessité de l'utilisation du benzène, composé cancérigène aux fortes contraintes en matière de santé et sécurité au travail, lors de sa synthèse.

Les prévisions de l'Union des industries chimiques (UIC) en matière d'investissements pour les années à venir montrent une part prépondérante (50 %) de ceux qui seront consacrés au *revamping* (modernisation) et à la rationalisation des installations³. Il s'agit davantage de réduire les coûts que d'étendre les capacités ou de fabriquer de nouveaux produits. Une part significative de ces investissements est également consacrée à la poursuite des mises en conformité des installations, ce qui se traduit par une hausse des dépenses pour la maîtrise et la prévention des risques du même type que celle signalée précédemment pour l'industrie du raffinage pétrolier. Toutes ces modifications de process peuvent être l'occasion de procéder à une automatisation des installations, voire à l'introduction de robots d'assistance physique, notamment pour des interventions en milieu (semi)-confiné ou hostile, ou impliquant des postures contraintes.

Il convient également de signaler que, même dans un contexte général de crise tel que celui que l'Europe vit depuis quelques années, les prix des produits de l'industrie chimique, souvent fortement corrélés à ceux de l'industrie pétrolière qui constitue une source d'approvisionnement importante, restent soutenus.

Le futur de l'industrie chimique semble également devoir être impacté par le passage au moins partiel à une économie circulaire, basée sur l'utilisation d'énergies et de ressources renouvelables et sur le recyclage : une « chimie durable ».

De même, l'entrée en vigueur de Reach (le règlement sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques, entré en vigueur le 1^{er} juin 2007) qui vise à garantir une utilisation sûre des substances tout au long de leur cycle de vie impliquera la création de scénarios d'exposition. Ces scénarios décrivent les conditions opérationnelles et les mesures de gestion des risques à appliquer par le fabricant/importateur et par les utilisateurs tout au long du cycle de vie. Ces nouvelles exigences sont susceptibles d'avoir des conséquences en matière d'utilisation (et donc de mise ou non sur le marché) de certaines molécules ou produits dont la faible importance stratégique pourrait ne pas justifier les frais afférents. L'utilisation de robots d'assistance physique est susceptible de modifier ces scénarios, soit qu'ils permettent le maintien d'activités qui n'exposeront plus potentiellement le travailleur à des substances indésirables, soit au contraire que les investissements correspondant à l'utilisation de ces robots soient jugés trop lourds.

³ www.uic.fr/2012/RADD/appli.htm

Sidérurgie et électrométallurgie

Si les états généraux de l'industrie de 2010 fixaient des objectifs ambitieux à l'horizon 2015 pour le renouveau de l'industrie des biens intermédiaires en France, les évolutions actuelles (2013) de la production d'acier et d'aluminium ne semblent pas répondre à ces aspirations⁴. Avec une quarantaine de sites de production et un tonnage d'environ 15 millions de tonnes⁵, la sidérurgie représente cependant un secteur industriel dans lequel les nombreuses opérations de transformation successives de l'acier (indépendamment de la filière, du haut fourneau ou de l'aciérie électrique au laminage ou à la découpe, en passant bien sûr par les opérations de maintenance) peuvent constituer des domaines pour l'utilisation des robots d'assistance physique. Avec un chiffre d'affaires 6 à 7 fois inférieur à celui de l'acier, l'aluminium se retrouve dans une configuration voisine en termes de développement potentiel de l'utilisation des robots d'assistance physique, avec potentiellement la même large gamme d'opérations concernées.

Cette utilisation dépendra principalement du niveau d'investissement qui sera réalisé dans ces deux secteurs d'activité dans les années qui viennent.

Production d'électricité nucléaire

Malgré une montée significative depuis 2008 de la part des énergies renouvelables (mise à part l'énergie d'origine hydraulique qui reste stable) dans la production d'électricité en France, la part du nucléaire reste encore largement dominante et stable avec environ 80 %. Le devenir des 58 réacteurs actuellement en service est incertain à moyen terme :

- volonté politique affichée de diminuer la part du nucléaire confrontée à une demande de l'exploitant d'allonger la durée d'utilisation des réacteurs existants,
- acceptabilité par la société d'une industrie régulièrement mise en cause après des accidents survenus ces dernières années,
- entrée en service retardée des réacteurs de troisième génération (EPR) suite à des délais non tenus dans la construction,
- raréfaction des ressources en énergies fossiles (peut-être ralentie par l'utilisation des gaz et pétroles de schiste),
- nécessité de sécuriser les approvisionnements en énergie dans un contexte d'instabilité politique et économique mondiale,
- lutte contre les émissions de gaz à effet de serre,
- etc.

En revanche, compte tenu de la radioactivité à long terme de ses déchets et de ses installations, le nucléaire, que ce soit pour la production d'énergie électrique, pour le démantèlement des installations existantes ou pour la gestion des déchets, est durablement installé dans le paysage industriel français. En outre, suite à la catastrophe

⁴ www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/104000021/0000.pdf

⁵ www.acier.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/FFA/Publications/Acier_en_France_2011_web.pdf&t=1372431627&hash=0f52ea896e531785ae407b96a6df2819

de Fukushima, il a été décidé de renforcer la maintenance du parc actuel et de l'adapter d'ici 2025 à de nouvelles normes de sécurité renforcées pour un coût que la Cour des comptes évaluait naguère à 50 milliards d'euros⁶.

Les travaux effectués en milieu nucléaire resteront donc à un volume élevé en France et dans le monde, indépendamment des configurations existantes et des décisions politico-économiques qui seront prises. Ces travaux se dérouleront dans un contexte qui a vu au cours des trente dernières années un abaissement régulier de la dosimétrie admissible pour les travailleurs. L'exploitant des centrales nucléaires françaises se fixe d'ailleurs un objectif d'abaissement de 40 % de cette dosimétrie à la faveur de la mise en service des réacteurs de troisième génération, grâce à une optimisation de la radioprotection pendant les opérations de maintenance⁷. Cette optimisation passera par une maintenance des composants conçue pour être plus rapide et pour pouvoir être réalisée quand le réacteur est en fonctionnement. Les niveaux d'exposition actuels conduisent d'ailleurs parfois au retrait forcé de travailleurs ayant atteint les seuils autorisés (plus souvent chez le personnel des entreprises extérieures que chez celui de l'exploitant). À ce titre, l'industrie nucléaire est parmi les secteurs les plus intéressés au développement de robots d'assistance physique permettant d'éloigner les opérateurs des zones de plus forte exposition aux radiations ionisantes. Certains types de robots sont d'ailleurs déjà actuellement utilisés.

L'emploi dans ces activités

L'ensemble de ces activités est marqué par l'emploi d'un personnel « organique » (issu de l'entreprise utilisatrice, en l'occurrence l'entreprise chimique qui gère la production sur le site considéré) fortement qualifié. À titre d'exemple, l'industrie chimique qui emploie 40 % de techniciens ne compte plus dans ses effectifs qu'environ un tiers d'ouvriers et d'employés, un pourcentage en constante diminution. Dans cette dernière catégorie, des métiers comme celui d'opérateur de fabrication ou de pilote d'installation sont de plus en plus pointus et techniques. Ils requièrent un niveau de qualification croissant.

Les effectifs des entreprises utilisatrices ont connu une diminution régulière et importante au cours des trente dernières années pour une production toujours en augmentation. Il convient cependant de relativiser cette diminution du personnel. En effet, au cours de la même période, dans une logique de « recentrage sur le cœur du métier », ces industries de process et de production d'énergie ont fortement augmenté le recours aux entreprises extérieures dans des fonctions de plus en plus diverses. Il s'agit donc, pour partie, d'un transfert de l'emploi à des entreprises sous-traitantes plutôt qu'une suppression réelle des fonctions et des postes. À l'externalisation de la restauration et du gardiennage a succédé celle de la maintenance, du nettoyage et du conditionnement. Dans certaines entreprises, d'autres activités comme celles des bureaux d'étude, voire celles de démarrage de

⁶ <http://www.ccomptes.fr/index.php/Publications/Publications/Les-couts-de-la-filiere-electro-nucleaire>

⁷ <http://rapport-dd-2011.edf.com/fr/accueil>

nouvelles activités ou de nouveaux ateliers ont été confiées à des entreprises extérieures. Outre le recentrage sur le cœur du métier, cette externalisation a également correspondu pour les entreprises utilisatrices à la volonté de disposer d'une main d'œuvre qualifiée au quotidien et disponible en nombre pour certaines opérations telles que les (gros) arrêts périodiques : compte tenu de la lourdeur de l'investissement de départ, il est important de limiter autant que faire se peut la durée d'indisponibilité des installations. Ce recours croissant aux entreprises extérieures incite aussi à relativiser la diminution du pourcentage d'ouvriers et d'employés dans le personnel des entreprises des industries de process et de l'énergie évoqué précédemment : ce sont davantage des emplois d'ouvriers que de techniciens et *a fortiori* de cadres qui ont été externalisés.

Ces phénomènes d'externalisation des activités n'ont pas connu un développement linéaire, même s'ils sont globalement en progression. À différents moments, certaines activités ont été ré-internalisées par certaines entreprises, soit qu'elles aient été jugées stratégiques, soit qu'elles aient permis de lisser une baisse conjoncturelle de l'activité sans devoir recourir à des licenciements en interne. Cette externalisation est régulièrement mise en cause. En effet, selon certains (organisations syndicales, associations), elle serait susceptible d'induire une perte de connaissance des installations et de leur fonctionnement. Récemment, concomitamment aux diverses enquêtes menées dans le parc nucléaire français suite à l'accident de Fukushima, Électricité de France (EDF) a procédé à l'embauche de robinetiers, activité dont l'entreprise s'était dégagée depuis une bonne vingtaine d'années.

Externalisation des tâches ne rime pas avec moindre niveau technique de la prestation. En effet, ces entreprises extérieures ont un niveau élevé dans leur domaine de compétence. Leur forte implication dans leur secteur d'activité depuis de nombreuses années et leur bonne connaissance des installations et des techniques utilisées en font des interlocuteurs efficaces lors des évolutions de l'appareil productif. Certaines d'entre elles ont même créé des bureaux d'étude pour assister les entreprises utilisatrices dans leurs projets nouveaux ou de *revamping* (modernisation des installations du site) : l'intégration dès la conception des contraintes liées à la maintenance et au nettoyage permet ensuite de simplifier la réalisation de ces opérations. D'un point de vue de santé et sécurité au travail et de protection des travailleurs, mais aussi dans une moindre mesure d'un point de vue de protection de l'environnement, c'est même une nécessité.

Santé et sécurité au travail dans les industries de process et de production d'énergie. Nuisances professionnelles et robots d'assistance physique

Benzène, hydrocarbures polycycliques aromatiques, formaldéhyde, catalyseurs à base de nickel ou de cobalt, radiations ionisantes ainsi que quelques centaines, voire quelques milliers d'autres composés cancérogènes, mutagènes et/ou toxiques pour la reproduction, sont présents dans ces industries. La protection des travailleurs contre ces substances revêt une importance majeure. Un certain nombre de découvertes en matière de

toxicologie ou d'épidémiologie ainsi que les exigences croissantes de la société en matière de santé et de sécurité (et aussi de protection de l'environnement) ont conduit à un abaissement important des valeurs limites d'exposition professionnelle de ces substances. Pour l'amiante qui n'est plus utilisé en France, mais constitue un héritage du passé industriel difficile à gérer, en 20 ans (de 1995 à 2015), la valeur limite aura été diminuée d'un facteur supérieur à 60. La dose maximale admissible de rayonnements ionisants a également connu un abaissement important sur la même période. Pour un certain nombre de ces produits, cancérogènes sans effet de seuil, cette valeur limite aussi faible soit-elle, ne garantit pas une absence d'effet. Face aux contraintes liées à l'emploi ou à la présence de ces produits, l'utilisation de robots d'assistance physique représente une solution intéressante. En effet ils pourraient permettre une intervention de l'opérateur de l'extérieur de la capacité (réservoir) ou du réacteur dans lesquels se trouvent ces composés toxiques. Ainsi, le temps d'exposition potentiel serait diminué. Les robots télé-opérés à retour d'effort développés par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) montrent déjà les possibilités existantes et potentielles dans ce domaine^B.

Cette solution est également intéressante d'un point de vue industriel, hors nucléaire. Des activités de synthèse sont menacées en France (voire ont déjà disparu) parce qu'elles mettent en œuvre des substances dont la toxicité est jugée trop forte au niveau d'exposition potentiel admissible pour les opérateurs. La substitution des produits n'étant pas toujours possible, ces synthèses sont maintenant réalisées à l'étranger. C'est notamment le cas d'un nombre important de molécules de la chimie fine pharmaceutique dont le taux de couverture est désormais très dégradé. Cette production à l'étranger oblige également à renforcer les contrôles de qualité. L'utilisation de robots d'assistance physique pourrait potentiellement permettre le retour de ces activités dans des installations françaises.

Toujours d'un point de vue industriel, on a vu précédemment l'importance économique que revêt la durée d'immobilisation de ces installations souvent très exigeantes en investissements. Une (semi)-automatisation de certaines tâches, en particulier au niveau de la maintenance et du nettoyage, moyennant l'utilisation de ces robots, constitue à terme une piste intéressante en ce sens qu'elle devrait permettre d'augmenter la performance des opérateurs et donc de raccourcir ces phases d'arrêt. Pour rester plus strictement dans le domaine de la production, ces robots pourraient aussi jouer un rôle important au niveau du conditionnement (au sens large), pour des tâches pour lesquelles une automatisation complète n'est pas souhaitable ou pas possible (haut niveau de qualité, séries limitées en volume et fréquence, formes et conditionnements spécifiques...) en augmentant la productivité sans que cela se fasse potentiellement au détriment de la santé (troubles musculosquelettiques en particulier) et de la sécurité des travailleurs.

Enfin, en particulier pour les opérations de maintenance et de nettoyage déjà évoquées à plusieurs reprises, l'utilisation de robots d'assistance physique constituerait vraisemblablement un atout important. En effet, dans ces industries évoquées dans cette fiche, beaucoup d'opérations correspondant à ce type d'activités s'effectuent dans des postures contraintes et/ou imposent des gestes répétitifs et forcés, exigeants

^B <http://www.cea.fr/technologies/robot-pour-l-assistance-industriel-60004>

physiquement. La possibilité d'une automatisation partielle constituerait un progrès indéniable tout en préservant toute l'efficacité d'une intervention humaine souvent indispensable (dextérité, contrôle visuel, prise de décision...).

La taille et le niveau de technicité des entreprises extérieures intervenant dans ces industries de process et de production d'énergie sont très variables, même si on a assisté à une certaine concentration ces dernières années, correspondant notamment au fait que les entreprises utilisatrices ont souhaité limiter le nombre de leurs interlocuteurs dans la passation des contrats. Il est certain qu'un certain nombre d'entre elles ont le niveau culturel et technique et l'assise financière indispensables pour pouvoir mettre en œuvre des robots d'assistance physique.

Hypothèses

Hypothèse 1. Une industrie dynamisée

Dans un contexte marqué par la hausse globale de la demande d'énergie et par la raréfaction des énergies fossiles comme le pétrole (et donc par la hausse de son prix), la France bénéficie malgré tout de l'apport substantiel d'une nouvelle source d'énergie relativement abondante, vraisemblablement fossile, à un prix abordable.

L'industrie pétrolière peut maintenir ses capacités de raffinage qu'il faudra moderniser voire réorienter pour traiter cette nouvelle matière première aux caractéristiques significativement différente des pétroles les plus couramment utilisés.

En conséquence, l'industrie chimique bénéficie d'un prix de l'énergie raisonnable et d'une matière première abondante. Elle peut envisager la modernisation de ses installations, voire le développement de la production de produits organiques de base et de spécialités.

Même si le nucléaire voit sa part de marché diminuer, le parc de centrales à faire fonctionner (voire à démanteler) est suffisamment grand pour maintenir une activité dynamique pouvant inclure le développement de nouveaux réacteurs.

Cette énergie bon marché est bénéfique à la sidérurgie.

Dans ce cas de figure, la reconversion d'unités de production ou le développement d'unités nouvelles entretient une forte demande de robots d'assistance physique dans ces activités.

Demande +++ . Ces opérations nécessitent une gamme de RAP diversifiée.

Hypothèse 2. Une volonté politique forte de maintenir une industrie

Aucune nouvelle source d'énergie native n'est disponible en France. L'industrie française doit travailler avec des sources d'énergie majoritairement importées à un prix croissant. Cependant, le choix politique du maintien d'une industrie forte dans l'hexagone est fait.

L'industrie pétrolière continue son déclin, légèrement tempéré par la volonté de conserver en France un secteur stratégique.

L'industrie chimique est réorientée sur des produits à haute valeur ajoutée et doit reconverter une partie de ses installations pour mieux faire face aux défis entraînés par l'utilisation de produits recyclables et la réorientation vers la « chimie durable ».

Le nucléaire connaît un développement important avec la mise en fonctionnement des réacteurs de troisième génération. Les réacteurs de deuxième génération continuent à fonctionner.

L'activité de la sidérurgie et de l'électrometallurgie se concentre sur des niches à forte valeur ajoutée.

Le fort renforcement du nucléaire facilite le développement de la demande en robots d'assistance physique dans ces activités. Les progrès technologiques effectués pour répondre à cette demande peuvent avoir un relatif effet d'entraînement dans les industries de process.

Demande ++. Elle concerne plutôt des robots de substitution de l'action humaine, assez haut de gamme, et aussi, dans une moindre mesure, des équipements utilisables pour le conditionnement.

Hypothèse 3. Le déclin industriel s'accélère

Dans un contexte d'augmentation des prix de l'énergie et de mondialisation accrue des activités, l'industrie de process connaît un fort déclin en France. Seule l'industrie nucléaire est demandeuse de l'utilisation de robots d'assistance physique, soit pour contribuer au fonctionnement des centrales de troisième génération, soit pour adapter le fonctionnement de celles de deuxième génération ou aider à leur démantèlement progressif.

Demande +. Elle concerne pour l'essentiel des robots utilisables dans le nucléaire, donc des équipements se situant sur un secteur plutôt haut de gamme.

Demande dans le BTP

Guy WÉLITZ, INRS.

Définition

Cette variable traite de la demande en RAP dans le secteur du BTP, bâtiment et travaux publics.

Ce secteur est représenté en France par deux fédérations professionnelles, la FFB, Fédération française du bâtiment et la FNTP, Fédération nationale des travaux publics. Certaines entreprises interviennent dans les deux domaines, ces professions sont voisines, avec des recouvrements.

Les entreprises du bâtiment construisent des édifices. Il s'agit de logements collectifs, de maisons individuelles, de locaux commerciaux et industriels, de centres de loisirs. Elles les aménagent intérieurement, les entretiennent, les restaurent ou les démolissent. Des entreprises de toutes tailles interviennent, de l'artisan aux grands groupes multinationaux.

Pour construire un bâtiment, il y a le gros œuvre, qui concourt à sa solidité et à sa stabilité (fondations, murs porteurs, charpentes, planchers...) et le second œuvre, qui regroupe plus de 30 métiers (carreleurs, couvreurs, électriciens, peintres, plâtriers, plombiers, vitriers...)¹.

Les entreprises de travaux publics procèdent à des travaux de construction ou d'entretien d'utilité générale pour le compte de l'État, des collectivités locales ou des entreprises. Elles œuvrent dans les domaines suivants (selon nomenclature FNTP) :

- ouvrages d'art et d'équipement industriel (barrages, ponts, digues, passages souterrains, usines et installations pour la sidérurgie, la chimie et la pétrochimie, halls industriels ou d'exposition, centrales électriques, thermiques, nucléaires...);
- terrassements (fouilles, fondations, démolition, espaces verts, terrains de sport, fixation des sols...);
- fondations spéciales et procédés d'exécution particuliers (pose de palplanches, pieux, caissons, procédés spéciaux à des fondations, consolidations, reconnaissance ou étanchement de sols);

¹ Source : site Internet FFB <http://www.ffbatiment.fr/>

- travaux souterrains (ouvrages de circulation, d'adduction, d'évacuation d'eau, d'aménagements miniers...);
- travaux en site maritime ou fluvial (ouvrages de défense de côtes, aménagement ou régularisation de voies d'eau tels que jetées, phares, balises, murs de quai, appontements, écluses, piles de ponts);
- travaux de routes, d'aérodromes et travaux analogues (corps de chaussées, routes, pistes d'aérodromes, voies de circulation...);
- travaux de voies ferrées (installation et entretien des voies et de leurs structures annexes...);
- adduction d'eau, assainissement et autres installations (stations de pompage, refoulement, relèvement, et l'ensemble de leurs équipements hydrauliques, thermiques, électriques, châteaux d'eau, réservoirs, piscines, stations de traitement des eaux, réseaux d'adduction et de distribution d'eau et fluides divers, réseaux d'évacuation et d'épuration d'eaux usées, stations de traitement d'ordures ménagères, abattoirs...);
- travaux électriques (lignes destinées à la traction électrique ou aux télécommunications, canalisations électriques souterraines, équipements de signalisation, équipement électrique général des centrales de tous types, postes de transformation, génie climatique, électrothermie...);
- travaux de génie agricole et d'équipement forestier (assainissement et drainage, protection fixation des sols, élagage, défrichage, dessouchage, équipements pour arrosage de cultures et espaces verts, aménagement de décharges, chemins ruraux...).

Indicateurs

Données économiques

En France, un salarié sur 10 travaille dans le BTP. Le chiffre d'affaire de ce secteur est de 170 milliards d'euros en 2011 dont 20 % environ pour l'export et les DOM-TOM-POM.

- Le BTP occupe 1,5 millions d'actifs dont près de 1,3 millions de salariés avec environ 110 000 intérimaires (en équivalent temps plein).
- Le bâtiment représente un peu plus des 2/3 de ce chiffre d'affaire.
- 85 % des entreprises ont moins de 10 salariés. Plus de 60 % des entreprises du bâtiment emploient 3 salariés ou moins. Cette part est de 44 % pour les travaux publics.

À l'international, en 2011, le chiffre d'affaire réalisé dans la BTP par la Chine est en pleine croissance. Selon la FNTP, « *Cette année les groupes allemands sont premiers mondiaux avec 28,4 milliards d'euros de chiffre d'affaires à l'international, mais ils sont suivis par les Chinois, avec 26,4 milliards d'euros réalisés hors de leur marché domestique et les français se classent troisièmes avec 26 milliards* ». En 2010, les Chinois étaient encore troisièmes avec 22 milliards de chiffre d'affaires, derrière les Allemands, les Français étant premiers. Il s'agit cependant d'un secteur où les gros contrats changent la donne.

Rétrospective/prospective

Économie

En France, à la Libération, la reconstruction des infrastructures détruites durant la guerre et la construction de logements a conduit le BTP à devenir une activité majeure de l'économie. Les décennies suivantes ont permis la croissance de cette activité et actuellement quatre grandes entreprises, Bouygues, Eiffage, SPIE et Vinci dominent le marché. Derrière ces majors, les autres, plus de 300 000 entreprises, sont pour la plupart des artisans et des TPE.

Après la crise des années 90, le secteur du BTP a connu durant 8 ans une forte croissance, supérieure à celle du reste de l'économie nationale, en créant plus de 150 000 emplois.

Pendant, le BTP a souffert de la crise financière de 2008 engendrant une baisse conséquente des emplois. Si le marché a repris en 2011, l'année 2013 voit le pessimisme revenir. Selon la FFB :

« Pour 2013, compte tenu d'un contexte macroéconomique, financier et institutionnel moins porteur, la production totale bâtiment reculerait de 3,5 % en volume, hors choc exogène exceptionnel. Le marché du neuf connaîtrait un net repli (- 7,2 %), avec 315 000 logements mis en chantier et 19,9 millions de m² de surfaces non-résidentielles commencées (hors bâtiments agricoles). Compte tenu des délais de réalisation, la production de logement neuf reculerait de 8,9 % et celle de non-résidentiel de 4,4 %. Toutefois, le recul limité à 0,5 % de l'activité en amélioration-entretien, permettra d'amortir en partie le choc du neuf. L'hypothèse d'anticipations de travaux par les ménages en 2013, dues à la hausse prévue du taux de TVA réduite dès le 1^{er} janvier 2014, a été retenue. Au global, environ 40 000 emplois seraient détruits au cours de l'année 2013 ». La conjoncture économique risque donc d'entraîner la destruction de 40 000 emplois environ dans un secteur qui en a déjà perdu 14 500 sur 2012.

La FNTP s'attend aussi à une amplification de la crise en 2013, avec une baisse de 2,5 % du chiffre d'affaires. 2012 était déjà la plus mauvaise année avec le niveau d'activité le plus faible depuis 10 ans (- 1,5 % estimé). Les deux grands chantiers de lignes à grande vitesse en cours (Bretagne-Pays de la Loire et Tours-Bordeaux) et la poursuite des projets de tramways ne seront pas à même de compenser le repli de la demande de l'État, des collectivités locales et du secteur privé.

En mars 2013, afin de répondre aux besoins des Français à se loger, pour la création d'emplois et l'émergence des nouvelles technologies de construction et de rénovation énergétique, le gouvernement a annoncé un plan d'investissement comportant 20 mesures dont les principales sont :

- raccourcir les délais de procédure pour débloquer les projets, afin de diviser par 3 les délais de procédure et par 2 les traitements des contentieux ;
- construire là où sont les besoins, en privilégiant la densité à l'étalement urbain ;
- conclure un pacte avec les HLM pour la construction de 150 000 logements sociaux et la rénovation énergétique de 120 000 logements sociaux chaque année ;
- simplifier les normes de construction, pour instaurer la stabilité juridique nécessaire ;
- lancer la rénovation énergétique des logements, pour créer des emplois, protéger le budget des ménages et réduire de 38 % d'ici à 2020 la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment.

Vis-à-vis de l'emploi, le BTP connaît en permanence des difficultés à recruter. C'est un secteur où l'on peut observer un très gros manque de main d'œuvre. Globalement, ces métiers n'attirent pas (activités physiques, sujettes à risques d'AT/MP, non valorisées dans la société...). La main d'œuvre qualifiée est difficile à recruter alors que le chômage est élevé, cela semble paradoxal. Mais c'est une réalité qui freine le développement de l'activité. La robotique peut-elle contribuer à bouleverser ce paysage ?

À l'étranger, la Chine monte en puissance. Ses chantiers s'inscrivent essentiellement dans une politique d'appropriation de ressources naturelles (terres agricoles, énergie, terres rares...), en échange d'infrastructures ou de bâtiments via des accords entre États. Contrairement aux autres principaux groupes internationaux, les entreprises chinoises ne créent pas de structures locales. La totalité des ressources nécessaires (équipements de travail, matériaux, hommes, nourriture...) est importée. Bien que, compte tenu de l'importance de son marché intérieur, les chantiers du BTP restent modestes hors de ses frontières.

Si les groupes occidentaux sont encore leaders dans de nombreux appels d'offre pour leur expérience dans la conception d'ouvrages complexes, les moyens mis en œuvre en recherche et développement par la Chine (et son expérience acquise), peuvent bouleverser le schéma actuel.²

Accidents du travail et maladies professionnelles

Au sein du régime général, le BTP (qui dispose d'un organisme de prévention particulier, l'OPPBT, Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics) représente le plus haut niveau de risque d'accidents.

Depuis 1990, l'évolution du nombre d'accidents du travail est à la baisse. Cependant, en 2010, le secteur du BTP qui occupe 8,6 % des salariés du régime général, recense 17,5 % des accidents de travail avec arrêt, 22,3 % des décès et 11,8 % des maladies professionnelles avec arrêt.

Les accidents du travail sont principalement la conséquence des manutentions manuelles (34 %) et des emplacements de travail (accidents de plain-pied (21,5 %) et chutes de hauteur (16,5 %)

Le nombre de maladies professionnelles dans le BTP a progressé jusqu'en 2002 comme pour l'ensemble du régime général en raison de leur prise en compte plus large et d'une

² Sources

<http://www.metiers-btp.fr/reperes/chiffres-du-btp/Pages/chiffres-cles-btp.aspx>

<http://www.france.fr/connaître/economie/panorama/article-ancien/batiment-et-travaux-public-un-secteur-fort-de-leconomie-nationale>

<http://www.capital.fr/immobilier/actualites/le-marche-du-btp-devrait-acceler-sa-baisse-en-20ec-13-795582>

<http://www.lefigaro.fr/emploi/2013/03/08/09005-20130308ARTFIG00384-les-nouvelles-lignes-de-tgv-creent-des-milliers-d-emplois.php>

http://www.lesechos.fr/07/11/2011/LesEchos/21053-130-ECH_les-chinois-montent-et-les-français-reculent-dans-le-classement-mondial-des-constructeurs.htm

<http://www.batiactu.com/edito/top-10-des-plus-grands-groupes-mondiaux-du-btp-30424.php>

<http://www.lemoniteur.fr/139-entreprises-de-btp/article/actualite/19098702-pourquoi-les-groupes-chinois-dominent-ils-la-construction-mondiale>

<http://www.gouvernement.fr/gouvernement/en-direct-des-ministeres/vingt-mesures-phares-pour-le-logement>

meilleure reconnaissance, notamment pour les TMS. De 2003 à 2006 ce nombre semblait stabilisé, mais il a connu en 2007 une très forte progression qui se poursuit en 2010.

Le BTP se distingue par l'importance des TMS : tableaux 57 concernant les affections périarticulaires ; 97 et 98 pour les affections chroniques du rachis lombaire dues aux vibrations et aux charges lourdes ; 79 pour les lésions chroniques du ménisque. La hausse est surtout sensible au tableau 57.

Nota : La fiche ne prend pas en compte les maladies dues à l'amiante dans la mesure où les spécialistes INRS dans le domaine du BTP estiment que le plus gros des travaux de désamiantage dans le bâtiment est en partie effectué ou en cours, ils ne seront plus d'actualité d'ici une décennie.

1. Le BTP au sein du régime général en 2010

| Le BTP au sein du régime général | | | |
|--|----------------|-----------|-------|
| Statistiques 2011 | Régime Général | BTP | % BTP |
| Effectifs | 18 500 237 | 1 582 891 | 8,6% |
| Accidents du travail (AT) | | | |
| Accidents avec arrêt (AT-arrêt) | 669 914 | 115 626 | 17,3% |
| Accidents avec incapacité permanente (AT-IP) | 40 986 | 8 056 | 19,7% |
| Décès AT | 552 | 144 | 26,1% |
| Indice de fréquence | 36,20 | 73,00 | |
| Taux de fréquence | 24,30 | 46,80 | |
| Taux de gravité | 1,40 | 2,80 | |
| Indice de gravité | 15,50 | 39,10 | |
| Maladies professionnelles (MP) | | | |
| Maladies avec arrêt (MP-arrêt) | 55 057 | 6 660 | 12,1% |
| Maladies avec IP (MP-IP) | 27 132 | 3 227 | 11,9% |
| Décès MP | 570 | 23 | 4,0% |

Indice de fréquence (IF)

nombre des accidents avec arrêt pour mille salariés

Taux de fréquence (TF)

nombre des accidents avec arrêt par million d'heures travaillées

Taux de gravité (TG)

nombre de journées d'incapacité temporaire par millier d'heures travaillées

Indice de gravité (IG)

total des taux d'incapacité permanente par million d'heures travaillées

NB De nombreuses maladies professionnelles du régime général sont reconnues hors les CTN.

2. Les causes des accidents du travail

| Les causes des accidents du travail dans le BTP en 2011 | | | | | | |
|---|----------|---------|-------|-------|-------|---------|
| Éléments matériels | AT-Arrêt | % arrêt | AT-IP | % IP | Décès | % Décès |
| Manutentions manuelles | 39 905 | 34,5% | 2 115 | 29,3% | 3 | 2,1% |
| Accidents de plain-pied | 23 933 | 20,7% | 1 115 | 18,7% | 3 | 2,1% |
| Chutes de hauteur | 18 970 | 16,4% | 2 044 | 25,4% | 47 | 32,6% |
| Outils | 11 005 | 9,5% | 472 | 5,9% | 0 | 0,0% |
| Masses en mouvement | 7 780 | 6,7% | 450 | 5,6% | 13 | 9,0% |
| Machines | 4 832 | 4,2% | 464 | 5,8% | 1 | 0,7% |
| Véhicules | 1 888 | 1,6% | 223 | 2,8% | 18 | 12,5% |
| Manutention mécanique | 1 180 | 1,0% | 123 | 1,5% | 9 | 6,3% |
| Appareils divers | 964 | 0,8% | 43 | 0,5% | 2 | 1,4% |
| Engins de terrassement | 692 | 0,6% | 70 | 0,9% | 6 | 4,2% |
| Électricité | 219 | 0,2% | 26 | 0,3% | 5 | 3,5% |
| Divers et non classés | 4 258 | 3,7% | 274 | 3,4% | 37 | 25,7% |
| Total | 115 626 | 100% | 8056 | 100% | 144 | 100% |

Divers et non classés

concernent principalement les malaises.

3. Évolution du nombre d'accidents du travail

| Évolution du nombre d'accidents du travail dans le BTP | | | | | |
|--|-----------|----------|--------|---------------------------|-------|
| Année | Salariés | AT-arrêt | AT-IP | Jours IT (en milliers) | Décès |
| 1990 | 1 285 697 | 167 813 | 17 604 | 7 256 | 361 |
| 1991 | 1 295 128 | 171 604 | 17 822 | 7 646 | 313 |
| 1992 | 1 239 785 | 162 594 | 16 215 | 7 538 | 298 |
| 1993 | 1 146 924 | 142 255 | 13 751 | 6 785 | 256 |
| 1994 | 1 148 318 | 136 906 | 13 954 | 6 441 | 214 |
| 1995 | 1 140 404 | 133 632 | 14 639 | 6 414 | 189 |
| 1996 | 1 093 989 | 124 893 | 11 671 | 6 038 | 208 |
| 1997 | 1 055 448 | 119 013 | 10 449 | 5 778 | 176 |
| 1998 | 1 098 312 | 118 892 | 10 254 | 5 842 | 175 |
| 1999 | 1 120 880 | 119 828 | 9 882 | 5 838 | 155 |
| 2000 | 1 218 606 | 125 980 | 10 067 | 6 227 | 191 |
| 2001 | 1 239 277 | 124 305 | 9 101 | 6 361 | 176 |
| 2002 | 1 272 392 | 125 786 | 9 854 | 6 827 | 157 |
| 2003 | 1 306 410 | 119 681 | 9 797 | 6 905 | 181 |
| 2004 | 1 328 025 | 118 913 | 10 394 | 6 770 | 172 |
| 2005 | 1 397 103 | 122 356 | 10 550 | 6 364 | 103 |
| 2006 | 1 487 269 | 126 945 | 9 498 | 6 707 | 158 |
| 2007 | 1 562 956 | 131 253 | 9 621 | 6 874 | 184 |
| 2008 | 1 617 702 | 129 190 | 9 017 | 7 105 | 155 |
| 2009 | 1 584 916 | 120 386 | 8 712 | 7 010 | 141 |
| 2010 | 1 575 551 | 115 405 | 8 299 | 6 903 | 118 |
| 2011 | 1 582 891 | 115 626 | 8 056 | 6 907 | 144 |

4. Principales maladies professionnelles

| Principales maladies professionnelles dans le BTP : Année 2011 | | | | | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tab. | Libelle MP | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| 57 | Affections périarticulaires | 2159 | 2220 | 2146 | 2410 | 3218 | 3765 | 4522 | 4734 | 5174 |
| 98 | Affections du rachis lombaire/ charges lourdes | 419 | 368 | 326 | 349 | 401 | 430 | 513 | 471 | 582 |
| 79 | Lésions chroniques du ménisque | 125 | 134 | 132 | 119 | 180 | 176 | 200 | 208 | 252 |
| 30 | Affection/Amiante | 124 | 140 | 126 | 134 | 108 | 112 | 111 | 147 | 211 |
| 42 | Surdité | 108 | 127 | 138 | 126 | 156 | 135 | 166 | 131 | 139 |
| 97 | Affections du rachis lombaire/ vibrations | 61 | 60 | 58 | 57 | 51 | 50 | 72 | 61 | 73 |
| 30b | Cancer broncho-pulmonaire/ Amiante | 22 | 25 | 20 | 23 | 32 | 30 | 42 | 50 | 50 |
| 8 | Ciments | 129 | 91 | 93 | 62 | 80 | 67 | 63 | 47 | 31 |
| 69 | Vibrations et chocs/ Machines | 73 | 56 | 50 | 54 | 47 | 48 | 63 | 45 | 64 |
| 47 | Affections provoquées par les bois | 11 | 24 | 18 | 17 | 14 | 13 | 16 | 18 | 9 |
| | Ensemble des MP | 3315 | 3329 | 3179 | 3431 | 4376 | 4892 | 5851 | 6006 | 6585 |

Statistiques AT/MP du BTP

Source des tableaux : site web INRS <http://inrs.fr>

Machines

Les robots sont des machines, qu'en est-il des machines du BTP ? Globalement, depuis des décennies on retrouve les mêmes équipements (appareils de levage de charge et de personnes, ascenseurs de chantier, pelles hydrauliques, compacteurs, chargeuses, foreuses, bulldozer, niveleuses, bétonnières, machines à projeter...). Ces équipements s'ils ont énormément évolué en termes de performances et de confort d'utilisation, restent de même nature.

Il y a cependant des évolutions majeures, par exemple :

- certaines machines sont hautement automatisées, cas des tunneliers, dont certains, fonctionnant avec une grande autonomie, peuvent être considérés comme des robots (micro-tunneliers),
- une machine est désormais à même de poser automatiquement des pavés autobloquants en les déroulant un peu à la façon d'un tapis,
- ...

et parmi ces évolutions, il y a la robotique. Dans le cadre d'opérations pénibles, répétitives ou dangereuses ou encore pour permettre une meilleure précision du travail (et une meilleure rentabilité), différents robots sont déjà opérationnels, dont des RAP.

Ce sont des robots :

- de démolition et de sciage,
- nettoyeur-huileur de banches,
- ponceur,
- multiperforateur,
- copieur/tailleur de pierres,
- projeteur de béton,
- conducteur d'engins,
- d'intervention en sites hostiles,
- ...

Des fabricants de prototypes testent actuellement des exosquelettes. Hercule par exemple est un exosquelette français, projet de la DGA. Destiné aux militaires pour le port de charges (100 kg sur 20 km à 4 km/h avec sa batterie chargée) il servira aussi pour des applications civiles, l'aide à la marche des personnes âgées ou déficientes par exemple, et dans le BTP.

Des robots poseurs de pavés, de carrelage, de parpaings, de bitume ou intervenant en hauteur... feront probablement partie de la panoplie d'ici peu.

Les intempéries sont une préoccupation forte dans le BTP, ainsi que la lutte contre le vol d'engins et de matériaux. Les robots conçus pour intervenir malgré les intempéries et les robots de surveillance/gardiennage ont un véritable avenir dans ce secteur.

En France, le démantèlement des centrales nucléaires les plus anciennes offrira un marché important aux RAP. Les robots français d'intervention en milieu radioactif s'exportent déjà dans le monde entier.

Pour le soutien de la filière robotique en France et son émergence, Arnaud Montebourg, ministre du Redressement productif, a présenté un plan France Robots Initiatives lors du salon Innorobo à Lyon le 19 mars. Il s'agit d'un outil de financement à destination des start-up du secteur, et d'une aide financière aux PME pour qu'elles s'équipent.

Selon l'Usine Nouvelle : « "Bout à bout, les éléments de ce plan robotique pourraient mobiliser jusqu'à 100 millions d'euros", se félicite Bruno Bonnell. Pour lui, "c'est suffisant pour faire émerger la filière" et surtout "ce plan marque une vraie volonté politique". Certes, l'ambition affichée est forte : faire de la France un leader de la robotique de service d'ici à 2020. Et les priorités du plan assez claires : conforter et approfondir notre avance en matière de R&D ; soutenir l'émergence de nouveaux marchés ; favoriser les collaborations ; soutenir le développement des entreprises de la robotique. Mais fait-il le poids face aux plans robotiques de la Corée, de Taïwan ou des États-Unis, pour lesquels le discours de 2010 de Barack Obama en faveur de la robotique a marqué tous les esprits ? »³

Hypothèses

Hypothèse 1. Pas de développement significatif

Les groupes occidentaux perdent leur leadership, la Chine devient le leader mondial et utilise les ressources humaines au détriment des RAP. Les entreprises n'investissent pas dans le domaine.

Hypothèse 2. Déploiement dans le BTP

Le plan de relance permet aux entreprises d'investir dans les équipements à haute technologie, les entreprises investissent dans les RAP mais essentiellement les grands groupes.

Hypothèse 3. Déploiement très fort dans le BTP

Tous les éléments sont favorables, le coût financier et moral des ATMP incite les entreprises à utiliser les RAP soit en location soit en achat.

³ Sources

<http://www.francebtp.com/batiment/article/2010/06/02/41271/nos-robots-adressent-aussi-bien-aux-demolisseurs-aux-scieurs-professionnels.php>

<http://blog.bouygues-construction.com/4/les-chantiers-bientot-construits-par-des-robots/>

<http://www.batiweb.com/actualites/insolite/le-batiment-bientot-envahit-par-les-robots-16-03-2012-19789.html>

<http://www.batiweb.com/actualites/insolite/le-batiment-bientot-envahit-par-les-robots-16-03-2012-19789.html>

http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/robotique/d/hercule-lexosquelette-qui-donne-des-forces_41641/

http://lentreprise.lexpress.fr/trouver-un-financement/robotique-arnaud-montebourg-a-un-plan-pour-doper-la-filiere_39319.html

Défense, protection civile

Jérôme TRIOLET, INRS.

Définition et champ

Cette variable examine dans quelle mesure les secteurs de la défense et de la protection civile sont susceptibles de participer voire de tirer la demande en robots d'assistance physique.

Nous sommes là dans des secteurs où ce qui est attendu des robots d'assistance physique est essentiellement l'augmentation des performances d'une personne valide, pour permettre au combattant ou au secouriste d'effectuer sur la durée des tâches très exigeantes physiquement, voire impossibles sans RAP (notamment du port de charges), sans handicaper sa réactivité et sa capacité à combattre ou à agir.

Parallèlement, la robotique se développe dans ces secteurs pour soustraire le combattant ou le secouriste au risque en le remplaçant par un robot plus ou moins autonome. Ces applications, tels les drones de combat, s'éloignent alors de la définition de robot d'assistance physique retenue dans le cadre de cet exercice prospectif et elles ne seront évoquées dans cette fiche que comme éléments de contexte.

Indicateurs pertinents

L'impact des commandes militaires, tant en termes de programmes de recherches qu'en termes d'équipements apparaissant très supérieur à celui pouvant être généré par les préoccupations de sécurité civile, nous considérerons que c'est le secteur de la défense qui constitue le secteur clé à étudier dans cette fiche. En France, les pompiers de Paris ainsi que ceux de Marseille et les unités de sécurité civile sont d'ailleurs des unités militaires de l'arme du génie.

Rétrospective, situation actuelle et tendances

Depuis la fin de la guerre froide et sous l'impulsion nord-américaine, la tendance est à la réduction du format des armées occidentales (États-Unis et Europe occidentale), l'idée directrice étant de disposer de forces aux effectifs réduits mais supérieurement organisées et équipées, aux effets particulièrement létaux du fait d'une informatisation des unités et d'une numérisation du champ de bataille permettant de disposer en temps réel de toutes les informations nécessaires pour coordonner le mouvement et les feux avec une efficacité accrue.

Cette conception extrêmement technologique et réseau-centrée du combat se voit aujourd'hui mise en œuvre principalement à travers :

- le déploiement de véhicules robotisés destinés aux opérations d'observation, de déminage et de combat (7 000 véhicules robotisés sont aujourd'hui en service dans l'armée américaine¹, et les États-Unis produiront en 2014 plus d'avions de combat sans pilote que de chasseurs conventionnels²) ;
- des programmes dits de combattants du futur (combattants « augmentés ») tel le système français Félin (Fantassin à équipements et liaisons intégrés) qui entre en service progressivement dans l'armée française depuis septembre 2010 (plus de 22 000 systèmes commandés en 2009)³.

Une des conséquences de cette « augmentation » du combattant par la technologie, de cette « technologisation » du combattant, est un surcroît d'équipement et donc de charge à transporter (dispositifs électroniques et batteries assurant leur autonomie ; 4 à 6 kg selon les configurations avec le Félin). Si on rajoute ce poids à celui, cumulé, de l'armement, des munitions, des protections balistiques (certains modèles de gilet pare-balles peuvent peser jusqu'à 17 kg) et du barda traditionnel du soldat (permettant de boire, de manger et de se protéger des intempéries) on a pu observer lors des derniers engagements en Irak ou en Afghanistan que les Marines portaient en moyenne une charge de combat de 45 kg et une charge de 55 kg lors des marches d'approche, certains fantassins spécialisés servant des armes collectives (mitrailleuse ou missile antichar) pouvant porter quelque 70 kg⁴. En mars 2013 au Mali, la charge des parachutistes ayant traversé l'Adrar des Ifoghas par les crêtes en 4 à 5 jours de marche sous des températures dépassant les 40° C atteignait les 50 kg ! Cette charge constitue un véritable handicap, même pour des unités entraînées, face à des combattants locaux légèrement équipés et armés mais donc beaucoup plus mobiles, notamment en pays montagneux ou dans des conditions extrêmes.

¹ Loïc Tarento. Exosquelettes, de la fiction à la réalité – Vers une déshumanisation du système d'hommes, in *Défense & Sécurité Internationale* n° 91, avril 2013, pp. 98-102.

² Collectif. La robotique militaire. De la réalité aux fantasmes, in *Planète Robots* n° 20, mars-avril 2013, pp. 50-55.

³ Wikipédia, consulté le 11 avril 2013, Fantassin à équipements et liaisons intégrés, http://fr.wikipedia.org/wiki/Fantassin_à_équipements_et_liaisons_intégrés

⁴ Emmanuel Vivenot. Exosquelettes – Le fantassin d'après-demain, in *Défense & Sécurité Internationale* n° 89, février 2013, pp. 80-84.

Au plan macroscopique, on observe donc trois grandes tendances :

- une réduction du format des armées (encore amplifiée par les restrictions budgétaires actuelles) ;
- une volonté de compenser cette réduction de format par :
 - une « technologisation »/numérisation croissante,
 - de la robotisation,
 - la mise en place d'unités de combattants « augmentés » ;
- un alourdissement du soldat résultant en partie de cette « technologisation » limitant sa mobilité et sa capacité de combat une fois débarqué des véhicules blindés.

Les exosquelettes

C'est dans ce cadre que s'est développée aux États-Unis et en France la réflexion sur les exosquelettes avec le double objectif de permettre au soldat de porter plus et de gagner en mobilité. On est là résolument dans une approche d'augmentation des capacités humaines pouvant offrir de nouvelles opportunités à ceux qui la mettent en œuvre : *« L'approche de l'exosquelette consistera donc à augmenter, pour la première fois de son histoire, la capacité d'emport du fantassin en dépassant les contraintes du corps humain, afin de démultiplier ses capacités de manœuvre et, peut-être, d'offrir de nouvelles options tactiques au commandement »*⁵. On notera en passant combien ce discours peut être facilement transposable dans des entreprises à la recherche d'innovations susceptibles de leur donner un avantage compétitif. En poussant la réflexion plus loin, l'utilisation d'exosquelettes performants (pouvant compenser de 130 à 270 kg) pourrait même limiter le besoin en véhicules de soutien chargés du transport de matériel. À l'inverse, le besoin en énergie (et en recharges) généré, ainsi que l'encombrement des combattants équipés d'exosquelette nécessitera de repenser les véhicules de transport et de soutien de l'infanterie, comme la généralisation du Félin l'a récemment nécessité dans l'armée française (moins de combattants embarqués, ouvertures plus larges, nombreuses prises pour la recharge des dispositifs électroniques).

La France et les États-Unis sont aujourd'hui les pays où la réflexion sur les exosquelettes militaires est la plus avancée avec des prototypes proches de l'opérationnel dont le développement est soutenu respectivement par la DGA et la DARPA. Le Japon quant à lui s'est plutôt orienté vers des exosquelettes destinés à aider des personnes dont la mobilité est déficiente.

En France et aux États-Unis on semble s'orienter vers deux catégories d'exosquelettes à vocation militaire, tous commandés par les mouvements du porteur, ce qui limite les calibrages nécessaires pour les adapter à l'utilisateur et tend à les rendre facilement interchangeable d'un combattant à l'autre ; les exosquelettes américains sont mus par des actionneurs hydrauliques alors que les exosquelettes français sont mus par des moteurs électriques réversibles ce qui les rend plus « fluides » dans leurs mouvements⁶. Vu les utilisations pour lesquelles ils sont envisagés, leur maintenance doit être facile.

- La première catégorie est celle des exosquelettes « légers », combinant augmentation de la capacité de portage du porteur et autonomie permettant le combat. Aux

⁵ Emmanuel Vivenot, opus cité.

⁶ Loïc Tarento, opus cité.

États-Unis Lockheed Martin a développé le HULC, un exosquelette *lower body* pesant 23 kg et permettant d'emporter une charge utile de 110 kg paraissant en peser 11 pour le porteur avec une autonomie de 8 h de marche. Il pourrait être testé par l'armée américaine en Afghanistan dès le 1^{er} trimestre 2013. En France, la société RB3D a développé Hercule, un exosquelette *lower body* pesant 32 kg, ayant une autonomie de 5 heures et permettant de parcourir 20 km à 4 km/h avec une charge de 40 kg⁷. Son prix était estimé à 20 k€ en octobre 2011⁸.

- La seconde catégorie est celle des exosquelettes « lourds » destinés à faciliter/ permettre la manutention de charges lourdes dans les unités de soutien ou d'artillerie. Aux États-Unis, Raytheon propose ainsi le XOS2 un exosquelette *full body* permettant de marcher, courir et transporter des charges lourdes (jusqu'à 90 kg) ; son poids reste cependant élevé (68 kg), et son autonomie inexistante puisqu'il est dépendant d'un ombilic énergétique. En France RB3D prépare un démonstrateur baptisé Héraclès dont la capacité d'emport devrait être de 100 kg, destiné à une utilisation en manutention dans les unités de soutien mais aussi par les forces spéciales pour les missions nécessitant le port de charges lourdes sur de longues distances et en terrain difficile.

Toutes ces caractéristiques, ainsi que la robustesse et la maintenance aisée indispensables à une application militaire, font des exosquelettes développés pour les combattants des dispositifs intéressants pour l'industrie. Leur mise en œuvre civile est notamment envisageable dans toutes les tâches nécessitant le port de charges, afin de soulager les contraintes induites ou d'augmenter les capacités du porteur. Les fabricants et les pouvoirs publics ont bien identifié ce débouché civil. Ainsi, le développement d'Hercule bénéficie d'un financement dual, civil et militaire dans le cadre du dispositif Rapid⁹. La société RB3D¹⁰ se présente comme une société spécialisée dans la réduction des TMS et envisage la commercialisation de la version civile d'Hercule en 2015, une des premières applications mentionnée étant à destination des infirmières¹¹. Cette utilisation duale, militaire et civile est aujourd'hui explicitement envisagée¹² : « *Les exosquelettes sont donc bien une réalité : leur emploi pour des applications tant civiles que militaires sera effectif dans un avenir proche [...] les exosquelettes auront et devront avoir leur place dans nos armées, ainsi que dans la société civile.* »¹³ « *Porter un exosquelette du militaire au civil nécessitera un effort minime.* »¹⁴

Les autres robots d'assistance physique

En plus des exosquelettes, les armées occidentales réfléchissent au développement et à l'intégration dans les unités de combat de robots collaboratifs destinés à augmenter l'efficacité des combattants soit en transportant une partie de leur matériel (« mules » robotisées), soit en leur apportant des capacités sensorielles surhumaines « leur

⁷ Emmanuel Vivenot, opus cité.

⁸ <http://www.robotblog.fr/exosquelettes/hercule-lexosquelette-francais-3712> (consulté en mars 2013)

⁹ Régime d'appui pour une innovation duale

¹⁰ www.rb3d.com

¹¹ La robotique militaire. De la réalité aux fantasmes, opus cité.

¹² Pierre Tran, 28 mars 2013, Les exosquelettes arrivent dans les usines, www.UsineNouvelle.com

¹³ Loïc Tarento, opus cité.

¹⁴ La robotique militaire. De la réalité aux fantasmes, opus cité.

permettant de voir et savoir tout en restant à l'abri »¹⁵ (vision lointaine, de nuit, dans le brouillard, détection et identification de bruits lointains, détection et identification de substances/marqueurs chimiques...).

La DGA considère qu'un tel RAP doit avoir le niveau d'autonomie d'un mulet pour être capable d'accompagner le fantassin sans que celui-ci ait à le piloter, certains experts estimant qu'il doit occuper la place d'un combattant en s'intégrant à la manœuvre sur la base de consignes qu'il reçoit donc avec une autonomie plus ou moins grande selon les missions et selon les moments. En France, l'autonomie totale n'est aujourd'hui pas souhaitée par les militaires¹⁶. On est bien là dans l'esprit d'un robot collaborant étroitement avec une équipe humaine. Le *Legged Squad Support System (LS3)*, ou *Big Dog*, conçu aux États-Unis par la DARPA correspond tout à fait à ce type de machine : robot quadrupède, capable de transporter 400 kg sur une trentaine de kilomètres avec une autonomie de 24 heures (moteur thermique), il répond aujourd'hui aux ordres vocaux, en suivant des yeux le militaire qui le commande et en choisissant lui-même sa trajectoire¹⁷. Trente mois de développement restent encore nécessaires pour le rendre complètement opérationnel¹⁸. Le coût de sa centrale inertielle (50 000 €) rend cependant aujourd'hui le mulet beaucoup plus abordable.

En France, les militaires souhaitent garder le contrôle du robot et n'envisagent pas son autonomie complète, alors que les Américains seraient prêts à lui laisser plus d'autonomie¹⁹, motivés notamment en cela par leur volonté de conduire des guerres sans pertes américaines.

Prospective

Tendances

Au plan mondial, selon Research and Markets, le domaine militaire et celui de la sécurité devraient constituer les principaux moteurs de la forte croissance du marché de la robotique estimé à 30 milliards de dollars en 2016²⁰. En France, la défense et la sécurité constituent un des cinq domaines prioritaires du plan pour la robotique mis en place par le gouvernement français en mars 2013, et l'arrivée massive de robots sur les champs de bataille est considérée comme inéluctable par certains militaires²¹.

¹⁵ Daniel Brunet. Mieux définir les programmes de robotique militaire, in *Défense & Sécurité Internationale*, Hors-série n° 23, avril-mai 2012, pp. 68-72.

¹⁶ La robotique militaire. De la réalité aux fantasmes, opus cité.

¹⁷ <http://www.pcinpact.com/news/76328-ls3-robot-darpa-qui-suit-son-maitre-et-sait-se-relever.htm>

¹⁸ Collectif. Le LS3 s'en va-t-en guerre (bientôt), in *Planète Robots* n° 20, mars-avril 2013, p. 11.

¹⁹ La robotique militaire. De la réalité aux fantasmes, opus cité.

²⁰ Collectif. Le marché de la robotique devrait peser trente milliards en 2016, in *Planète Robots* n° 14, mars-avril 2012, p. 6.

²¹ Daniel Brunet, opus cité.

L'autonomie totale des robots militaires n'est pas aujourd'hui techniquement possible, et actuellement non souhaitée en France : « *le militaire veut garder le contrôle.* »²² Selon Nexter, « *L'approche française se dirige vers une démarche progressive partant de petits robots, avec une moins grosse empreinte dans la doctrine et s'adaptant aux missions, en étant un prolongement des sens du combattant. C'est une automatisation progressive des moyens.* »²³

On s'oriente ainsi en France vers une robotisation progressive des armées en collaboration avec l'homme, c'est-à-dire avec le développement de RAP. Cette vision française est notamment due à la nature des conflits envisagés dans les prochaines décennies et que l'on imagine de faible intensité ; ceci sur la base de ceux dans lesquels les armées occidentales ont été engagées depuis la chute du mur et, surtout, après le 11 septembre 2001. Dans de tels conflits au contact de populations dont il faut se faire accepter, il apparaît essentiel de garder un visage humain aux soldats.

Les tendances sont donc :

- le développement de la robotique militaire au niveau mondial ;
- en France, un développement essentiellement orienté vers la robotique collaborative, dans le but d'augmenter les capacités des combattants humains. Dans ce cadre, les exosquelettes sont pour demain.

Incertitudes majeures ?

La question de la fiabilité absolue du RAP et de son logiciel se pose. Les algorithmes commandant les exosquelettes nécessitent encore des améliorations pour assurer une complète fluidité des mouvements dans toutes les situations. Les militaires considèrent aujourd'hui que la fiabilité des autres RAP (hors exosquelettes) n'est pas suffisante²⁴. Certains manquent par ailleurs de discrétion à cause du bruit qu'ils émettent. Des progrès sont indispensables pour que le combattant puisse faire confiance au robot comme à un camarade. Cependant, il ne fait guère de doute que cette fiabilité va progresser considérablement sur la durée retenue dans le cadre cet exercice prospectif, l'incertitude demeurant sur la vitesse de progression.

Paradoxalement, l'amélioration de la fiabilité permettrait d'augmenter l'autonomie des robots, et ce jusqu'à pouvoir éventuellement se passer d'humains, les robots autonomes ne commettant plus qu'un pourcentage « acceptable » d'erreurs restant d'ailleurs à définir.

Facteurs de rupture ?

Un changement de la nature des conflits, avec la réapparition de conflits de haute intensité dans lesquels :

- les effectifs réduits des armées occidentales ne suffiraient pas ;
- des batailles impliquant des robots autonomes, voire des combats de robots, seraient envisageables ;
- d'autant plus que les pertes induites par de tels conflits semblent aujourd'hui totalement inacceptables pour les sociétés occidentales.

²² ²³ ²⁴ La robotique militaire. De la réalité aux fantasmes, opus cité.

Une intégration croissante Europe/États-Unis dans le cadre de l'OTAN et dans un but de mutualisation des efforts de défense aboutissant à un gommage des différences actuelles de concept d'emploi des robots, à une hégémonie doctrinale nord-américaine et à une robotisation autonome massive des armées, évolution envisagée dès aujourd'hui aux États-Unis.

Les capacités des robots de combat autonomes développés par d'autres puissances militaires, surpassant celles d'hommes « augmentés », conduisant inéluctablement au développement de robots de combat autonomes et à la marginalisation des combattants « augmentés ».

Hypothèses

Hypothèse 1

Développement massif des exosquelettes dans les armées occidentales avec le développement d'unités de soldats « augmentés », et un développement faible à modéré des autres robots collaboratifs. Pour des raisons de fiabilité, d'éthique et de doctrine militaire adaptée à des conflits de faible intensité, le pas vers la déshumanisation du champ de bataille n'est pas franchi.

=> Les commandes militaires constituent un moteur pour le développement des RAP et surtout d'exosquelettes.

Hypothèse 2

Robotisation autonome à outrance de l'ensemble des armées occidentales rendue rapidement possible du fait des progrès technologiques et en réaction à réapparition sur le globe d'un ou de plusieurs conflits de haute intensité. Rôle secondaire résiduel du combattant humain, probablement « augmenté ».

=> Les commandes militaires servent de moteur à la robotique mais sans passer (ou presque) par l'étape RAP.

Hypothèse 3

Dans un premier temps, développement parmi les armées occidentales d'armées faisant le choix des combattants « augmentés » à l'aide de RAP, d'autres évoluant vers la robotisation autonome. La mise en service, progrès technologique aidant, de robots de combat autonomes et fiables par les secondes entraînant, dans un deuxième temps, soit le basculement des premières vers la robotisation autonome à outrance, soit le maintien en parallèle dans ces armées d'unités de combattants « augmentés » et d'unités de robots autonomes aux missions distinctes.

=> Les commandes militaires servent de moteur à la robotique en incluant le développement des exosquelettes et autres RAP dans une première étape.

Aide à la personne (domicile et établissements)

Carole GAYET, INRS.

Définition

Il s'agit d'envisager si le secteur de l'aide et du soin à la personne, à domicile, en établissement, en France et peut-être dans le monde (effet levier) pourrait avoir un besoin tel de RAP qu'il puisse avoir une incidence sur leur développement d'ici 2030. Une autre question qui en découle au-delà du besoin est de savoir quel financement y serait associé.

Rétrospective

À ce jour le secteur peine à utiliser les aides techniques car l'aide technique est associée dans l'esprit de ses utilisateurs à une perte d'autonomie, au handicap. Les aides techniques utilisées sont plutôt rudimentaires (cane, cannes anglaises, barre de soutien...).

Globalement, et de manière accentuée dans le secteur de l'aide, elles sont mal connues, mal prescrites, mal appréhendées.

Dans d'autres pays, elles sont plus implantées. Pour autant cela n'a eu aucun impact sur les comportements en France.

L'étude TNS Sofres pour la Commission européenne publiée en septembre 2012 sur les attitudes du public envers les robots, indique que les citoyens de l'UE considèrent que les robots doivent être interdits dans les soins aux enfants, aux personnes âgées ou aux personnes handicapées (60 %) et dans le secteur de la santé (27 %).

Les plans de développement des services à la personne ont visé essentiellement le déploiement de l'emploi dans ce secteur sans imaginer qu'il puisse être consommateur de RAP.

Pourtant, paradoxalement, les RAP sont présents sur tous les salons en lien avec ce secteur : Maison du futur lors des salons des services à la personne / Solulo, Geront Expo – Handicap Expo, Hôpital Expo... La Commission européenne estime quant à elle que le marché de la robotique de services (robots domestiques, de loisir, d'assistance à la personne et à l'éducation...) pèse 3,3 milliards de dollars et pourrait atteindre 100 milliards en 2020 et ce marché sera multiplié par 30 en dix ans. Et certains RAP comme le robot aspirateur connaissent un succès phénoménal à domicile.

Le plan France Robots Initiatives (FRI) évoque le secteur de l'aide à la personne parmi les axes prioritaires de déploiement. Il consacre même un encart à « Robotique et autonomie » précisant « *Ils (les robots) allègent les aidants des tâches les plus fastidieuses qui peuvent dès lors se consacrer plus à la personne* ». En effet, le vieillissement de la population et la pénurie croissante de personnel en établissement comme à domicile pourraient avoir comme répercussion une compensation par le recours à des robots d'assistance physique. Avec toutefois le risque de se heurter aux manques de moyens des bénéficiaires. Le plan FRI devra donc être complété par une solvabilisation de la demande. Ce point n'est pas évoqué dans le plan FRI.

Il ne l'est pas non plus dans le rapport Broussy sur l'adaptation de la société française au vieillissement de sa population qui aborde le point des technologies de l'autonomie comme piste de solution. Cette piste de solution sera-t-elle retenue dans le cadre du projet de loi sur l'autonomie ?

La *silver economy*¹, filière créée par le ministère du Redressement productif et celui dédié aux personnes âgées et de l'autonomie, intégrera-t-elle les RAP ? Un lien est mentionné en théorie avec le plan FRI.

Il faut savoir que le groupe Tokai Rubber Industries et l'institut de recherche public japonais Riken ont présenté en mai 2013 la nouvelle version du robot infirmier Riba II qui guidé par un soignant peut soulever des patients de 80 kilos et qui est annoncé pour être proposé dès 2015 aux maisons de retraite qui subissent comme en France la pénurie de salariés. Le gouvernement devrait consacrer 20 millions d'euros de subventions en 2013 aux travaux d'entreprises travaillant sur ces robots, espérant par ce financement faire baisser leur prix pour amorcer une demande de masse. Le Japon inclurait même la prise en charge dans la couverture sociale pour inciter les établissements à investir en location. Le gouvernement compte sur un marché de 3 milliards d'euros. Les entreprises se lanceraient ensuite à la conquête des marchés chinois ou de la Corée du sud (article dans Les Échos, La robotique intégrée à la stratégie de croissance, 22 mai 2013).

Toyota est également très intéressé par le marché de l'aide à la personne avec sa gamme Robot Partner sur laquelle il travaille depuis 2007.

Plus près de nous, le groupe français RB3D envisagerait lui aussi une utilisation de son exosquelette Hercule par les infirmiers.

¹ La *Silver Economy* regroupe toutes les entreprises agissant pour et/ou avec les personnes âgées. Création de services personnalisés, de technologies pour l'autonomie... (extrait site internet du ministère du Redressement productif)

Tendances, facteurs et acteurs

Tendance lourde : peu ou pas d'utilisation de RAP.

Aidants et soignants sont souvent réticents car ils ont le sentiment de perdre le contact humain. Mais ces premières réticences passées, patient et soignant découvrent souvent l'avantage d'une qualité de manutention moins douloureuse pour l'un comme pour l'autre.

Les syndicats, les pouvoirs publics, ont un rôle à jouer pour informer et banaliser.

La sécurisation de la traçabilité des dispositifs médicaux et aides techniques est en cours de renforcement suite aux affaires du Médiateur, de la pilule de 4^{ème} génération, des prothèses PIP, prothèses de hanche...

Faire connaître les aides techniques ne suffit pas ; encore faut-il que l'aidant y ait été formé, qu'il ait été accompagné dans leur utilisation mais aussi qu'elles soient rendues plus attractives pour chacune des parties, par exemple en en faisant des objets de design (coloris, lignes, notamment, tel le déambulateur Starck).

Les aides techniques existantes ne couvrent pas tous les besoins des aidés ni tous ceux des aidants. Les fabricants seront-ils intéressés à concevoir des RAP adaptés ?

2 millions de salariés du régime général travaillent dans l'aide et le soin à domicile. 1 million de salariés relevant du régime général travaillent dans des établissements sanitaires et médico-sociaux publics ou privés (hôpitaux, cliniques, maisons de retraite...). Cette population est très féminisée.

Il y a/aura de plus en plus de personnes en demande d'aide et de soins à domicile et en établissement : vieillissement de la population qui souhaite rester à domicile, développement du travail des femmes avec des besoins de garde d'enfant qui ne sont pas couverts par l'offre proposée... D'après les hypothèses d'un scénario intermédiaire, le nombre de bénéficiaires de l'allocation personnalisée d'autonomie (APA) pour la France métropolitaine doublerait entre 2010 et 2060 (chiffres Drees et Insee) : il passerait de 1,15 million en 2010 à 2,3 millions en 2060 avec une constante d'un peu plus de 30 % de GIR 1-2 (groupe iso-ressources correspondant aux personnes avec le plus grand niveau de dépendance).

Il apparaît nécessaire de développer l'utilisation des aides techniques, dont les RAP, au bénéfice de l'aidé ou du patient, qu'il souhaite continuer à vivre chez lui ou qu'il soit en établissement. Il s'agit de faciliter la tâche des aidants et soignants. La finalité est essentiellement de pallier le manque de personnel et de prévenir les troubles musculo-squelettiques pour ceux qui sont en poste.

En effet, la sinistralité du secteur dépasse celle de l'ensemble des salariés ou du BTP.

Aide et soins à domicile : 375 000 salariés, 17 900 AT dont 32 % sont des accidents de plain-pied. 916 MP dont 41 % syndrome du canal carpien, et 25 % épaule douloureuse².

Établissements sanitaires et médico-sociaux : 1,3 million de salariés, 62 859 AT dont plus de 30 % d'accidents de plain-pied, et plus de 30 % (37 % 851AA) dus à la manutention des personnes³.

² [Sinistralité 2008 des structures d'aide et de soin à domicile \(SASAD\)](#), CNAMTS, DRP, Mission statistiques

³ [Sinistralité 2010 CNAMTS numéros de risque 751AE+851AA+853AA](#) CNAMTS, DRP, Mission statistiques

Dans la fonction publique hospitalière, les arrêts maladie ont augmenté de 10 % en 5 ans, le nombre d'AT est resté stable mais leur durée a augmenté de 22 %. Ce phénomène est lié au vieillissement et à la pénibilité^{4 5}.

Selon les chiffres de la Dares de mars 2012⁶, à l'horizon 2020, les métiers d'assistance aux personnes conjugueront fortes créations d'emploi (350 000) et départs en fin de carrière conséquents. Avec quels moyens les structures pourront-elles recruter ? Pour les aides à domicile, plus de 300 000 postes seraient à pourvoir pour compenser les départs à la retraite ou occuper des emplois supplémentaires (50/50).

La réforme de la dépendance et de l'autonomie, repoussée de gouvernement en gouvernement et de semestre en semestre, suffira-t-elle à solvabiliser le secteur ? Qui paiera les RAP ? L'aidé, l'aidant ?

Prospective

Déterminants de l'évolution future

Les tendances du passé ne peuvent-elles que se poursuivre ?

Il existe une tendance très lourde de réticence à l'utilisation des aides techniques et de manque de moyens : dégradation des financements publics, des moyens des acteurs publics et privés du secteur, du pouvoir d'achat des bénéficiaires. On ne parle donc même pas des RAP...

Existe-t-il des facteurs de ruptures des tendances du passé ?

Il n'existe pas de facteur de rupture dans les comportements du secteur à l'égard des aides techniques, sans même parler de RAP. Avec peut-être un léger bémol concernant les établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (Ehpad), incités depuis quelques années à s'équiper par exemple de rails plafonniers par les services prévention des caisses régionales d'assurance retraite et de santé au travail (Carsat) ou le fonds de prévention de la Caisse nationale de retraite des collectivités locales et de la fonction publique hospitalière (CNRACL).

Le lancement de la filière industrielle *Silver Economy* apparaît bien structuré. Il intègre la robotique de l'autonomie. S'agit-il de RAP ? Un collectif d'une centaine de personnes a été constitué réunissant entreprises, syndicats, économistes, financeurs... Ils ont identifié des freins au développement : l'offre, la demande, la distribution, l'organisation, le financement en fonds propre, la communication, la labellisation. Ils ont aussi proposé un plan d'actions visant notamment à lever ces freins. Parmi lesquels l'orientation des jeunes

⁴ [Regard sur...les absences pour raison de santé dans les collectivités territoriales](#), mai 2012, Étude SOFCAP

⁵ [Regard sur...les absences pour raison de santé dans les établissements hospitaliers](#), mai 2012, Étude SOFCAP

⁶ Dares. Analyses n°022, [Les métiers en 2020 : progression et féminisation des emplois les plus qualifiés ; dynamisme des métiers d'aide et de soins aux personnes](#).

vers cette filière, l'implication des aidants et des professionnels dans la conception de nouvelles solutions technologiques et de services, le développement des moyens de formation pour le personnel de santé aux technologies de l'autonomie...

Le gouvernement avec son plan FRI affiche également son souhait que le secteur de l'aide à la personne soit un débouché privilégié pour développer le secteur de la robotique.

Un facteur de rupture possible : la pénurie d'aidants face aux besoins d'aide grandissant, leur nombre ne suffira pas à faire face aux besoins des aidés. En France, les personnes âgées de 60 ans et plus, au nombre de 15 millions aujourd'hui, seront 20 millions en 2030. Le nombre de personnes âgées de 85 ans et plus sera multiplié par près de 4 en 40 ans passant de 1,4 à 4,8 millions d'ici à 2050.

Le secteur est en tout cas une cible, notamment pour les fabricants japonais comme Toyota avec sa gamme de robots Partner ou le groupe Tokai Rubber Industries avec Riba II son robot infirmier.

Infléchissements des tendances ?

Non pour ce qui est des réticences à l'utilisation des aides techniques, *a fortiori* des RAP, et non pour ce qui est de la solvabilisation de la demande.

Parallèlement, le secrétaire général du syndicat de la robotique de service professionnel et personnel (Syrobo), par ailleurs co-fondateur du fonds d'investissement, considère que la population d'un côté et les compétences techniques de l'autre sont à un stade propice à la prise du virage de l'utilisation des RAP, mais qu'il faut pour cela que la France soit en capacité de faire passer la robotique de service du stade de la recherche à celui de la mise en pratique.

Hypothèses

Hypothèse 1. Robots domestiques uniquement

Cette hypothèse correspond à la situation actuelle. Les robots domestiques (aspirateurs, laveurs de sol ou de vitres, repasseurs...) connaissent un engouement⁷ de la part des particuliers à leur domicile. Il ne semble pas y avoir d'obstacles à ce que cela continue. Pour autant ce type de robots n'est pas nécessairement un RAP puisqu'il est très autonome au même titre que beaucoup d'autres appareils électroménagers.

RAP +

Hypothèse 2. Robotisation modérée restreinte aux établissements (exosquelette aidant, robot mobilisateur aidé, exosquelette aidé)

La nouvelle tendance en France est d'essayer d'enrayer le retard pris dans le développement du secteur de la robotique. Parmi les axes prioritaires de déploiement : l'assistance à la personne. Mais le comment n'est pas encore connu à ce jour.

⁷ 130 000 robots aspirateurs vendus en France en 2011, les ventes ont ainsi triplé en 2 ans

Est-ce que les pouvoirs publics iront jusqu'à solvabiliser la demande comme au Japon (cf. article Les Échos mentionné ci-dessus) et sensibiliser l'opinion à l'usage des RAP en général et notamment des technologies de l'autonomie des personnes en particulier à travers des campagnes d'information, de sensibilisation, de banalisation ? Le gouvernement a lancé fin avril la filière de la *Silver Economy* et annoncé la constitution d'un comité de filière, qui aura pour objectif d'aider au développement de ce secteur.

La société RB3D qui se positionne clairement pour la prévention des TMS affiche tout aussi clairement s'adresser au secteur médical : dispositifs médicaux pour faciliter le travail des soignants, dans les hôpitaux et établissements de soins, mais aussi dans le registre de la cobotique, des solutions innovantes pour de futurs équipements d'assistance aux efforts ou de rééducation des patients. La DGA qui co-finance l'exosquelette Hercule conçu par RB3D évoque même pour 2015 qu'il puisse être utilisé par les infirmiers.⁸

Toyota a déjà conçu un déambulateur dans sa gamme Toyota Robot Partner, qui en complément d'un soignant/aidant permet les transferts lit/fauteuil, fauteuil/toilette.

RAP ++

Hypothèse 3. Développement de masse : établissements et domicile

Le Syrobo considère que si les fabricants sont capables de concevoir des RAP répondant à des besoins, conçus dans l'unique but d'assister l'humain et non de le remplacer, et que le mythe du RAP/robot humanoïde est cassé, les RAP pourront se développer notamment dans le secteur de l'aide à la personne.

RAP +++

⁸ Collectif. La robotique militaire. De la réalité aux fantasmes, in Planète Robots n° 20, mars - avril 2013, pp. 50-55

Robotique et santé

Charles FATTAL, CEN-Robotique.

Définition de la variable

La robotique d'assistance physique appliquée à la santé a bénéficié ces dernières décennies, à l'instar des autres secteurs, de l'essor de l'informatique et de la convergence des applications cliniques et des nouvelles technologies comme les nanotechnologies, l'ingénierie des matériaux et les technologies d'information et de communication. Dans un contexte socio-économique fragile et face à une demande croissante de rationalisation des coûts liés à la santé, les états généraux de l'industrie en 2010 se sont intéressés à des secteurs susceptibles de porter durablement la croissance et l'emploi et de promouvoir l'innovation et la compétitivité des entreprises. La robotique en général, la robotique d'assistance physique en particulier, en font partie et sont présentées comme des possibles leviers de croissance. En effet, en mettant en œuvre de nombreuses technologies, la robotique touche de très nombreux secteurs.

Dans le milieu de la santé, la robotique d'assistance physique a pour cible **l'assistance aux professionnels de santé en milieu hospitalier**, pour la distinguer de la robotique d'aide à la personne et aux aidants en milieu domestique. Elle porte sur des applications très diverses :

- **médico-chirurgicales :**
 - l'assistance à la précision du geste chirurgical :
 - à visée diagnostique (biopsie chirurgicale, imagerie couplée à la robotique type échographie, endoscopie télé-opérée, laparoscopie),
 - à visée thérapeutique (assistance à la chirurgie, assistance à l'anesthésie),
 - l'assistance à la rééducation ;
- **médico-techniques :**
 - l'assistance dans le transport de prélèvements biologiques,
 - l'assistance aux analyses biologiques,
 - l'assistance de l'infirmière dans la préparation des médicaments.

La robotique d'assistance à la surveillance de patients, l'assistance de l'aide soignant dans les tâches répétitives et pénibles et les applications de robotique ambiante (lit médicalisé semi-robotique) sont des applications prometteuses mais encore confinées à un champ expérimental. Il en est de même pour l'assistance à l'implantation de bioprothèses et de nano-robots. Toutes ces applications sont en quête d'une validation de leur pertinence et de leur intérêt cliniques.

En termes nosologiques, ces robots sont souvent associés à la robotique de services professionnels et se distinguent de la robotique de service, personnelle et domestique (*Étude Work Robotics 2009*).

Indicateurs pertinents

L'approche prospective de la place occupée par la robotique d'assistance physique en milieu de santé à l'horizon 2030 suppose de prendre en compte les réalités suivantes :

- les coûts liés à la santé et à la démographie,
- les postes de dépenses de santé les plus importants,
- les données démographiques propres aux personnels médical et soignant,
- l'évolution du marché des dispositifs médicaux en France et dans le monde,
- l'évolution du marché de la robotique d'assistance physique en France et dans le monde.

Rétrospective et situation actuelle

Une réalité médicale chronique

Au développement technologique des applications santé de la robotique médicale s'associe un contexte médical particulier dominé :

- par une démographie médicale à la baisse face à une poussée démographique de la population et un vieillissement galopant de la pyramide des âges,
- par une exigence plus importante de qualité du service médical rendu,
- par l'augmentation du nombre de maladies chroniques, liée en même temps au vieillissement et à l'amélioration des soins médicaux.

Les maladies chroniques concernent en France près de 15 millions de personnes, dont une grande majorité de seniors. Neuf millions d'entre eux bénéficient d'une prise en charge à 100 % en ALD (affection longue durée) et représentent 60 % des dépenses de santé. Le coût des ALD a été estimé à 65,5 milliards en 2009.

Dans ce contexte, l'augmentation de la masse critique des examens réalisés est inéluctable et a déjà conforté l'introduction dans les établissements des nouvelles technologies parmi lesquelles on compte désormais des robots et autres systèmes automatisés. Ils permettent de réaliser plus de tests, d'un plus grand niveau de complexité et de précision et requérant moins de personnel, mais un personnel plus qualifié. La robotique d'assistance se présente à ce niveau comme une réponse à l'augmentation des besoins de santé.

Les coûts liés à la santé sont dominés en France par les soins hospitaliers qui correspondent à près de 44 % de la consommation des soins et de biens médicaux.

Si on regarde l'échelle des coûts en soins hospitaliers par pathologie, les données françaises estimées en 2009 montrent la répartition suivante en milliards € (voir tableau page suivante).

Si l'on décompose ces coûts, les deux postes de dépense les plus lourds sont la prise en charge médicale (38,2 %), et le médico-technique (19,7 %) laissant supposer que les innovations technologiques doivent être orientées en priorité vers ces secteurs pour offrir la plus-value médico-économique attendue.

Des politiques de maîtrise des coûts « non maîtrisées »

Face à l'accroissement des besoins en santé, la réforme de l'Assurance maladie initiée en 2004, la proposition en 2007 de créer un bouclier sanitaire pour maîtriser le reste à charge des ménages ainsi que toutes les réformes et adaptations de la gestion des maladies chroniques dans le cadre des ALD se sont soldées par un échec et renvoient à la nécessité de penser la réorganisation des soins et de la prise en charge médicale sous d'autres angles parmi lesquels l'innovation technologique au service de l'amélioration du diagnostic et du traitement compte désormais.

Le marché global des dispositifs médicaux

La robotique d'assistance appliquée à la santé regroupe une majorité de dispositifs conformes à la définition du code de santé publique (article R. 665-6), qui les rangent dans la gamme des dispositifs médicaux (DM) de classe IIa correspondant aux DM invasifs utilisés en continu entre 1h et 30 jours et les dispositifs chirurgicaux destinés à un usage temporaire.

Seuls les robots d'application non clinique mais utilisés en milieu de santé sortent de cette définition et ne sont pas des DM à proprement parler (robots de distribution des médicaments, robots de transport des prélèvements par exemple).

Les technologies médicales, de manière générale, ont été marquées par un essor considérable durant les six dernières décennies, entre 1980 et 2000 pour l'imagerie (CT-Scan, IRM...) et les prothèses et entre 2000 et 2013 pour la robotique médicale. Ce marché (tous produits confondus) estimé, à l'échelle mondiale, en 2008 à 167 milliards € (2 fois plus qu'en 2001) a avoisiné en 2009 les 220 milliards € dont 80 % dans les Amériques et en Europe. La croissance de ce marché des DM serait proche de 5 à 6 % /an. La France se situe en 4^{ème} position avec une part de marché de 3,8 %.

| | | Marché (millions de \$US) | Part de marché (%) |
|-------------|-------------|------------------------------|-----------------------|
| 1 | Etats-Unis | 91 316 | 40,7 |
| 2 | Japon | 22 721 | 10,1 |
| 3 | Allemagne | 18 147 | 8,1 |
| 4 | France | 8 625 | 3,8 |
| 5 | Italie | 8 004 | 3,6 |
| 6 | Royaume-Uni | 7 628 | 3,4 |
| 7 | Chine | 6 161 | 2,7 |
| 8 | Espagne | 4 887 | 2,2 |
| 9 | Canada | 4 757 | 2,1 |
| 10 | Suisse | 4 063 | 1,8 |
| Sous-total | | 176 309 | 78,6 |
| Total monde | | 224 103 | 100 |

Source : The World Médical Markets fact book, Espicom Business Intelligence, 2009, Traitement par l'OMS

En 2009, la France a vu son marché des dispositifs médicaux s'essouffler, estimé par Oséo à 6 milliards €, marqué par un recul 2,7 % par rapport à 2008 après 4 années de croissance à 5-6 % /an. L'érosion s'est portée surtout sur le marché de l'imagerie, corrélé au ralentissement des exportations vers les États-Unis et reflétant la difficulté pour des produits concurrentiels et non des produits de niche à pénétrer le marché américain

Pour tous les autres pays, seuls les marchés de pays à forte démographie, à forte espérance de vie ou engagés dans la modernisation de leurs établissements et équipements, offrent des promesses de pénétration potentielle du marché par les dispositifs exportés de France. Il s'agit de pays comme l'Australie, les pays en voie de développement ainsi que la Chine.

Le marché de la robotique appliquée à la santé

Il existe en 2013, deux marchés correspondant à plusieurs applications distinctes et concrètes de la robotique.

L'un est un marché existant

Depuis une dizaine d'années, il a vu se développer la robotique de transport de prélèvements, d'analyse biologique des prélèvements et de la préparation des médicaments.

L'autre est un marché émergent

Il est représenté par la robotique médico-chirurgicale.

- La **robotique d'assistance à la rééducation**, qui investit peu à peu les plateaux techniques des centres de rééducation fonctionnelle et s'inscrit dans l'optique d'assister kinésithérapeutes et ergothérapeutes à développer des programmes de rééducation de la marche et/ou de la préhension, autonomes pour limiter l'intervention du thérapeute, gradués avec un retour d'information pour le patient, très utiles pour stimuler la motivation et guider la progression. Elle est, pour l'instant, reléguée à un marché de niche mais devrait se développer pour répondre aux réductions des taux d'encadrement pour la prise en charge kinésithérapique dans les établissements de soins de suite et de réadaptation.

- **La robotique d'assistance à la chirurgie mini-invasive**

Elle a pour objectif de permettre des interventions exigeant un grand niveau de précision tout en réduisant leur caractère invasif. Cette robotique offrirait aujourd'hui de vraies promesses pour les deux raisons précitées. Elle a fait un bond en avant entre 2000 et 2001 en passant d'un marché annuel mondial de 0,8 à 3,2 milliards € pour représenter 80 % des ventes mondiales de robotique.

L'évolution et l'estimation du marché mondial de la robotique médicale 1999-2005 sont tracées dans le tableau suivant :

| | En milliards € |
|------|----------------|
| 1999 | 0,4 |
| 2000 | 0,8 |
| 2001 | 3,2 |
| 2002 | 5 (est.) |
| 2005 | 11 (est.) |

Source : Compilation CROCIS d'après Theta Report, NewYork, 2002.

C'est par contre un marché encore confiné puisqu'il ne se développe actuellement que dans quelques pays (grandes villes des États-Unis, grandes capitales européennes, du Japon et de la Corée). *Source : Compilation CROCIS d'après Theta Report, New York, 2002.*

Aujourd'hui, les robots chirurgicaux coûtent entre 1,5 et 2 millions \$US à l'achat et environ 150 000 \$US de maintenance par an, car les outils chirurgicaux montés sur ces machines ont une durée de vie (nombre de re-stérilisation) limitée. Ainsi, avec une durée de vie de 5 ans, de telles machines font monter le coût d'une opération aux alentours de 2 000 \$US.

La robotique d'assistance à la chirurgie a longtemps été dominée par un chef de file, le robot Da Vinci utilisé aux États-Unis pour le traitement chirurgical d'un grand nombre de cancers. Il n'est plus tout seul aujourd'hui puisque moins de 10 dispositifs différents l'ont rejoint. Actuellement, 66 robots Da Vinci sont installés dans les hôpitaux et cliniques hexagonaux, dont 15 en région parisienne. MedTech a vendu 14 robots Rosa, dont la moitié en France, le reste se répartissant entre l'Amérique du Nord, la Chine et l'Europe.

Prospective

La filière des dispositifs médicaux dans son ensemble

Elle apparaît aujourd'hui assez bien consolidée grâce à la multiplication d'accords et de coopérations interentreprises qui assurent la pérennité des dispositifs.

Elle est soutenue par la consommation de soins et de biens médicaux qui a progressé de plus de 50 % entre 2000 et 2010 en raison de plusieurs facteurs dominés par le vieillissement démographique, l'amélioration de la prise en charge des dépenses, l'augmentation du nombre de maladies chroniques, la restructuration des plateaux hospitaliers, le manque de personnel médical, la convergence technologique santé-TIC...

Elle pourrait par contre être freinée par les objectifs de maîtrise des dépenses de l'Assurance maladie, la professionnalisation de la fonction achats au sein des hôpitaux, via des partenaires privés ou des groupements hospitaliers augmentant le pouvoir de négociation et tirant ainsi les prix vers le bas, et enfin par une offre à bas prix issue de pays en voie de développement. Ce constat vaut pour les dispositifs les moins techniques et ne concerne assurément pas la robotique médicale.

Dans ce contexte, la croissance mondiale estimée en 2008 et attendue pour 2013 était de 6,6 % en 2012 et de 6,4 % en 2013 (7,6 % en Europe de l'Ouest). Entretemps, un vent de récession s'est abattu !

La filière de la robotique médicale en particulier

En partant du postulat que la chirurgie mini-invasive servie par de la robotique, ne correspondrait qu'à une petite part des 15 millions d'interventions chirurgicales pratiquées chaque année dans le monde, la même source citée ci-dessus estime que, dans une optique de réduction des coûts liés à la santé, la robotique pourrait réduire jusqu'à 60 % le coût des interventions (diminution du nombre d'intervenants et d'autres ressources utilisées). Ainsi sur les 42 milliards € consacrés par an à plus de 800 000 chirurgies cardiaques aux États-Unis et en Europe, les 2/3 pourraient être ainsi réduits et affectés ailleurs, grâce à la robotique médicale. *Source : Compilation CROCIS d'après Theta Report, New York, 2002.*

Un marché centralisé. Avec son réseau de centrales d'achats hospitalières et de cliniques comme clientèle de base, la région Ile-de-France représente environ 45 % des ventes nationales en matière de robotique médicale, avec tout d'abord les activités de prestations en télé-chirurgie cardiaque, neurologique et ophtalmologique et ensuite la robotique d'analyse biologique, pour un marché évalué en 2001 à 30 millions d'euros (produits et services).

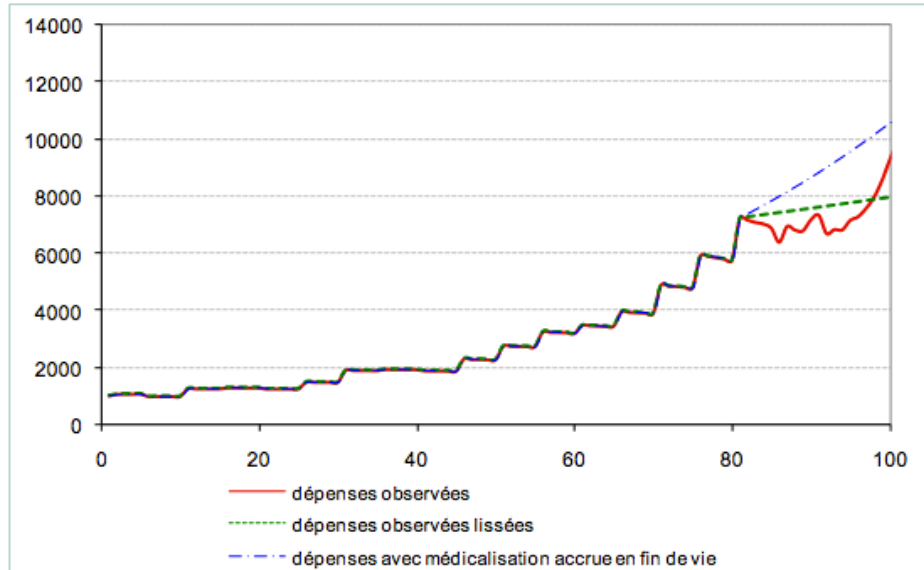
| Évolution du nombre d'entreprises prestataires présentes ou représentées liées au secteur de la robotique médicale en Ile de France (1995-2002) | |
|--|----|
| 1995 | 6 |
| 1996 | 9 |
| 1997 | 15 |
| 1998 | 22 |
| 1999 | 31 |
| 2000 | 42 |
| 2001 | 48 |
| 2002 | 49 |

Source : enquête CROCIS 2002

La combinaison de la télé-chirurgie robotisée avec les nanotechnologies devrait bientôt déboucher sur des machines microscopiques œuvrant directement au sein du corps humain (microsystème à forte autonomie type mini capsules ingérables..).

Le poids des dépenses de santé

Les maladies chroniques, de longue durée par définition, sont de surcroît évolutives, ou avec l'accroissement de l'âge, sources d'incapacités, de situations de handicaps et de comorbidités.



Profil de dépenses (hors dépenses associées aux décès) par âge avec et sans médicalisation accrue du 4^{ème} âge (en €/personne)

Source CNAM

À l'horizon de 2030, les pathologies susceptibles d'altérer le plus les indicateurs de santé sont listées dans le monde entier (tableau A) dans les pays riches (tableau B).

| DALY estimé (2030) | % |
|--|-----|
| Troubles unipolaires dépressifs | 6,2 |
| Problèmes durant la grossesse | 5,6 |
| Cardiopathies ischémiques | 5,5 |
| Accidents de la route | 4,9 |
| Maladies cérébrovasculaires | 4,3 |
| BPCO | 3,8 |
| Infection des voies respiratoires basses | 3,2 |
| Perte d'audition acquise | 2,9 |
| Défauts visuels (hors cataractes) | 2,7 |
| VIH/SIDA | 2,5 |
| Diabète sucré | 2,3 |
| Cancers | 2,2 |
| Cataractes | 1,9 |
| Problèmes liés à l'alcool | 1,9 |
| Diarrhées | 1,6 |

< *Tableau A. Monde entier*

Tableau B. Pays riches

| DALY estimé (2030) | % |
|--|------|
| Cancers (trachée, bronches et poumons) | 14,0 |
| Troubles unipolaires dépressifs | 8,5 |
| Cardiopathies ischémiques | 6,5 |
| Alzheimer et autres démences | 5,5 |
| Perte d'audition acquise | 4,0 |
| Diabète sucré | 4,0 |
| Maladies cérébrovasculaires | 3,8 |
| Problèmes liés à l'alcool | 3,3 |
| Arthrose | 2,8 |
| Défauts visuels (hors cataractes) | 2,4 |

Les données françaises de l'Insee mettent en lumière l'importance par ordre décroissant des maladies cancéreuses, des maladies cardio-vasculaires et des maladies cérébro-vasculaires dont on connaît l'incidence croissante au fil des décennies malgré les progrès de la médecine préventive et probablement en raison du vieillissement de la population.

Il apparaît par conséquent évident que dans le contexte du vieillissement de la population, de l'émergence et de l'augmentation de la prévalence des maladies chroniques, la médicalisation du vieillissement continuera à peser financièrement à moins que les progrès de la médecine amène vers le 3^{ème} et 4^{ème} âge des personnes en meilleure santé.

Hypothèses

Hypothèse 1.

La robotique médicale se développe là où elle offre un retour sur investissement, c'est-à-dire dans le cadre des interventions longues, complexes, coûteuses (productivité accrue), et dans le cadre médico-technique, pour le système de santé

Dans l'hypothèse où la jeune génération de chirurgiens s'engage dans l'apprentissage de la chirurgie assistée par la robotique, on peut estimer, à la lumière du développement technologique, que les procédures chirurgicales tout en étant moins invasives seront de plus courte durée. Si, au bout du compte, la précision et la fiabilité du geste sont améliorées, c'est pour le chirurgien la possibilité de mieux absorber la demande à un plus faible coût de fatigue et de concentration. La productivité du geste chirurgical étant améliorée, c'est en conséquence celle des blocs opératoires qui l'est. Le problème est que seuls les blocs opératoires les plus actifs pourront assurer l'amortissement du robot et surtout de sa maintenance annuelle estimée pour certains à près de 200 000 euros.

Le développement des RAP est important > RAP++

Hypothèse 2.

Croissance des complications et résistances sociales (patients, personnel médical, assureurs), éventuellement à traductions politiques.

Les RAP se développent de façon modérée > RAP +

Hypothèse 3.

Pas de développement pour des raisons de coûts.

Pas de développement des RAP > RAP 0

Bibliographie

Rapport du CROCIS, Enjeux en Ile-de-France, n°50, février 2003

Rapport de la DRIRE. Enjeux et défis de l'industrie de la Robotique en Ile-de-France. Édition 2010

Étude World Robotics 2009

La chirurgie assistée par ordinateur. Rapport d'étape, mai 2002, ANAES

Le marché des dispositifs médicaux. Analyse et recommandations. Mathieu Cynober Strategy Consultant, avril 2011

Les dépenses de santé en France : déterminants et impact du vieillissement à l'horizon 2050.
Document de travail de la DGTPE, n° 2009/11, juillet 2009

Rapport d'activités et de prospective. Comité d'experts en robotique, CNRS, Département ingénierie, septembre 2005-septembre 2006

Demande dans l'industrie manufacturière

Jean-Jacques ATAIN-KOUADIO, INRS.

Définition

Cette variable traite de la demande en RAP dans le secteur des industries manufacturières. Celles-ci sont des industries de transformation des biens, c'est-à-dire principalement des industries de fabrication pour compte propre, mais elles concernent aussi la réparation et l'installation d'équipements industriels ainsi que des opérations en sous-traitance pour un tiers donneur d'ordre¹. Cette activité correspond à la section C de la nomenclature des activités françaises (NAF) qui comprend la transformation physique ou chimique de matériaux, substances ou composants en nouveaux produits. Les matériaux, substances ou composants transformés sont des matières premières produites par l'agriculture, la sylviculture, la pêche ou les industries extractives, des matières premières secondaires issues de la récupération des déchets ainsi que des produits issus d'autres activités manufacturières. L'altération substantielle, la rénovation et la reconstruction de biens sont généralement considérées comme activités manufacturières.

| Code à deux lettres | Description courte de la branche | Exemples de produits |
|---------------------|---------------------------------------|---|
| CA | Industrie agro-alimentaire | Tout produit alimentaire, vin, tabac |
| CB | Textile | Habits, chaussures, tissus, cuir |
| CC | Bois, papier | Bois, produits de menuiserie, papier, cartons, impression de livres et journaux |
| CD | Cokéfaction et raffinage | Pétrole raffiné, goudrons |
| CE | Chimie | Gaz industriels, engrais |
| CF | Pharmacie | Produits pharmaceutique de base et préparations |
| CG | Caoutchouc et plastique | Produits en verre et de la fibre de verre, produits en céramique, ciment, béton et plâtre |
| CH | Métallurgie | Éléments métalliques pour la construction, usinage, outillage, quincaillerie, armes |
| CI | Informatique, électronique et optique | Ordinateurs, radars, horloges, produits électro-médicaux, appareils photographiques |
| CJ | Équipements électriques | Moteurs électriques, fibre optique, électroménager |
| CK | Autres machines et équipements | Turbines, machines-outils, ascenseurs |
| CL1 | Automobile | Automobiles, équipements (dont moteur) |
| CL2 | Autres matériels de transport | Avion, bateaux, trains, motocycles, véhicules de combat. |
| CM | Autres produits manufacturés | Meubles, services de réparation et installation de machines, bijoux, jeux et jouets. |

Figure 1.
Les différentes branches de l'industrie manufacturière.

Source : Insee, comptes nationaux

¹ Définition de l'industrie manufacturière, Insee.
<http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/industrie-manufacturiere.htm>

Rétrospective

La question de la demande de robots d'assistance physique (RAP) dans l'industrie manufacturière peut être examinée à travers la désindustrialisation de l'économie française et ses évolutions contemporaines.

La désindustrialisation de l'économie française

Depuis la crise, la désindustrialisation de l'économie française s'inscrit dans la continuité des années qui l'ont précédée.

À partir, du début des années 80, l'emploi manufacturier commence à baisser tendanciellement, au-delà des effets de cycle, c'est-à-dire des manières habituelles de dater la désindustrialisation. L'emploi manufacturier est ainsi passé de 5,1 millions en 1980 à un peu moins de 2,9 millions aujourd'hui².

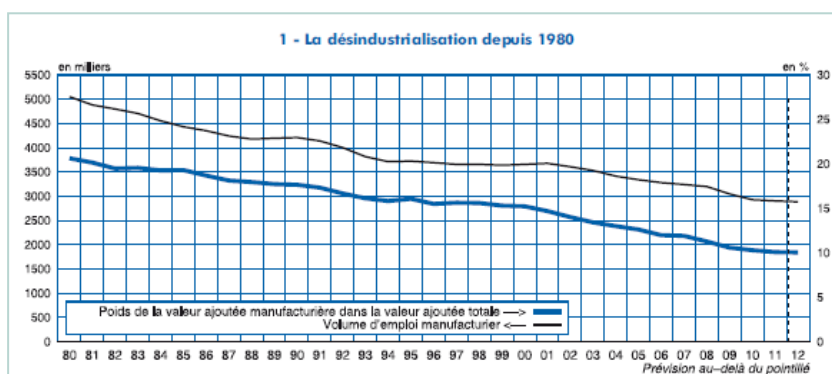


Figure 2 : La désindustrialisation depuis 1980

Sources : Insee, comptes nationaux

En 2008, Le secteur manufacturier représentait en France environ 16 % de la valeur ajoutée alors que la moyenne dans les pays de la zone euro s'établissait à 22,4 %. La diminution de l'emploi industriel a affecté tous les secteurs mais dans des proportions variables. Le secteur des biens de consommation (- 23,3 %), de l'automobile (- 15,63 %) et des biens intermédiaires sont plus affectés que la moyenne tandis que les secteurs des biens d'équipement (- 8,14 %), de l'énergie (- 8,13 %) et de l'agroalimentaire (- 3,17 %) le sont moins³.

| Secteurs | 2000 | 2008 | Evolution |
|-----------------------|------|------|-----------|
| Energie | 209 | 192 | -8,13% |
| Automobile | 224 | 189 | -15,63% |
| Agroalimentaire | 567 | 549 | -3,17% |
| Biens de consommation | 661 | 507 | -23,30% |
| Biens d'équipement | 799 | 734 | -8,14% |
| Biens intermédiaires | 1401 | 1188 | -15,20% |
| TOTAL | 3862 | 3360 | -13,00% |

Nombre d'emplois en milliers

Figure 3 : Évolution de l'emploi par secteurs entre 2000 et 2008.

² Eudeline J.F., Sklénard G., Zakhartchouk A. (Département de la conjoncture). L'industrie manufacturière en France depuis 2008 : quelles ruptures ? Note de conjoncture, décembre 2012. http://www.insee.fr/fr/indicateurs/analys_conj/archives/122012_d1.pdf

³ États généraux de l'industrie (2010), Rapport intermédiaire sur le diagnostic et les enjeux prioritaires remis au ministre chargé de l'industrie le 05 janvier 2010. <http://www.ticpme2010.fr/EG1>

C'est dans ce contexte qu'intervient la crise de 2008. La période qui a commencé début 2008 marque une certaine continuité avec la baisse de la part de la branche en valeur ajoutée en euros (- 1,8 %) et en emploi (- 1,3 %). La désindustrialisation continue d'être plus importante en France (- 2 %) contre + 8 % en Espagne et + 7 % en Allemagne entre 2007 et 2011. Lors de la récession de 2008-2009, l'emploi dans la branche manufacturière s'est replié. La productivité horaire a fortement ralenti depuis la crise (+ 0,8 % par contre + 3,7 % sur la période 2001 - 2007).

Malgré ces tendances négatives, en 2010, la France restait un grand pays industriel et l'industrie demeurait un secteur clé et particulièrement structurant de l'économie nationale avec 16 % de la valeur ajoutée nationale, 13 % de la population active du pays contre 16 % en 2000 et 85 % des dépenses de recherches et développement des entreprises françaises réalisées dans l'industrie. Actuellement la France compte en nombre les entreprises industrielles suivantes :

- 157 000 TPE de 1 à 49 salariés sur 2,5 millions, soit 7 %,
- 24 600 PME de 50 à 249 salariés sur 160 000, soit 19 %,
- 1 515 ETI de 250 à 5 000 salariés sur 4 600, soit 33 % (la plus forte proportion en France),
- 64 GE au-dessus de 5 000 salariés sur 217, soit 29 %.

Les évolutions récentes de l'industrie manufacturière

La concurrence étrangère, notamment en provenance des pays à bas salaires, contribue au déclin de l'activité industrielle en accélérant la baisse de production des entreprises françaises (baisse de parts de marchés, faillites, délocalisations...). L'ouverture internationale pourrait expliquer entre 13 % à 45 % des destructions d'emplois, selon les modes de calcul choisis. Une accélération est toutefois incontestable sur la dernière décennie, note l'étude de Demmou⁴. Sur ce total, les délocalisations n'expliqueraient que 10 % à 20 % des diminutions d'effectifs entre 1995 et 2001.

L'industrie manufacturière a perdu 1,9 millions d'emplois, soit 36 % de son effectif entre 1980 et 2010, c'est-à-dire en trente ans⁵. Une partie de cette baisse spectaculaire est due, bien sûr, à l'externalisation des services (nettoyage, restauration, maintenance informatique...) et également aux gains constants de productivité estimés à 30 % des pertes d'emploi sur les dix dernières années. La France n'est plus que le 4^{ème} employeur industriel européen avec 3 250 000 emplois, contre 7 560 000 en Allemagne, 4 790 000 en Italie, et même 3 500 000 en Pologne.

Cette étude récente du Trésor a démontré que la perte des emplois industriels a été de 65 000 par an entre 2000 et 2007, et que cette baisse était due pour 5 % à l'externalisation vers les services, pour 65 % aux gains de productivité, et pour 28 % à la concurrence internationale par les prix. Les forts gains de productivité seraient à l'origine de près de 30 % des pertes d'emplois sur la période 1980-2007 et de 65 % depuis 2000, précise l'étude.

⁴ Demmou Lilas. « Le recul de l'emploi industriel en France entre 1980 et 2007. Ampleur et principaux déterminants : un état des lieux », Économie et Statistique, n° 438-440, 2011.

⁵ Demmou Lilas, La désindustrialisation en France, Les Cahiers de la DG Trésor, n° 2010-01, juin 2010, 50 p. Documents de travail de la DG Trésor.
<http://www.tresor.economie.gouv.fr/file/326045>

Malgré la grande difficulté de l'industrie manufacturière (plus de 1000 usines ont fermés en France entre 2009 et 2012), certaines activités comme l'industrie aéronautique (« boostée » par les commandes d'Airbus) avec 5 089 emplois nouveaux en 2009-2012 et la fabrication du cuir et de la chaussure (+ 1 966 sur la période)⁶, font figure d'exception dans le secteur manufacturier. La demande de RAP peut s'inscrire dans cette volonté d'augmenter les gains de productivité.

Tendance du secteur de l'industrie en 2013

Une enquête⁷ sur les investissements dans l'industrie en janvier 2013 indique que selon les chefs d'entreprise, l'investissement dans l'industrie manufacturière serait stable en 2013. Ils estiment que leurs investissements ont augmenté de 2 % en 2012, en hausse d'un point par rapport à leur prévision d'octobre dernier. Pour 2013, les chefs d'entreprise des industries manufacturières prévoient désormais une stabilité de leur investissement. Ils ont revu de 2 points à la hausse leurs premières estimations émises en octobre dernier. Cette révision à la hausse concerne le secteur des industries agricoles et alimentaires (+9 points) et celui des équipements électroniques, électriques, informatiques et machines (+6 points). Dans ce dernier secteur, les dépenses d'équipement rebondiraient en 2013 (+9 % après -9 % en 2012). En revanche, les industriels du secteur des matériels de transport ont confirmé que leur investissement reculerait (-10 % après +13 %), avec une dégradation marquée dans l'industrie automobile (-21 % après +20 %). Par contre, les chefs d'entreprises des secteurs des autres industries anticipent une stabilité de leur investissement en 2013.

L'industrie manufacturière : un levier économique majeur ?

Le déclin des emplois dans l'industrie manufacturière touche la majorité des pays de l'OCDE, notamment le Royaume-Uni (-25 % d'emplois entre 2000 et 2008), les États-Unis (-20 %) et même l'Allemagne (-5 %). Les pertes d'emplois résultent de suppressions de postes, de fermetures d'entreprises ou de délocalisations visant à réduire les coûts. Néanmoins, l'industrie manufacturière des pays de L'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), qui représente 60 % de la valeur ajoutée manufacturière mondiale, constitue toujours un levier économique majeur.

La relocalisation de l'industrie manufacturière ?

Délocaliser dans des pays lointains comporte des défis. Les rapports d'*Area Development: Site and Facility Planning* pointent la complexité des chaînes d'approvisionnement, les problèmes de qualité, de propriété intellectuelle et de main-d'œuvre, ainsi que l'augmentation des coûts liés au transport et aux stocks⁸. Un rapport indique que « le

⁶ Comment la désindustrialisation de la France s'accélère.
http://lexpansion.lexpress.fr/economie/comment-la-desindustrialisation-de-la-france-s-accelere_371303.html#M76o3zU18apfg024.99

⁷ Enquête sur les investissements dans l'industrie, janvier 2013,
<http://www.insee.fr/fr/themes/info-rapide.asp?id=15&date=20130208>

⁸ Observateur de L'OCDE. L'industrie manufacturière créatrice de valeur et d'emplois.
http://www.observateurocde.org/news/fullstory.php/aid/3178/L_92industrie_manufacturi_E8re_cr_E9atrice_de_valeur_et_d_92emplois.html

temps où les fabricants implantés à l'étranger pouvaient réduire leurs coûts de production de 30 % à 50 % est révolu », et que l'avantage compétitif de la Chine pourrait s'amenuiser davantage encore avec l'entrée en vigueur de tarifs douaniers et de lois sur les salaires. C'est une opportunité pour les dirigeants des pays de l'OCDE, qui pourront renforcer l'assise et la compétitivité de leur industrie manufacturière, mais aussi utiliser la relocalisation pour répartir les risques liés aux catastrophes naturelles ou aux changements politiques. Le débat sur le choix des activités à conserver ou à laisser partir n'est pas figé. Les progrès techniques devraient permettre de produire à la demande et d'être plus proche du client.

Parmi les différentes activités de productions de biens matériels, l'industrie manufacturière est celle dont la localisation présente *a priori* le plus grand degré de liberté géographique. Grâce à cette relative liberté de localisation de l'industrie manufacturière, le poids d'un espace donné peut être remis en cause assez facilement au fil du temps⁹.

Rapatrifier l'industrie manufacturière est une solution séduisante à plusieurs égards. En effet, dans les pays de l'OCDE, la productivité de l'industrie manufacturière croît plus vite que celle des services. Les usines s'insèrent dans le tissu économique local et favorisent la création de services ; l'industrie manufacturière stimule l'innovation technologique, si cruciale pour les économies développées ; enfin, les produits manufacturés se vendent plus facilement que la plupart des services et peuvent doper les recettes d'exportation.

Par ailleurs, la « verdisation » des économies a souvent été présentée comme modalité de sortie de la crise à travers la problématique de la croissance verte. La croissance retrouverait ses moteurs dans l'éclosion de nouveaux besoins et relocalisation de la production liés au respect de la contrainte environnementale¹⁰.

Hypothèses

Il est difficile de positionner l'utilisation des RAP dans ce contexte de désindustrialisation, compte tenu de leur développement récent et de la grande diversité des activités de ce secteur. Néanmoins, la recherche de réduction des coûts, le vieillissement de la population et les problématiques de santé au travail posent la question de la valeur ajoutée de leur implantation en entreprises. Le plan robot proposé par le ministère du redressement productif s'inscrit dans cette tendance. Par ailleurs, le nombre de robots d'un pays est considéré comme un bon indicateur de l'industrialisation¹¹ : si la France en possède 34 495, l'Italie en a deux fois plus (62 378), l'Allemagne quatre fois plus (148 195) et le Japon huit fois plus (285 000). Et l'écart continue de se creuser.

⁹ Michel Battiau / Université de Lille III. La répartition géographique de l'industrie manufacturières à travers le monde et ses évolutions récentes, Treballs de la Sociata Catalana de Geografia, n° 33-34-vol. VIII

¹⁰ Les gisements de croissance : les secteurs d'avenir à l'horizon 2030. Les conférences de l'ADEUS, Synthèse 3^{ème} conférence cycle économie des territoires, Strasbourg, 12 juin 2012. Centre d'analyse stratégique.

¹¹ Yvon Gattaz et Bertrand Collomb. L'industrie manufacturière en France. Séance publique du lundi 22 octobre 2012, Académie des sciences morales et politiques, <http://www.asmp.fr>

Il semblerait donc que le déploiement des RAP soit une hypothèse plausible. Il pourrait répondre à la fois à des questions de santé et de performance, mais également contribuer à la relocalisation d'activités industrielles. Cette orientation contribuerait à l'amélioration de l'image dégradée de l'industrie et de ses métiers qui entraîne un déficit d'attractivité auprès des jeunes.

Hypothèse 1

La demande de RAP s'inscrit dans une volonté de réindustrialisation avec relocalisation de l'industrie manufacturière pour soutenir une augmentation de la productivité et de la qualité de la production.

Hypothèse 2

La demande de RAP est présente et significative pour soutenir une stabilité de la production manufacturière.

Hypothèse 3

La délocalisation de l'industrie manufacturière se poursuit et entraîne la fermeture de nombreuses entreprises. La demande de RAP se limite à certains secteurs.

Description des scénarios

Scénario 1. RAP de circonstance

Dans un contexte marqué par une situation économique fluctuante et une transition écologique tout juste amorcée, le recours aux RAP est surtout réservé aux activités pour lesquelles ils permettent de dégager une valeur ajoutée significative. Il existe une production française et européenne de RAP émanant d'un tissu industriel constitué de grandes sociétés et de PME.

Un soutien sans souffle

La période 2015-2030 a été marquée par le prolongement de la crise de 2008 : des périodes de croissance faible ont alterné avec des périodes de croissance nulle, voire de récession. Aucune rupture politique ou sociétale majeure n'est intervenue en France ni en Europe. Si la volonté politique d'un maintien d'activités de production en France, notamment les plus riches en valeur ajoutée a été clairement affichée sur toute la période, il faut bien constater que sa concrétisation est apparue comme beaucoup moins évidente. Dans le domaine des RAP par exemple, le lancement du plan France robots initiative (FRI) en 2013, a certes permis de mieux coordonner et de pérenniser un certain nombre d'initiatives, mais, sur la durée, les contraintes budgétaires se faisant fortement sentir, les résultats n'ont pas été à la hauteur des ambitions ni des espérances. D'autres plans lui ont succédé, permettant d'obtenir quelques résultats probants comme c'est le cas pour d'autres technologies avancées, mais sans parvenir à assurer la continuité nécessaire au développement de projets ambitieux.

Ces plans se sont traduits par des soutiens à la recherche et au développement en robotique, mais aussi à l'équipement, en particulier des entreprises, même dans un contexte budgétaire serré. Ce sont des secteurs considérés comme prioritaires qui ont le plus bénéficié de ces aides : la défense et la sécurité, l'environnement et la sécurité des procédés (en particulier les interventions en milieu hostile), les machines intelligentes (l'usine du futur, les nouveaux procédés manufacturiers collaboratifs, la cobotique...) et la santé et, dans une moindre mesure, l'assistance à la personne. Ce dernier secteur a souffert de contraintes budgétaires croissantes sur l'action sociale. Ce développement des

RAP est resté globalement en ligne avec les tendances observées dans les années 2000 à 2015 : par exemple, il n'est pas venu concurrencer l'automatisation quand celle-ci constituait la tendance majeure depuis la fin des années 1990. L'investissement en RAP a été, avant tout, pensé comme le moyen de réaliser des gains de productivité et de favoriser le développement de techniques innovantes porteuses d'emploi.

Globalement, on a assisté sur toute la période 2015-2030 à une dérégulation croissante de l'emploi, ce qui a limité l'intérêt des RAP. Pour autant, le phénomène n'a pas été linéaire : il a été marqué par des allers-retours entre des politiques de l'emploi relativement protectrices et des épisodes de mise en œuvre d'options plus libérales. Cependant des phénomènes, comme l'annualisation du temps de travail, les temps partiels non choisis ou des contraintes plus fortes pour susciter le retour à l'emploi, se sont développés. Le marché du travail et les conditions d'emploi sont restés hétérogènes, avec une tendance renforcée à la dualité : des populations en forte difficulté à cause de la persistance d'un marché du travail atone coexistent avec des catégories mieux protégées parce que disposant de compétences recherchées par les entreprises.

Dans ce contexte de stagnation économique, la formation professionnelle a constitué tout au long de la période un enjeu important, clairement identifiée comme tel par le pouvoir politique. Dans un contexte économique difficile et pour une population active vieillissante et de plus en plus féminisée, les ressources dégagées ont été suffisantes pour permettre un apprentissage de l'utilisation de technologies évoluées lors de la formation initiale ou un accompagnement à la reconversion à ces techniques dans le cadre de la formation professionnelle. À aucun moment n'est apparue une carence du personnel qualifié nécessaire à la conception ou l'utilisation des technologies avancées, dont les RAP.

Des robots bien insérés dans la société

Un débat relativement serein s'est poursuivi tout au long de la période entre la société, les experts, le pouvoir politique et le monde de l'industrie sur l'usage de la robotique, débat qui a permis la confrontation d'une part des points de vue tournés vers l'utilité de ces technologies et la préoccupation du développement économique et d'autre part des points de vue de personnes plus réticentes à l'innovation technologique. Pour les RAP, le débat s'est traduit notamment par la mise en place d'un cadre normatif, dans lequel se développent des études d'évaluation concertées des risques, dans un contexte de négociations multilatérales entre les différentes parties prenantes.

L'utilisation des RAP a donc connu une progression régulière. Ils se sont progressivement insérés dans le paysage industriel français, là où il y avait un intérêt, comme dans celui de l'aide à la personne sans qu'il y ait eu de phénomène majeur de rejet.

Malgré des aides des États parfois irrégulières, le développement de ces équipements s'est appuyé principalement sur les transferts du monde de la recherche (universitaire ou non) vers celui des entreprises. L'avance technologique des États-Unis dans le domaine de la robotique militaire, celle du Japon pour les robots humanoïdes et spécialisés dans le transport de personnes ou celle de l'Europe dans la robotique de services (notamment industriels) ont été des facteurs déterminants pour ancrer ces politiques de transfert et favoriser le dépôt de nombreux brevets. Ces politiques se sont appliquées sur des secteurs jugés prioritaires, dans le but de maintenir l'avance des pays occidentaux, du Japon et de la Corée sur les pays émergents notamment asiatiques.

Le développement de ces équipements n'a pas été entravé par des contraintes majeures liées à la disponibilité de l'énergie ou des matières premières (même si leur coût est resté

orienté à la hausse). Le prix de l'énergie est resté limité par rapport au coût de l'investissement et du fonctionnement nécessaire à l'emploi des RAP. Cependant, les capacités de stockage (batteries) sont restées relativement limitées, au détriment de l'autonomie de ces équipements. De la même façon, aucune pénurie gênante de matières premières n'est survenue. C'est en particulier grâce aux progrès substantiels dans le développement de systèmes qui demandent moins de métaux rares, par exemple à base de carbone, de composants moléculaires ou d'actuateurs organiques (« muscles artificiels » et non plus magnétiques).

Cependant, aucun seuil technologique majeur n'a été franchi : les RAP sont capables de se déplacer dans des environnements variés, grâce au développement des technologies de la locomotion et de la mécatronique, mais les progrès limités dans le domaine de l'intelligence artificielle font que les équipements à disposition sont relativement peu « intelligents ». Leur action est donc fortement inspirée et contrôlée au plus près par les humains qu'ils assistent : on est resté incapable de concevoir des robots pouvant communiquer et interagir physiquement sans risques pour l'homme, de manière autonome.

Pour répondre aux besoins de ce marché, limités aux secteurs où les RAP ont une forte valeur ajoutée, un tissu industriel dual s'est mis en place :

- de grosses entreprises déjà fortement implantées en robotique (principalement en robotique industrielle) ont diversifié leurs domaines d'application pour investir sur le marché des RAP,
- des start-up ont développé des innovations porteuses sur des marchés à moyenne ou forte diffusion, le relais pouvant éventuellement être pris ultérieurement en cas de fort développement par des entreprises de taille supérieure.

Une offre de services associés s'est développée, en particulier pour la maintenance des équipements. Cependant, compte tenu de leur relative complexité et de leur diffusion encore restreinte, ce sont les entreprises conceptrices qui, dans un premier temps, ont mis en place ce réseau, parallèlement à celui qu'elles ont organisé pour la commercialisation de leur production « traditionnelle ». Pour les RAP à plus large diffusion, des sociétés implantées régionalement ont pris le relais des entreprises conceptrices au niveau du service après-vente en proposant une compétence et des prestations de bon niveau. Les coûts restent néanmoins significatifs : la maintenance annuelle équivaut à environ 10 % de l'investissement initial.

* Cet encadré, comme les suivants, a été écrit par Jan Irmer, journaliste.

L'EXPLOSION DU GAZ DE SCHISTE*

Les énergies fossiles sont désormais en plein essor aux États-Unis, tout particulièrement grâce au boom du gaz et pétrole de schiste. Alors qu'il y a cinq ans, le pays extrayait 5 millions de barils par jour, aujourd'hui ce sont déjà 6,2 millions. Déjà auto-suffisant en gaz, les États-Unis deviendraient le plus gros producteur de pétrole en 2017 et exportateurs net de brut autour de 2030.

L'abondance et le faible prix du gaz de schiste relancent l'économie américaine, notamment l'industrie chimique et pétrochimique, grâce aux baisses des coûts sur les matières premières. En effet, les gaz liquides riches en butane, en propane et en éthane, se sont substitués parfaitement au naphta, un composant du pétrole, dans la fabrication de produits en plastique. De plus, la chute du prix du gaz américain a permis de réduire la facture énergétique.

L'American Chemistry Council, fédération de la chimie américaine compte à ce jour 110 projets d'investissement qui devraient apporter dans leur sillage 46 000 nouveaux emplois directs et plus de 200 000 sous-traitants ; ce qui est d'autant plus marquants qu'en 2008, aucun des membres de l'ACC ne prévoyait d'investir dans le pays. Exemple de cette reprise, le géant américain Lyondell Bassel est passé d'une situation de faillite en 2008 à des profits record l'an passé. De nombreuses entreprises qui s'étaient délocalisées reviennent au pays.

Cela se fait au détriment des industries européennes qui en sont restées au naphta. Les taux d'utilisation des usines sont passés à 70 % en Europe. Cette situation devrait empirer avec les inaugurations de plusieurs autres usines américaines.

D'après un article paru dans Challenges le 13 novembre 2012 et un article paru dans Courrier Stratégique le 12 juin 2013

Des RAP dégageant de la valeur ajoutée dans des installations dédiées

Les secteurs dans lesquels l'utilisation de RAP a progressé significativement au cours de la période sont les suivants :

- l'industrie : tant l'industrie de process que le secteur manufacturier,
- la défense et la protection civile, l'environnement et la sécurité des procédés (en particulier les interventions en milieu hostile),
- le secteur sanitaire à travers la robotique médicale à usage chirurgical et dans une moindre mesure la prise en charge kinésithérapique,
- l'aide à la personne principalement dans les établissements,

Au niveau de l'**industrie**, c'est surtout le **nucléaire** qui est en pointe. Le déploiement accru des RAP tout au long de la période dans ce secteur correspond d'une part aux besoins accrus en matière de démantèlement des installations et, d'autre part, au développement d'installations de nouvelle génération, dont le fonctionnement prévoit dès la conception le recours à des RAP (par exemple pour le déchargement et le rechargement en combustible). Pour ce qui concerne les industries de process (**pétrole, (pétro)chimie, sidérurgie, électrométallurgie**) ou l'**industrie manufacturière**, autant de secteurs globalement en déclin, l'utilisation des RAP est surtout liée au développement d'installations nouvelles, essentiellement pour des productions à forte valeur ajoutée, fruits d'une volonté politique de maintenir un appareil productif dans l'hexagone : chimie durable, nouveaux matériaux, biens d'équipement novateurs... Ils sont surtout utilisés dans des installations type

« usines du futur » largement engagées dans le développement des nouveaux procédés manufacturiers collaboratifs et de la cobotique, qui peuvent associer automatisation et utilisation des robots d'assistance physique au niveau du traitement des flux entrée et sortie.

Dans le **secteur sanitaire**, la robotique médicale à usage chirurgical se développe là où elle offre un retour sur investissement. Par exemple pour la chirurgie, ce sont des interventions longues, complexes et donc coûteuses. La précision et la fiabilité du geste étant améliorées, les RAP offrent au chirurgien la possibilité de mieux absorber la demande, avec une moindre fatigue et moins de contraintes en matière de concentration. Ces gains de productivité du geste chirurgical se traduisent par une amélioration de celle des blocs opératoires. La jeune génération de chirurgiens s'étant engagée dans l'apprentissage de la chirurgie assistée par la robotique, la durée des procédures chirurgicales devenues moins invasives est raccourcie. De même, la robotique d'assistance à la

UN EXOSQUELETTE - ICI ET MAINTENANT

Une application biomédicale de la robotique est le développement des aides aux personnes ayant des difficultés à se mouvoir, de type exosquelettes. Ainsi, le HAL ou Hybrid Assistive Limb (en français : membre d'assistance hybride), développé par le Professeur Sankai de l'université de Tsukuba au Japon, est, depuis août 2013, le premier de ces robots à avoir reçu une certification internationale d'appareil médical.

Le fonctionnement de HAL utilise des senseurs détectant les biosignaux envoyés par le cerveau et transmis aux motoneurons de son porteur quand il tente de mouvoir ses muscles. Les articulations robotisées sont alors actionnées afin de supporter et amplifier le mouvement. Le système autonome robotique permet également un mouvement automatisé. Il a pour fonction d'aider des personnes dont les jambes sont déficientes à se déplacer et effectuer des activités de rééducation.

Le marquage CE (conformité européenne) permet l'utilisation de HAL dans un cadre d'essais cliniques en Europe. Ainsi, dans un groupe d'hôpitaux en Allemagne, 12 unités de HAL vont être portées par des patients ayant des jambes déficientes en raison de lésions de la colonne vertébrale, d'attaques ou encore de myopathie. Au total, une centaine de patients va se soumettre à une rééducation en portant l'exosquelette pendant trois mois. Un suivi permettra de déterminer les apports de l'exosquelette dans la rééducation de chaque individu. L'un des enjeux commerciaux de ses essais est de déterminer si l'utilisation de l'exosquelette Hal peut être couverte par les assurances.

D'après le Bulletin Électronique paru le 16 août 2013 et un article du journal Le Monde paru le 5 août 2013

rééducation, a trouvé sa place sur les plateaux techniques des centres de rééducation fonctionnelle. Elle s'inscrit dans l'optique d'assister kinésithérapeutes et ergothérapeutes à développer des programmes de rééducation de la marche et/ou de la préhension, autonomes pour limiter l'intervention du thérapeute, gradués avec un retour d'information pour le patient, très utiles pour stimuler la motivation et guider la progression. Permettant un moindre recours à l'intervention humaine, cette forme de robotique offre aussi un retour sur investissement satisfaisant.

En matière d'**aide à la personne**, on assiste à une robotisation modérée, restreinte pour l'essentiel aux établissements. Il s'agit de robots d'assistance physique tels que des exosquelettes aidants, des robots mobilisateurs aidés et des exosquelettes aidés. Il s'agit en particulier de favoriser les transferts lit/fauteuil, fauteuil/toilette, tout en demandant à l'aidant des efforts moindres et mieux gérés et en assurant au soigné un plus grand confort. Comme pour l'ensemble des robots d'assistance physique décrits dans ce scénario, il s'agit donc d'équipement de « faible intelligence » dont l'action est fortement inspirée et contrôlée au plus près par leurs partenaires humains. Compte tenu des ressources financières limitées, il n'existe pas d'aides significatives à l'équipement à domicile, et cette robotisation ne sort guère du cadre des établissements de soins. Cependant, l'existence d'une demande solvable de la part de certains particuliers permet une certaine dissémination dans la sphère privée. Certaines applications à mi-chemin entre la domotique et les RAP connaissent également un développement accru tout au long de la période considérée.

Dans le domaine de la **défense**, l'intégration militaire au plan européen ou dans le cadre de l'OTAN n'a pas progressé, la doctrine française diffère toujours significativement de celle des États-Unis ; les conflits ou opérations militaires ayant eu lieu sur la planète depuis le début des années 2000 sont restés de basse intensité. Dans ce cadre, la tendance est au « soldat augmenté » ou au robot télécommandé (type drone) restreignant l'utilisation (toutefois massive) d'exosquelettes et de robots d'aide au port des charges. Ces équipements permettent d'augmenter très significativement les capacités de déplacement et de portage de certaines unités engagées loin de leurs bases, même si l'autonomie n'est pas celle qu'auraient désirée les militaires. Il convient d'ailleurs de signaler l'importance de ces commandes militaires dans le développement ultérieur d'équipements utilisés dans l'agriculture, l'industrie ou les services à travers des applications spécifiques.

Dans le **secteur primaire**, en France où la ressource en foncier est limitée, l'**agriculture** reste intensive. Cependant, la nécessité de préserver la qualité de l'environnement et en

UNE AUTRE RURALITÉ

Alors que le XX^e siècle a vu la France perdre son caractère paysan, le XXI^e siècle pourrait voir cette transformation s'accroître.

Le pays compte actuellement 600 000 exploitations agricoles, alors qu'entre 120 000 et 130 000 exploitations d'agriculture conventionnelle suffiraient pour satisfaire 80 % des besoins de matière agricole mise sur le marché.

Dans son ouvrage Les Orphelins de l'exode rural, une projection de l'agriculture du siècle à venir, Bertrand Hervieu, ancien président de l'INRA, ne voit pas comme une fatalité la disparition annoncée de presque un demi-million d'exploitations agricoles.

Au-delà d'une agriculture de « production de matière première agricole et alimentaire de très haute technicité, de très haute qualité, de très haute performance », il entrevoit une place grandissante pour une autre agriculture. Entre 300 000 et 400 000 exploitations pourraient ainsi s'épanouir dans cette « agriculture territorialisée », axée sur la vente directe, des produits identifiés, des produits de tourisme.

Cette nouvelle agriculture est surtout issue d'un mouvement néo-rural, à l'origine d'initiatives dissidentes au capitalisme, qui depuis mai 1968 cherche des alternatives. Initialement en rupture avec les structures conventionnelles locales, ce mouvement s'est retrouvé un des agents les plus efficaces des politiques d'aménagement rural et touristique dans les régions abandonnées par la vie agricole traditionnelle.

En effet, en répondant au marché, ces exploitations nouvelles ont contribué au maintien de la population rurale, tout en fournissant des produits d'excellence avec un impact environnemental faible.

L'intégration de cette agriculture alternative dans le fonctionnement économique des régions rurales a permis de générer une diversité offrant une haute valeur ajoutée qui pourrait permettre au monde agricole d'envisager l'avenir avec une certaine sérénité.

D'après un article paru dans La Terre le 20 août 2013

particulier celle des sols incite au développement de matériels de taille limitée et à vocation collaborative, de type RAP, capables par exemple de se substituer partiellement à l'usage d'intrants chimiques (herbicides) d'autant que la population employée reste limitée en nombre. Une demande existe pour des activités plus restreintes en volume telles que le maraîchage, l'agriculture biologique ou raisonnée ou la viticulture pour des opérations comme le désherbage ou la taille, voire la récolte. Il en est de même pour la sylviculture.

Des secteurs d'activité ayant fait l'impasse

En revanche, des secteurs comme la **logistique** et les **transports** ou le **traitement des déchets** qui ont fortement investi dès les années 1990 dans une logique d'automatisation des activités n'ont pas remis en cause leur politique et le développement des RAP est resté relativement marginal jusqu'en 2030. Seules les exigences d'un tri très poussé particulières à certaines activités ou des configurations particulières dans certaines mises en rayon de lieux de stockage ou de vente ont justifié le développement de l'utilisation de ces robots plutôt que l'automatisation développée ailleurs.

Enfin, l'absence de pénurie de main d'œuvre sur le marché domestique et le rétrécissement des marchés à l'exportation freinent très fortement l'équipement en RAP du secteur du **bâtiment** et des **travaux publics**.

Scénario 2. Rapophobie

La période est caractérisée par des crises politiques concourant à un déclin économique et l'émergence de crises sanitaires entraînant de fortes réticences à l'innovation technologique. Le développement des RAP est resté très limité.

Crises politiques, crise morale

La période 2015-2030 a été marquée au niveau mondial par la succession et l'enchevêtrement de nombreuses crises politiques et économiques. Dans un contexte européen difficile, la crise économique en France s'est aggravée. Elle s'est accompagnée d'une crise morale de la société, marquée par un repliement sur soi et un refus de la nouveauté et de l'altérité. En outre, les préoccupations environnementales, malgré une application tatillonne du principe de précaution essentiellement pour la protection de l'homme, se sont globalement affaiblies au cours des années.

La période 2015 - 2030 a été marquée au niveau mondial par la succession et l'enchevêtrement de nombreuses crises politiques et économiques. Dans un contexte européen difficile, la crise économique en France s'est aggravée. Elle s'est accompagnée d'une crise morale de la société, marquée par un repliement sur soi et un refus de la nouveauté et de l'altérité. En outre, les préoccupations environnementales, malgré une application tatillonne du principe de précaution essentiellement pour la protection de l'homme, se sont globalement affaiblies au cours des années.

SCIENCES ET CROYANCES

Alors qu'on pourrait supposer que les sciences et leur application technologique sont admises comme vérité fondamentale dans la société moderne, les tendances actuelles laissent à penser que l'adhésion de larges pans de la société au savoir scientifique comme vérité factuelle ne serait non seulement pas établie, mais même en recul.

Des systèmes de pensée religieux à la méfiance irrationnelle envers les résultats de la recherche en passant par l'influence de groupes de pressions, le nombre de personnes non-croyantes à l'égard des données scientifiques serait en augmentation.

Le poids politique de cette non-adhésion au consensus scientifique se reflète dans les mesures publiques faisant la part belle à des visions alternatives.

Ainsi, en 1982, des sondages indiquaient que 44 % des Américains croyaient en un dieu créateur qui aurait fait les humains tels qu'ils sont aujourd'hui. Trente ans plus tard, la proportion créationniste de la population est de 46 %. A présent, le créationnisme est enseigné dans certaines écoles américaines comme « Science de la Création ».

De même, en 1989, quand le terme « changement climatique » faisait à peine son entrée dans le vocabulaire grand public, 63 % des Américains comprenaient que ces changements climatiques constituaient un problème. Quelques 25 ans plus tard, ils ne sont plus que 58 %, et, par exemple, la Caroline du Nord interdit dans son aménagement du territoire l'utilisation de données climatiques dans la projection des futurs niveaux de la mer.

En matière de santé publique, l'adhésion irrationnelle à des études longtemps discréditées établissant un lien entre la vaccination et autisme ont mené l'État d'Oregon, face aux refus massifs de la part des parents, à abandonner ses campagnes de vaccinations scolaires.

L'avancement des sciences reste donc une des responsabilités de l'éducation publique, tant qu'il n'est pas battu en brèche par le pouvoir de ceux qui lui opposent un refus idéologique.

D'après un article paru dans l'International Herald Tribune le 23 août 2013

Faute de moyens d'intervention, l'initiative publique a très nettement marqué le pas. Elle n'a été que partiellement, et uniquement sur certains secteurs, relayée par l'initiative privée. En raison de la concurrence mondiale et de la poursuite des délocalisations de la production, le recul du secteur secondaire caractéristique de la fin du XX^e siècle et du début du XXI^e a touché de plus en plus durement des secteurs d'activité jusqu'alors relativement épargnés : industrie des transports (aéronautique et ferroviaire), travaux publics à l'exportation, industrie du luxe.

D'un point de vue social et sociétal, c'est une forte tendance au refus des changements et à l'immobilisme qui est apparue parmi la population la plus socialement active. La dualité de la société s'est accentuée, avec une opposition forte entre une population socialement active, plus âgée et plus riche (ayant pu accumuler précédemment un minimum de ressources ou pouvant proposer des compétences encore recherchées sur le marché de l'emploi) et une autre population plus jeune, moins formée, plus pauvre et de plus en plus précarisée. La féminisation du marché du travail s'est poursuivie.

Dans ce contexte de déclin économique, avec un accroissement sensible du nombre de chômeurs, le système éducatif, faute de moyens, n'est plus en mesure d'assurer une formation initiale satisfaisante, malgré des îlots d'excellence. L'offre de formation professionnelle a également subi un net déclin.

Globalement on a assisté sur la période 2015-2030, à une dérégulation croissante de l'emploi, ce qui limite l'intérêt des RAP. Pour autant, le phénomène n'a pas été linéaire : il a été marqué par des allers-retours entre des politiques de l'emploi relativement protectrices et des épisodes de mise en œuvre d'options plus libérales. Cependant des

phénomènes comme l'annualisation du temps de travail, les temps partiels non choisis ou l'apparition des contrats zéro heure se sont fortement développés au fil des années. Cela intervient dans un contexte de contraintes plus fortes pour susciter le retour à l'emploi (diminution des allocations chômage par exemple).

Le débat social s'est progressivement bloqué. La « risquophobie » a atteint rapidement un niveau très élevé. Plusieurs crises (contrôle insuffisant lors de la mise sur le marché de médicaments, exposition non contrôlée à différents types de polluants, scandales alimentaires, atteinte à la vie privée par des systèmes d'information...) ont eu pour résultat de développer une perte de confiance envers les pouvoirs publics et le monde de l'entreprise et de la société civile envers elle-même. Toute innovation est jugée *a priori* suspecte. L'État s'est vu contraint à une application tatillonne et rigoriste du principe de précaution, dans un contexte où le dialogue entre les différentes parties prenantes s'est rapidement avéré impossible. Ce débat ne concernait d'ailleurs qu'une part limitée de la société civile, la partie la plus marginalisée économiquement et socialement de la société n'ayant plus les moyens de se faire entendre.

En résumé, dans ce contexte, le développement des RAP s'est heurté à plusieurs obstacles :

- le manque de moyens d'une société qui peine à dégager de la valeur ajoutée pour le maintien de ses activités économiques, sans même parler de développement de nouvelles techniques,
- un chômage de masse et une baisse du coût du travail qui ne sont pas propices au développement d'activités considérées comme susceptibles d'entrer en concurrence avec l'emploi humain,
- ceci dans un contexte où l'innovation technique (en particulier celle concernant des robots « intelligents ») est vécue comme pouvant porter atteinte à la sécurité de l'humanité : le fantasme de dérives possibles est à son comble.

La priorité donnée à l'automatisation

Le marché de la robotique a donc stagné et s'est limité pour l'essentiel à la robotique industrielle (« engagée ») aux États-Unis, en Europe, au Japon et en Corée du sud. Le seul facteur de croissance potentiel est lié au développement des applications militaires dans les-

MON RAP HACKÉ

La multiplication des tâches dévolues aux machines à l'intelligence croissante multiplie aussi les possibilités de détournement malveillant de ces machines. Les pirates informatiques ne se contentent plus de hacker des comptes de courrier électronique ou de dérober des numéros de cartes bancaires ; ils pourraient bientôt prendre le contrôle d'objets du quotidien au fonctionnement reposant sur des technologies informatiques.

Alors que le piratage des smartphones est déjà chose courante, les hackers seraient déjà capables de s'emparer d'une multitude d'autres objets équipés de mini-ordinateurs, comme les voitures, l'électroménager domotisé et même les machines biomédicales implantées.

Si les smartphones sont faciles à pirater de par leur accès constant à Internet, les voitures, par exemple, offrent encore peu de portes d'entrée aux attaques malveillantes. Néanmoins, des experts de sécurité informatique américains ont déjà démontré à une convention hacker à Las Vegas qu'ils pouvaient retirer en pleine conduite le contrôle de son véhicule à un automobiliste au volant d'une voiture de génération actuelle qui contient typiquement entre 10 et 40 mini-ordinateurs.

De même, la domotique connectée à Internet offre de nombreuses possibilités de détournement malveillant, que ce soit à des fins criminelles pour désactiver le contrôle d'accès au foyer ou à des fins relevant davantage de la farce comme de dérégler le réfrigérateur ou la chasse d'eau.

Plus inquiétant encore, un hacker américain devait récemment démontrer comment un implant biomédical comme un pacemaker pourrait être piraté dans le but de tuer son porteur.

Si ces piratages tiennent plus de la provocation spectaculaire que d'une réalité courante, il n'y a que peu de raisons pour céder à la paranoïa. Il faut cependant rester conscient de la menace et agir en conséquence.

À partir d'un article paru dans l'International Herald Tribune le 13 août 2013

quelles des pays comme les États-Unis et la France sont particulièrement actifs. Dans ce contexte, le développement des robots d'assistance physique est resté très limité. Les trop faibles investissements dans la recherche, le manque de demande de la part de la société et la forte limitation des ressources (disponibilité des matières premières, coût élevé de l'énergie) se sont conjugués pour obérer le développement de nouvelles technologies. Le corollaire est que ces blocages technologiques n'ont pas permis de dégager de nouvelles ressources financières susceptibles de relancer la machine économique.

La pénurie croissante de matières premières (liée en particulier aux difficultés de leur exploitation dans des pays subissant de graves crises politiques) et la faiblesse des recherches sur des méthodes de substitution, ont également concouru à pénaliser le développement des RAP. L'exploitation minière de certains éléments métalliques rares s'est avérée insuffisante pour alimenter le marché de l'électronique et du stockage de l'énergie à la hauteur des besoins. Malgré des progrès, les performances du recyclage de ces métaux rares sont également restées insuffisantes. De même, la substitution des éléments métalliques les plus rares par l'utilisation de composants à base de carbone, de composants moléculaires ou d'actuateurs organiques ne s'est pas révélée satisfaisante. Les métaux rares qui auraient été nécessaires ont été affectés prioritairement à des équipements jugés plus prioritaires que les RAP. Enfin les moyens de stockage et leurs capacités (batteries en particulier) ainsi que les procédés alternatifs (piles à combustible, hydrogène, biocarburants, etc.) qui auraient pu concourir à rendre les robots autonomes n'ont pas non plus connu les développements espérés, alors que les coûts de l'énergie ont fortement augmenté.

Des robots peu « intelligents » utilisés dans un nombre très limité de secteurs

Les robots produits ont donc de faibles capacités de perception et de locomotion et leurs interactions potentielles avec l'être humain sont rudimentaires. Les robots interactifs ne sortent pas du cadre du laboratoire et restent cantonnés à des utilisations dans des secteurs limités comme par exemple la recherche scientifique ou dans le cadre militaire. Ce confinement à peu de secteurs est d'ailleurs encouragé par les fortes réticences de la société.

Aucun tissu industriel civil généraliste dévolu à la conception et à la maintenance des équipements ne s'est développé dans le domaine des RAP, dans un marché trop étroit. D'autre part, les entreprises n'ont pas pu bénéficier des retombées de la recherche universitaire, qui a été bridée par une absence de financement et a obtenu peu de résultats. Les quelques équipements vendus aux entreprises du secteur secondaire sont maintenus par les entreprises qui les ont conçus.

Sauf exception, la demande des différents secteurs d'activité est restée très faible : l'équipement en robots d'assistance physique n'a clairement pas constitué une priorité pour les entreprises.

Une majorité de secteurs d'activité a fait l'impasse sur un développement via l'utilisation des RAP

Dans le **secteur primaire**, une agriculture intensive et spécialisée ne prenant que peu en compte les considérations environnementales a constitué tout au long de la période le modèle largement dominant. Elle a laissé peu de place aux agricultures biologiques ou

maîtrisées qui auraient pu générer une demande de RAP pour une utilisation alternative au moins partielle à celle de certains intrants comme les pesticides en général, voire certains engrais. Le maraîchage est resté une activité de niche.

L'activité du **secteur secondaire** a connu un fort déclin. Compte tenu de l'augmentation du prix de l'énergie, de l'atonie de la demande et de la concurrence des pays à faible coût de main d'œuvre, les **industries de process** et l'**industrie manufacturière** ont vu se multiplier les fermetures d'entreprises et les délocalisations. Quelques restructurations d'entreprises et quelques ouvertures d'unités auraient pu être l'occasion de développer des procédés mettant en œuvre des robots d'assistance physique, mais c'est le choix de l'automatisation qui a prévalu.

DÉRAPAGES MÉDICAUX

La chirurgie abdominale a recours de plus en plus aux robots médicaux. Parmi eux le Da Vinci est un modèle à quatre bras télécommandés. Il en existe plus de 2 000 en service dans le monde. En 2012, ils auraient permis de réaliser plus de 200 000 interventions chirurgicales.

Une enquête du New York Times vient de révéler qu'en 2009, une patiente américaine atteinte d'endométriose, a été victime de déchirements colorectaux après avoir subi une opération assistée par robot.

Alors que les fabricants et les hôpitaux sont censés déclarer chaque complication aux autorités, aucune remontée n'a été faite jusqu'à la divulgation de l'action judiciaire intentée par la patiente.

Ce manquement soulève la question de la fiabilité et de la transparence de ces procédures médicales. Le Journal of Healthcare Quality a publié une étude portant sur plus d'un million d'interventions réalisées à l'aide d'un robot chirurgical entre janvier 2000 et août 2012. Elles auraient occasionné 174 blessures et 71 décès.

Concernant plus particulièrement le robot Da Vinci des milliers d'incidents ont été signalés entre 2000 et 2012 sans compter les complications d'opérations non déclarées. Pourtant en France, seuls des accidents bénins ont été rapportés à l'Agence nationale de la sécurité du médicament.

Pour certains praticiens, la chirurgie robotique n'est pas sans risque pour le patient. En effet le robot démultiplie le geste, il risque donc d'endommager les zones voisines de celles opérées. D'autres mettent en avant les avantages de cette nouvelle technique qui diminue les complications et la durée d'hospitalisation.

D'après un article paru dans Le Nouvel Observateur le 19 septembre 2013

Le **bâtiment** et les **travaux publics** ont été confrontés à un marché intérieur atone et à une très forte concurrence sur les chantiers à l'exportation notamment de la part des pays à bas coûts de main d'œuvre. Aucun équipement spécifique de large diffusion n'a été réalisé.

Dans le secteur des **transports** et de la **logistique** et dans celui du **traitement des déchets**, des options prises dans les années 2000 à 2015 basées sur une automatisation aussi poussée que possible n'ont pas été remises en cause, ce qui a restreint la demande pour des évolutions technologiques telles que les RAP.

Le **secteur sanitaire** n'a pas connu de développement de l'utilisation des robots d'assistance physique ni dans le domaine chirurgical pour augmenter la précision et l'efficacité des opérations, ni dans le domaine de la rééducation. Cela est dû au coût des équipements que les systèmes de sécurité sociale ne peuvent plus prendre en charge, à la pauvreté de l'offre de service proposée par le secteur de la robotique, mais aussi à de fortes réticences de la part des patients dont la confiance dans le système de soins a été ébranlée par plusieurs crises sanitaires intervenues à partir de 2015.

En matière d'**aide à la personne**, les ressources financières limitées n'ont pas permis l'équipement des établissements de soins en robots aidants. Comme pour le domaine chirurgical ou la rééducation, cette utilisation d'équipements robotisés n'a pas non plus la

faveur du public en raison de la montée de la technophobie et de la risquophobie. Seules des applications de type domotique (aspirateurs, laveurs de sols ou de vitres, repasseurs) très limitées et à la frontière des robots d'assistance physique, puisque n'impliquant pratiquement aucune interaction avec les utilisateurs, ont connu un certain développement.

Des RAP confinés à des secteurs d'exception

Le secteur du **nucléaire** constitue l'une de ces exceptions. Il est resté en France une source majeure de fourniture d'électricité. La gestion du parc existant et notamment les opérations de démantèlement comme la mise en route des centrales de nouvelles générations ont favorisé l'utilisation de robots d'assistance physique destinés à limiter l'exposition des travailleurs aux radiations. Il s'agit de robots de télé-opération développés dans la continuité de ceux du début des années 2000.

Le secteur de la **défense** constitue aussi une exception puisqu'il a connu un fort développement en raison de la situation internationale qui a vu la réapparition d'un ou plusieurs conflits de haute intensité. Mais les options prises par les États occidentaux, afin d'être en état de faire face à un tel conflit malgré l'attrition du volume de leurs armées du fait des restrictions budgétaires successives, privilégient une robotisation autonome ou télécommandée à outrance, ou des systèmes télécommandés alors que le combattant humain (« augmenté » par un équipement en robots d'assistance physique de type exosquelettes au sens large) n'a qu'un engagement limité au cours d'opérations spécifiques.

Scénario 3. RAP pour tous ou rapophilie !

Une croissance économique forte dans une logique de transition écologique. La prime à l'innovation : l'essor des RAP techniques. Une main d'œuvre chère et protégée.

Le RAP, nouvelle frontière de l'innovation

Les années 2020 ont été marquées par une succession d'innovations technologiques majeures dans différents domaines, qui ont eu pour effet de doper la production et de redynamiser le tissu industriel et ainsi d'augmenter de façon significative la richesse de la société. Les investissements dans des installations et dans des techniques nouvelles se sont multipliés. Ils font la part belle à la robotisation, et en particulier aux RAP qui permettent d'assurer une flexibilité et une adaptabilité de la production meilleure que la robotisation en cage ou l'automatisation complète. Les progrès en perception et en locomotion ont permis de mieux intégrer les RAP dans leur environnement de travail. La mécatronique a également fortement progressé, mais c'est au niveau de l'intelligence artificielle que le saut technologique a été le plus important. Les RAP de 2030, produits d'évolutions constantes depuis 2015, sont devenus de vrais partenaires habiles et « intelligents » sur les chaînes de montage. Ils ont également acquis une excellente dextérité et une capacité d'initiative dans les opérations télé-opérées menées en milieu hostile pour l'homme. Ils ne travaillent plus à côté des hommes, ils sont devenus des partenaires à part entière.

Ces évolutions technologiques majeures ont été accompagnées par de gros progrès dans le domaine de l'énergie, notamment pour les aspects de stockage et de sa restitution. Le coût de l'énergie (très majoritairement d'origine électrique, mais partiellement liée également à l'utilisation de biocarburants ou d'hydrogène) reste marginal par rapport aux dépenses d'investissement et de fonctionnement des RAP. Les progrès technologiques

UN TÉLÉPHONE QUI PENSE

Les téléphones ont désormais l'ambition d'anticiper de manière prédictive nos besoins. Ainsi, votre téléphone pourrait vous dire le matin que vous feriez mieux de partir plus tôt à votre réunion à cause des conditions de circulation, alors que vous ne lui aviez jamais dit que vous aviez une réunion, ni où elle était.

Comment votre téléphone est-il au courant ? Parce qu'une application a lu vos courriels, consulté votre agenda, noté votre position, analysé la circulation routière, et conclu que vous auriez besoin d'une demi-heure de plus pour vous rendre à votre réunion.

Ce genre de technologie est le développement le plus récent en matière de recherche web, et l'une des premières à être conçue pour les appareils mobiles. Vous n'avez même plus besoin de formuler une question ; votre contexte – votre emplacement, l'heure du jour et votre activité numérique – est la requête.

Cette technologie serait amenée à s'incorporer à des objets banals, comme nos réveils, réfrigérateurs et miroirs de salle de bain. Elle est déjà présente dans les lunettes de réalité augmentée Glass de Google.

Dans une époque où beaucoup de données se dématérialisent vers le Cloud, ces assistants prédictifs sont censés filtrer dans les flots d'informations celles qui nous sont réellement utiles en apprenant à nous connaître.

Évidemment, une telle connaissance approfondie de nos activités, habitudes et préférences soulève la question de la sphère privée. La publicité ciblée a déjà fait son apparition, et la peur d'une exploitation commerciale de nos données peut contrebalancer pour beaucoup l'intérêt de ces applications.

D'après un article de l'International Herald Tribune paru le 29 juillet 2013

majeurs en matière de stockage de l'électricité dans les batteries ont permis un fort développement des équipements utilisant ce mode d'alimentation. C'est en particulier le cas de la locomotion automobile électrique. Pour la recharge des voitures, les bornes de rechargement sont nombreuses et bien réparties sur tout le territoire. Les robots d'assistance physique qui utilisent les mêmes bornes bénéficient donc pour leur alimentation de cette large dissémination des moyens de rechargement.

Pour le développement des RAP comme pour celui des sources d'alimentation, aucune pénurie de matières premières n'a constitué un facteur limitant. C'est en particulier dû aux progrès substantiels qui ont été réalisés dans le recyclage des éléments métalliques les plus rares. C'est aussi grâce au développement de l'utilisation de pièces à base de carbone, de composants moléculaires ou d'actuateurs organiques (« muscles artificiels » et non plus magnétiques), venant en substitution des éléments constitutifs à base de métaux utilisés à l'origine.

Le large développement de la filière RAP a eu pour effet, surtout pour les équipements de large diffusion, d'aboutir à une standardisation des composants y compris pour des robots relativement complexes. La maintenance est donc facilitée : quand un composant ne fonctionne plus, on remplace l'élément qui le contient à partir d'un diagnostic simplifié. Cette standardisation permet des gains importants en termes de disponibilité et de coût.

J'ai un nouveau collègue : il est sympa, c'est un RAP

Le caractère accéléré de ces évolutions technologiques n'a pas eu d'effet de repoussoir sur la société. Au contraire, un débat serein s'est poursuivi tout au long de la période entre la société, les experts, le pouvoir politique et le monde de l'industrie : la société a pourtant connu des mutations importantes liées à la révolution technologique en cours, mais elle les a intégrées sans difficulté notable. La croissance retrouvée et ses fruits partagés, notamment à travers la mise en place d'une sécurisation sociale ont concouru à la sérénité des débats. Pour les RAP plus précisément, cela s'est traduit notamment par la mise en place d'un cadre normatif dans lequel se développent des études d'évaluation concertée des risques dans un contexte de négociations multilatérales entre les différentes parties prenantes.

Ce changement de paradigme technologique est intervenu dans un contexte démographique de vieillissement d'une population active en faible croissance grâce à sa féminisation. Il a nécessité une forte mobilisation de toutes les ressources disponibles en matière de formation tant dans le domaine de la formation professionnelle initiale que dans celui de la formation continue. À tous les niveaux de l'appareil productif de forts besoins en main d'œuvre se font sentir, de la recherche fondamentale à la production. C'est aussi dans ce paysage de force de travail trop peu nombreuse qu'une immigration choisie a été mise en place.

Les RAP ont aussi été identifiés comme des éléments majeurs d'amélioration et d'enrichissement des conditions de travail. Ils favorisent le maintien dans l'emploi du travailleur vieillissant, notion très importante dans le contexte de vieillissement de la population active et diminuent la pénibilité de certaines tâches.

On a assisté dans le même temps à une re-régulation de l'emploi (législation plus protectrice, limitation des recours à l'intérim, aux contrats à durée déterminée et au temps partiel non choisi) qui s'est traduite, dans le contexte de relative pénurie de la main d'œuvre décrit précédemment, par une augmentation des salaires. Les RAP permettent également d'augmenter la productivité d'une main d'œuvre rare et chère et d'assurer sa pérennité au travail. Ils peuvent également permettre dans certains cas l'employabilité de certaines personnes éprouvant des difficultés à acquérir le niveau de compétences requis par la révolution technologique en cours.

Le dessous des cartes

Au niveau géographique, cette très forte progression fondée sur une succession rapprochée d'innovations technologiques majeures, elles-mêmes issues de transferts technologiques en provenance des laboratoires de recherche, s'est traduite par un retour de la prééminence des pays occidentaux et du Japon dans ce secteur d'équipements sophistiqués au détriment des pays émergents notamment asiatiques. L'avance technologique des États-Unis dans le domaine de la robotique militaire, celle du Japon pour les robots humanoïdes et spécialisés dans le transport de personnes ou celle de l'Europe dans la robotique de service (que ce soit au niveau industriel ou pour l'aide à la personne) ont constitué des facteurs déterminants pour ancrer ces politiques de transfert et favoriser le dépôt de nombreux brevets. Elles se sont accompagnées également de choix politiques forts destinés à maintenir cette avance.

La filière a bénéficié de soutiens financiers massifs de la part des États au niveau de la recherche, du développement et du transfert en direction des entreprises. Compte tenu de la multiplicité des secteurs d'application concernés, de nombreuses entreprises de faible taille ou de taille moyenne ont pu, grâce à ces crédits, investir le secteur au niveau de la conception des équipements. Elles coexistent avec quelques grosses sociétés déjà impliquées dans le marché de la robotique qui ont développé elles-mêmes des applications de plus large diffusion ou qui ont assuré un élargissement de la diffusion des réalisations des plus petites entreprises. C'est en particulier vrai pour le secteur sanitaire et celui de l'aide à la personne. Il s'agit de favoriser financièrement le recours aux RAP dans un contexte où la main d'œuvre disponible est rare alors que les besoins sont croissants.

Un bouleversement des pratiques productives

L'importance des débats de société liés aux nouvelles possibilités qu'ouvre l'utilisation des RAP a été soulignée précédemment. C'est qu'on a assisté tout au long de la période à un changement radical de certaines pratiques.

Au niveau du **secteur primaire**, ce changement s'est traduit par une évolution du modèle de production agricole. Ce dernier se caractérise par un renforcement de l'agriculture raisonnée dans une logique de développement durable et des circuits courts (maintien de l'agriculture de proximité). On assiste également à une augmentation de l'offre de produits biologiques. Ces évolutions n'ont été rendues possibles que par l'utilisation de matériels plus petits et collaboratifs de type RAP qui viennent augmenter la productivité pour des opérations comme le désherbage ou la taille et limiter plus ou moins radicalement le recours aux intrants.

Les industries de process ont subi de forts bouleversements, les **industries pétrolière et chimique** en particulier :

- adaptation à de nouvelles formes d'énergie fossiles disponibles,
- nouveau mode de gestion des ressources disponibles fortement basé sur une économie circulaire et une chimie durable.

De même la **sidérurgie** et l'**électrométallurgie** ont été confrontées à la nécessité de développer des matériaux aux propriétés nouvelles qui ont également imposé une rénovation poussée des installations existantes et la création de nouvelles unités qui imposent l'utilisation des RAP (confrontation de l'homme à des milieux dangereux par exemple).

L'**industrie manufacturière**, elle, a bénéficié à plein du changement de paradigme technologique qui caractérise la période, tant au niveau de la productivité qu'à celui de la qualité de la production ou de la protection industrielle.

Même si le **nucléaire** a vu sa part relative de marché diminuer, le parc de centrales à faire fonctionner (voire à démanteler) est suffisamment grand pour maintenir une activité dynamique pouvant inclure le développement de nouveaux réacteurs.

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

Dans le **bâtiment** et les **travaux publics**, on a assisté à un très fort développement des RAP liés à plusieurs facteurs :

- face à une demande très soutenue liée à une forte expansion des activités de construction, il est devenu nécessaire d'augmenter la productivité ;
- le développement sous tous azimuts des RAP et la standardisation des éléments constitutifs évoquée précédemment ont permis la conception de robots spécifiques des activités de bâtiment ;
- enfin, la santé et la sécurité au travail sont des éléments constitutifs des larges débats de société qui accompagnent les révolutions technologiques : dans ce contexte, une sinistralité plus forte et la notion même de pénibilité, trop souvent associées à la construction, sont devenues difficilement acceptables.

Le **secteur tertiaire** a bénéficié d'un effet boule de neige grâce aux technologies développées dans le secteur secondaire et à la forte valeur ajoutée dégagée. L'aide à la personne notamment en a été très largement bénéficiaire.

Dans le domaine de la **logistique** et des **transports**, une logique d'efficacité maximale à un coût minimal (en particulier pour tout ce qui concerne l'énergie) s'est développée. On a assisté à une massification de la logistique amont, dans une logique d'augmentation du remplissage des wagons et camions. Et dans le même temps à une multiplication et une diversification des plateformes du dernier kilomètre. Entre ces dernières et le client final, on a observé aussi une flexibilité augmentée grâce à l'utilisation de véhicules plus légers. L'automatisation s'est poursuivie, mais dans le même temps, il est devenu nécessaire de fournir aux opérateurs des installations du dernier kilomètre des équipements tels que des RAP, assurant une meilleure productivité et une plus faible charge physique. Cela a, en particulier, été rendu possible grâce aux progrès sur l'autonomie des batteries et les infrastructures de recharge.

LAVAGE DU CERVEAU EN MACHINE

Des scientifiques américains s'approchent des scénarios de science-fiction dystopique en développant des techniques pour manipuler la mémoire et inoculer des instructions d'un ordinateur directement dans le cerveau.

Ainsi, en juillet 2013, des chercheurs au Massachusetts Institute of Technology ont annoncé avoir été capables de créer un souvenir artificiel chez une souris.

Dans le magazine Science, les scientifiques ont rapporté qu'ils avaient fait en sorte qu'une souris se souvienne d'avoir reçu un choc électrique en un lieu quand en réalité elle avait reçu la décharge en un endroit totalement différent. Les chercheurs n'ont pas été capables de créer des pensées entièrement nouvelles, mais ont artificiellement associé un sentiment négatif à un souvenir neuronal préexistant en le croisant avec un autre souvenir.

En 2011, des scientifiques d'une équipe de l'université de Boston en collaboration avec des laboratoires de neurosciences informatiques à Kyoto ont publié un article sur un processus appelé feedback neuronal décodé. Il s'agit d'envoyer des signaux au cerveau par le biais d'une machine d'imagerie à résonance magnétique fonctionnelle, capable d'altérer la structure de l'activité cérébrale d'une personne.

À terme, ces scientifiques croient pouvoir faire acquérir des aptitudes à une personne pendant son sommeil en inoculant des informations dans son cerveau. Il serait ainsi possible d'apprendre à jouer d'un instrument, à maîtriser une nouvelle langue ou de pratiquer une discipline sportive.

La programmation et re-programmation du cerveau humain seraient donc bientôt à la portée des humains, quelles que soient leurs intentions.

D'après un article paru dans l'International Herald Tribune le 6 août 2013

Pour ce qui concerne le **traitement des déchets**, c'est la logique d'un recyclage très poussé qui a prévalu. Dans ce contexte, une part importante de la responsabilité a été transférée au producteur initial du produit. En revanche, les collectivités locales ont vu leur rôle limité et n'assurent plus la collecte et le traitement que de quantités limitées (déchets organiques). Une part importante est faite aux RAP, plus souples et moins coûteux qu'une automatisation complète adaptée au traitement de gros volume.

Dans le **secteur sanitaire**, la robotique médicale s'est développée là où elle offre un retour sur investissement, c'est-à-dire pour les interventions longues, complexes et donc coûteuses. La précision et la fiabilité du geste étant améliorées, c'est pour le chirurgien la possibilité de mieux absorber la demande avec moins de fatigue et des périodes moindres de concentration soutenue. La jeune génération de chirurgiens s'étant engagée dans l'apprentissage de la chirurgie assistée par la robotique, on peut constater, à la lumière du développement technologique, que les procédures chirurgicales tout en étant moins invasives sont de plus courte durée. La robotique d'assistance à la rééducation s'inscrit dans l'optique d'assister kinésithérapeutes et ergothérapeutes en développant des programmes de rééducation de la marche ou de la préhension, autonomes afin de limiter l'intervention du thérapeute.

Le développement a été massif dans le domaine de l'**aide à la personne**, tant au niveau de l'équipement des établissements que pour le maintien à domicile. Il a été facilité par de nombreux facteurs : coût raisonnable (production de masse), maintenance assurée, pas de phobie en général, population avec un niveau de vie élevé ou couverture sociale adaptées. Les débats de société en France ont fait que, contrairement à d'autres pays, ce n'est pas le choix de robots humanoïdes qui a été privilégié, mais celui de l'utilisation de dispositifs médicaux destinés à faciliter le travail des soignants, dans les hôpitaux et établissements de soins, mais aussi à domicile.

La **défense** et la **protection civile**, ont eu un rôle moteur dans le développement initial des RAP, notamment à travers le développement des technologies permettant d'aboutir au « soldat augmenté » (exosquelettes, aide au portage...). Bien que les armées aient plutôt, au final, privilégié une robotisation autonome, la diversité des terrains et des types d'engagement imposent cependant le maintien d'unités de soldats augmentés qui viennent plutôt en complément (et en seconde intention) de l'utilisation des unités entièrement robotisées.

Scénario 4. Peu de place pour les RAP

La croissance économique est revenue mais les RAP sont marginaux par rapport à l'utilisation d'une main d'œuvre à bas coût (ouverture des frontières) et à une automatisation poussée des installations. L'utilisation des RAP est limitée à quelques secteurs comme le nucléaire. Les préoccupations environnementales sont faibles mais une certaine transition énergétique a été effectuée.

Une oasis de paix dans un monde en crise

Les années 2020 ont vu le retour d'une croissance économique significative dans les pays dits développés. Cette croissance s'est accompagnée d'une hausse de la consommation. À l'échelle mondiale, cette reprise dans les pays occidentaux est apparue d'autant plus paradoxale qu'elle a coïncidé avec la survenue de crises politiques majeures dans certains pays émergents et certains pays en voie de développement. En France, cette amélioration de la situation économique a profité aux services, plus qu'à l'industrie. Les coûts de production ont fortement baissé grâce à une forte réduction du prix de revient de la main d'œuvre. Une automatisation poussée des procédés (robots en cage) et la disponibilité d'une main d'œuvre abondante à faible coût ont limité le développement significatif des robots d'assistance physique à certains secteurs d'activité comme le nucléaire et les services d'aide à la personne.

La forte baisse du coût du travail est l'une des conséquences d'une dérégulation progressive de l'emploi, avec une très forte augmentation du nombre des travailleurs ayant adopté le statut d'auto-entrepreneurs ou ceux dont le statut est régi par des contrats zéro heure. Le droit du travail est limité à sa plus simple expression : la négociation individuelle directe entre l'employeur et le travailleur prime. Cela a eu pour effet de créer un marché de l'emploi dual. Il est composé, d'une part, de travailleurs avec un niveau de qualification élevé, employés pour des tâches très techniques et, d'autre part, de travailleurs avec un faible

LE CONTRAT ZÉRO HEURE

Le Royaume-Uni, connu pour ses dispositions libérales en matière économique, possède pour le marché du travail un dispositif aux contraintes minimales, le « contrat zéro heure ».

La formule est simple. Un travailleur employé sous les termes du contrat zéro heure s'engage auprès d'un employeur à être disponible pour travailler sans aucune spécification de durée ni de date de travail. L'employé n'est pas obligé d'accepter le travail qui lui est proposé ; l'employeur n'a pas non plus d'obligation de fournir du travail à l'employé.

Comme seules les heures effectivement travaillées sont rémunérées, il s'agit donc d'une façon, pour l'employeur, d'avoir à sa disposition du personnel au moment où il en a besoin et seulement pour le nombre d'heures requises, sans autres obligations envers ses salariés.

Si l'employé y trouve une liberté de travailler quand il le veut, l'absence d'une garantie de revenus stables le met surtout en situation de précarité.

Selon les chiffres officiels, quelque 200 000 personnes sont employées sous ce régime, mais selon des études récentes, elles seraient jusqu'à 1 million à travailler en contrat zéro heure, surtout dans les secteurs de l'hôtellerie et restauration, de la distribution et de la santé. Pour les travailleurs dans les secteurs de l'aide à la personne et des soins à domicile, ce serait même plus de la moitié des employés qui serait assujettie à ce régime.

Si le gouvernement prévoit d'éviter les abus par une réglementation renforcée, la Confederation of British Industry, organisation du patronat au Royaume-Uni, affirme que c'est justement la flexibilité du contrat zéro heure qui aurait permis de maintenir, en ces temps de crise, le taux de chômage nettement plus bas que dans les autres pays de l'Union européenne.

D'après un article paru dans Les Échos le 22 août 2013

niveau de qualification et au statut très précaire. Cette dualité d'emplois et de statuts correspond aussi à une large ouverture des frontières, à une immigration aux niveaux de qualifications extrêmement variables. Cette immigration est notamment alimentée par les crises politiques qui secouent le monde mais épargnent le territoire des pays dits développés.

Ce retour de la croissance a aussi impliqué des besoins massifs en termes de formation initiale et continue, tant pour assurer l'employabilité d'une population active autochtone vieillissante que parce que de nouveaux métiers se sont ouverts aux femmes. L'afflux d'une main d'œuvre immigrée nombreuse a, lui aussi, imposé la mise en place de formations pour adapter ses compétences aux emplois à pourvoir. À tous les niveaux de l'appareil productif, des besoins significatifs en main d'œuvre se font sentir, de la recherche fondamentale à la production. Le secteur privé a également pris en charge une part importante de cet effort de formation, dans un contexte de relative rareté de la main d'œuvre et d'une concurrence accrue pour attirer et garder les plus qualifiés.

Dans une société où le contrat individuel a largement pris le pas sur le contrat collectif, et dans un contexte marqué par un rôle de l'État strictement limité aux tâches régaliennes, le débat public s'est appauvri. En outre l'influence de la fraction de la population la plus âgée (et la plus prospère) de la société est de

plus en plus forte. Les débats de la société civile à propos des orientations à prendre sont réduits. En particulier, une utilisation très restrictive du principe de précaution le vide peu ou prou de sa substance : l'État a perdu pour partie sa légitimité à légiférer pour tout ce qui n'est plus considéré comme ses tâches essentielles (sécurité intérieure et extérieure). La pression exercée par la société civile pour que soient pris en compte les problèmes environnementaux reste très modérée et ne concerne qu'une fraction minoritaire des citoyens. Il convient également de signaler que cela intervient dans un contexte où les sociétés occidentales apparaissent comme des oasis de paix et de prospérité dans un monde très chaotique marqué par des conflits de haute intensité.

Le choix de l'automatisation et de la main d'œuvre

Alors que les tendances lourdes étaient à l'augmentation de la part du secteur tertiaire, on a assisté à un certain renouvellement de l'appareil productif dans le secteur secondaire. Il est surtout caractérisé par une forte automatisation des nouvelles installations.

Concernant les RAP, aucun seuil technologique majeur n'a été franchi. Les équipements à disposition sont donc relativement peu « intelligents » et leur action est fortement inspirée

et contrôlée au plus près par leurs partenaires humains. Pour autant, ils sont capables de se déplacer dans des environnements variés, grâce à des progrès des technologies de la locomotion et de la mécatronique. En revanche, les recherches dans le domaine de l'intelligence artificielle n'ont pas encore abouti à des résultats concrets directement exploitables. On est incapable de concevoir des robots pouvant communiquer et interagir physiquement sans risques pour l'homme. Cela constitue évidemment une limitation majeure pour les robots d'assistance à la personne.

En 2030, le développement de ces équipements n'est pas entravé par des contraintes majeures liées à la disponibilité de l'énergie ou des matières premières (même si le coût global reste orienté à la hausse). Le prix de l'énergie reste limité par rapport au coût de l'investissement et du fonctionnement des installations ou équipements robotisés. Le développement de l'automobile électrique, au moins en milieu urbain, fait que l'autonomie ne constitue pas un facteur particulièrement limitant dans la mesure où robots d'assistance physiques et voitures peuvent être rechargés aux mêmes bornes.

Grâce aux progrès substantiels qui ont été réalisés dans le développement de systèmes qui demandent moins de métaux rares, par exemple à base de carbone, de composants moléculaires ou d'actuateurs organiques (« muscles artificiels » et non plus magnétiques), aucune pénurie majeure n'est intervenue

En France, les aides de l'État au développement de la robotique (classique ou utilisée pour les RAP) restent très limitées et répondent surtout à des effets d'annonce. Elles sont trop fluctuantes dans le temps pour permettre l'émergence de véritables acteurs, même si quelques travaux universitaires innovants peuvent trouver des applications. Les aides restent, de toute façon, limitées en nombre et en volume. Le secteur privé se mobilise

DES ROBOTS EN INTELLIGENCE PARTAGÉE

La science-fiction dépeint traditionnellement les robots sous une forme humanoïde, et ce n'est donc nullement une surprise qu'à travers le monde, une multitude de projets cherche à créer de telles machines partageant des traits physiques avec les humains. Comme les humains ont tendance à les considérer comme des personnes, cette humanisation facilite l'acceptation d'interagir naturellement avec ces machines.

Le développement des robots humanoïdes a pris un nouveau tournant, ces dernières années, avec la naissance de projets collaboratifs où des chercheurs de divers laboratoires travaillent sur des projets réunis sur une seule plateforme standardisée qui intègre des programmes issus de différents laboratoires et disciplines. Ce partage s'opère à travers des bases de données communes accessibles en open source.

Ainsi, le consortium européen Robot-Cub fédère des laboratoires universitaires de disciplines aussi variées que la psychologie développementale, la neurophysiologie ou encore l'informatique, qui collaborent au développement d'iCub, un petit robot humanoïde de laboratoire, conçu pour étudier le processus d'apprentissage en interaction avec des humains. Les domaines concernés incluent l'apprentissage du langage, la curiosité artificielle ou l'interaction par le toucher.

Si chaque équipe de recherche travaille de manière indépendante, le projet coordonne l'intégration des travaux, afin de faire évoluer le robot. À chaque fois qu'un nouveau logiciel est mis au point, les chercheurs le rendent accessible, suivant le principe de l'open source, sur sa plateforme de robotique.

Si ces robots humanoïdes sont encore très chers et trop confinés à leur environnement de laboratoire, un petit frère d'iCub, Nao, également issu d'un processus de développement collaboratif en open source, est déjà employé dans un hôpital italien comme soutien psychologique d'enfants malades, où il remplace les animaux domestiques, jugés trop coûteux et pas assez hygiéniques.

D'après un article paru dans Le Monde du 4 septembre 2013

également assez peu sur les RAP et fait porter l'essentiel de son effort sur le secteur dominant, celui de la robotique industrielle classique ou sur l'automatisation complète, à moins qu'il ne repose sur de la main d'œuvre.

Au bilan, le développement mesuré de l'utilisation de la robotique en France (surtout pour la robotique classique, plus marginalement pour les RAP) est plus porté par l'importation d'équipements développés ailleurs dans les pays développés que par l'émergence d'une véritable filière française.

Une utilisation marginale des RAP dans l'industrie sauf dans le nucléaire

Dans les **industries de process**, dont le déclin s'est poursuivi, les quelques activités nouvelles ou reprofilées n'ont pas suffi à justifier le développement de robots d'assistance physique spécifiques : là aussi, c'est l'automatisation complète qui est dominante. C'est le cas des industries manufacturières. Toutefois, quelques applications issues du domaine du nucléaire ou de l'armement ont trouvé des débouchés plus larges. En effet l'**industrie nucléaire** constitue l'exception : le démantèlement des installations les plus anciennes et le fonctionnement des centrales de nouvelle génération font appel à des robots de télé-opération développés dans la continuité des modèles créés au début des années 2000.

Automatisation ou travail manuel !

Dans le **secteur primaire**, une agriculture intensive et spécialisée ne prenant que peu en compte les considérations environnementales constitue le modèle largement dominant. Elle laisse peu de place aux agricultures biologique ou maîtrisée. Le développement de RAP pour le maraîchage ou des activités comme la taille ou le désherbage mécanique reste une activité de niche. En outre, l'ouverture des frontières a permis l'entrée d'une main d'œuvre jeune et peu coûteuse.

Le **bâtiment** et les **travaux publics** sont confrontés à un marché du travail intérieur caractérisé par une main d'œuvre abondante, peu qualifiée mais bon marché. Compte tenu de la volatilité de la situation internationale, les chantiers à l'exportation se sont raréfiés et ne concernent plus que des opérations très spécialisées et stratégiques. Aucun équipement spécifique de type RAP n'a été conçu.

Le **secteur tertiaire** bénéficie à la fois de ressources financières substantielles dues à la reprise économique et d'une main d'œuvre abondante et bon marché.

Dans le secteur des **transports** et de la **logistique** et dans celui du **traitement des déchets**, les options prises dans les années 2000 à 2015 basées sur une automatisation aussi poussée que possible n'ont pas été remises en cause. Les modifications d'unités et les créations d'installations neuves se sont faites ultérieurement sur le modèle développé au cours de cette période du début du XXI^e siècle. La logistique privilégie la réception de palettes complètes et le stockage en racks automatisés. Au niveau de la grande distribution, c'est aussi une mise en rayon automatisée qui est privilégiée. De même, dans le traitement des déchets, l'intervention des opérateurs reste très marginale, destinée à pallier les pannes et principaux dysfonctionnements. Si la présence de salariés sur les installations de tri et de traitement reste faible, des populations importantes peuvent être mobilisées à un coût faible pour faire face à ces problèmes techniques occasionnels.

Le **secteur sanitaire** n'a pas connu un développement important de l'utilisation des robots d'assistance physique ni dans le domaine chirurgical pour augmenter la précision et l'efficacité des opérations, ni dans le domaine de la rééducation. Les quelques expériences réalisées n'ont pas apporté de plus-value technique notable par rapport aux coûts supplémentaires qu'elles ont engendrés. En outre, leur prise en charge financière par les systèmes de sécurité sociale est très limitée.

Pour ce qui concerne l'**aide à la personne**, l'équipement des foyers est important, au moins pour la frange aisée de la population, mais il concerne principalement la robotique domestique et de service (la réalisation des tâches ménagères ou l'aide au portage des courses). L'offre correspond pour l'essentiel à un élargissement de celle qui était disponible en 2010. Elle n'est pas réellement spécifique du maintien à domicile des personnes dépendantes : les robots domestiques (aspirateurs, laveurs de sol ou de vitres, repasseurs...). Ces robots peu intelligents et autonomes seulement sur des tâches très ciblées sont avant tout des appareils électroménagers. Les personnes dépendantes bénéficient surtout du support d'aidants spécialisés souvent issus de l'immigration. Au niveau des établissements d'accueil, c'est un système analogue qui domine.

Au niveau de la **défense**, c'est également un choix de robotisation autonome ou surtout télécommandée à outrance qui a été effectué. Il correspond à la survenue sur le globe d'un ou plusieurs conflits de haute intensité dans lesquels des pays occidentaux ont été ou ont craint d'être impliqués, le tout renforcé par une intégration croissante des armées occidentales dans le cadre de l'OTAN, donc sur un modèle états-unien. Le combattant humain n'intervient donc plus que de façon résiduelle. Les unités concernées sont composées de soldats « augmentés » qui bénéficient de robots d'assistance physique perfectionnés (exosquelettes destinés à favoriser le déplacement ou le portage...), mais leur intervention est devenue exceptionnelle. C'est à partir de ces équipements qu'une partie significative des quelques RAP utilisés au niveau industriel dans les pays occidentaux a été conçue.

Impacts en santé et sécurité au travail des scénarios et conséquences sur les besoins en prévention

Dominique CHOUANIÈRE, Séverine BRUNET, Nathalie GUILLEMY, Jérôme TRIOLET, INRS.

Les quatre scénarios présentés antérieurement ont vocation à explorer l'univers des possibles dans le domaine du développement des robots d'assistance physique (RAP) à l'horizon 2030. À cet égard ils sont contrastés, le scénario 3 proposant un essor majeur des RAP dans la société et le monde du travail, les trois autres un développement modéré, le premier étant inscrit dans la continuité de l'implantation actuelle et les scénarios 2 et 4 ne prévoyant quasi aucun développement. Ainsi, les conséquences potentielles vis-à-vis de la prévention en santé et sécurité au travail (SST) sont d'importance inégale selon les scénarios, très limitées dans le cas des scénarios 2 et 4, non négligeables pour le scénario 1, mais beaucoup plus prégnantes pour le scénario 3.

Les risques liés à l'utilisation des RAP, envisagés dans ce travail, peuvent être nouveaux ou actuels et, dans ce dernier cas, leur évolution en termes d'augmentation, de diminution ou de stabilité a été précisée.

Ces risques, détaillés dans les tableaux joints en annexe, ont d'abord été recensés selon les secteurs dans lesquels les RAP sont censés s'implanter. Dans un second temps, ils ont été décrits en considérant l'usage des robots, lequel peut être commun à plusieurs secteurs. Ce sont les risques liés à l'usage qui sont retenus ci-après.

Les activités requises pour prendre en compte et gérer l'ensemble des risques à l'horizon 2030 ont, ensuite, été identifiées.

Enfin, au vu du contexte socio-économique associé à chaque scénario, les possibilités de mise en œuvre de ces activités par la société telle qu'envisagée dans le scénario ont été étudiées.

Cette réflexion sur les conséquences en SST des scénarios a été menée sous certaines hypothèses, telles que le maintien du périmètre territorial de la gouvernance de l'État français et des structures nationales sociales et assurantielles en SST, l'évolution des missions de ces dernières étant, par contre, prise en compte dans chacun des scénarios.

Ont été exclus de cette réflexion, certains secteurs qui relèvent de structures de prévention spécifiques comme les secteurs de la défense et de la protection civile et ce en dépit du recours massif, décrit dans les scénarios 1 et 3, des robots : exosquelettes ou « soldats augmentés », RAP pour le port de charges ou télécommandés de type drone...

Ainsi, les conséquences des scénarios 1 et 3 en termes de SST seront présentées ci-après en six chapitres :

- un rappel pour chaque scénario des caractéristiques qui peuvent impacter la SST ;
- une investigation des différents usages des robots retenus dans le scénario ;
- une identification des risques pour la sécurité et la santé des opérateurs liés à l'usage de robots ;
- une caractérisation de l'impact sur l'organisation du travail de cet usage ;
- une description des activités nécessaires à mettre en œuvre pour gérer les différents risques identifiés ;
- une étude des possibilités de prise en compte par la société, telle que proposée dans le scénario, des activités nécessaires à la prévention des risques identifiés.

Conséquences en santé et sécurité au travail du scénario 1

1. Caractéristiques liées à la SST du scénario 1

Le scénario 1 s'inscrit dans une situation de crise économique durable qui n'a pas permis le développement de projets technologiques ambitieux. Il s'agit d'un scénario de continuité qui correspond à une installation des RAP dans le paysage français, progressive, « molle » et sans rupture majeure. L'utilisation des RAP n'a pas rencontré de réticences particulières dans la société civile. Elle est subie passivement, la société ne s'y prépare pas et ne l'anticipe pas.

Les robots ainsi disponibles sur le marché ne sont pas assez « intelligents » pour être autonomes, mais peuvent se déplacer dans des environnements variés. En milieu de travail, se trouvent des exosquelettes et des RAP incapables d'exécuter seuls une tâche mais aptes à la coactivité avec un humain. Ils se différencient des outils ou machines présents depuis longtemps dans le monde du travail par le fait qu'ils exécutent, avec une finalité commune à l'Homme, une tâche géographiquement et temporellement définie en interdépendance avec lui, le remplaçant complètement pour certains aspects ou l'assistant pour d'autres aspects, sans pour autant avoir la capacité de s'adapter à une nouvelle situation en l'absence d'intervention humaine.

Leur présence a progressé régulièrement et significativement dans certains secteurs particuliers à l'aune de leur rentabilité : industries nucléaires, de process et manufacturière, robotique médicale, prise en charge kinésithérapique, mobilisation assistée des patients dans les établissements de type Ehpad¹. Les RAP sont apparus plus discrètement, dans l'agriculture notamment biologique ou raisonnée, le maraîchage, la viticulture ou la sylviculture pour les opérations de désherbage, de taille, de récolte, de tronçonnage...

¹ Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes

Un ensemble de textes normatifs et réglementaires a été élaboré permettant d'intégrer certains principes de prévention de SST dès leur conception et proposant un cadre pour l'analyse des risques liés à leur usage. Cependant ces robots peu « intelligents » (exosquelettes en particulier), propres à certains secteurs, ont été développés dans des *start-up*, « sans filet », leur conception n'intégrant pas toujours les principes de prévention.

2. Les différents usages des robots dans le scénario 1

Le tableau Scénario 1 décrit les conséquences en SST de l'utilisation des RAP selon les secteurs retenus. L'analyse de l'ensemble des secteurs met en évidence trois circonstances d'utilisation :

- la télémanipulation :
 - pour soustraire l'homme à des environnements délétères : rayonnements ionisants, agents chimiques, conditions climatiques extrêmes, vibrations, champs électromagnétiques... lesquels concernent principalement les industries nucléaire ou de process ;
 - pour améliorer la précision des gestes humains dans l'industrie nucléaire ou la robotique chirurgicale ;
- l'augmentation des performances humaines par des exosquelettes dans l'industrie manufacturière et l'aide à la personne ;
- la coactivité pour des tâches physiques répétitives et/ou exigeantes dans des industries de process ou manufacturières, l'aide à la personne, la rééducation kinésithérapique et toutes les activités agricoles.

3. Risques pour la sécurité et la santé des opérateurs de l'usage des robots

Les risques pour l'individu utilisant directement des RAP ont été envisagés aux plans physique et psychique.

Risques physiques

RAP télémanipulés

Ils pourraient permettre une limitation, voire une disparition de l'exposition aux risques chimiques, biologiques et aux rayonnements ionisants. *A contrario*, cette suppression du risque pour certaines populations pourrait devenir un danger majeur, dans des situations exceptionnelles, pour les opérateurs qui devraient remplacer ou intervenir sur les RAP : opérations d'entretien ou de maintenance, dysfonctionnements, pannes... En effet, les installations conçues pour un fonctionnement avec des RAP, amènent à une réduction, voire à une suppression des protections collectives devenues inutiles et (ré-) autorisent des process mettant en œuvre des produits hautement toxiques pour l'homme. Une intervention humaine dans ces conditions pourrait exposer des opérateurs à des niveaux très élevés de risque.

En ce qui concerne la robotique médicale, un risque nouveau pourrait apparaître avec le recours à des produits nettoyants ou désinfectants spécifiques dont le caractère délétère n'est pas à exclure *a priori*. Par ailleurs, le robot à usage médical peut exiger du praticien le maintien de postures contraignantes comme la station debout.

Exosquelettes

L'utilisation d'exosquelettes pendant une journée de travail tout au long d'une carrière professionnelle pourrait avoir un retentissement ostéo-musculo-articulaire physiologique, voire physiopathologique, non connu à ce jour. Les conséquences pourraient être bénéfiques en termes de préservation du système en diminuant la charge physique ou au contraire délétères le fragilisant ou le détériorant par atrophie, sous-stimulation...

Le port d'exosquelette modifie la répartition des masses et l'inertie de l'opérateur, affectant la gestion de son équilibre et favorisant les chutes.

Les exosquelettes peuvent induire des gestes à amplitude exagérée ou le maintien de postures contraignantes (station debout prolongée...), lesquels sont des facteurs de risque de TMS.

Le contact dermique prolongé avec un exosquelette pourrait entraîner, s'il est non anticipé à la conception, des pathologies cutanées (allergies, dermatoses irritatives...).

Robots coactifs

L'augmentation de la coactivité avec une machine pourrait majorer le risque mécanique et occasionner nombre d'accidents de type heurts, écrasements, étouffements... Dans le domaine de la production agricole, les RAP, équipés d'outils contondants, coupants, tranchants... pourraient exposer à un risque élevé de blessures.

La coactivité homme-machine est source de standardisation du geste, laquelle pourrait devenir encore plus rigide qu'actuellement et entraîner une hyper-sollicitation musculo-articulaire, autre facteur de risque des TMS.

En cas de dérives, de réglages inadaptés ou de dysfonctionnements mineurs, si les marges de manœuvre des opérateurs pour adapter la production aux circonstances, ne sont pas suffisantes, ceux-ci devront en permanence s'ajuster et compenser les aléas dus aux RAP, ce qui aura pour conséquence d'amplifier et non de diminuer leur charge physique.

Risques cognitifs et psychoaffectifs et mutations socioculturelles

La diffusion des RAP aura également tendance à augmenter la charge mentale de l'opérateur, en particulier dans les opérations de télémanipulation et de coactivité du fait du contrôle à exercer sur de multiples paramètres voire sur de multiples RAP.

En cas de réglages inadaptés, de dérives ou de dysfonctionnements mineurs, les opérateurs devront en permanence, comme pour la charge physique, s'ajuster, ce qui aggravera la fatigue mentale.

La grande inconnue d'un recours généralisé aux RAP coactifs, prévu dans le scénario 1 pour des secteurs particuliers, est son retentissement psychologique chez les opérateurs et les mutations socioculturelles dans le monde du travail qu'ils entraîneront.

Sur le plan individuel, comment sera perçue par l'opérateur l'aide physique apportée par le robot ? Est-ce qu'il se percevra en concurrence avec la machine quant à ses performances physiques, voire cognitives (même si les robots proposés dans ce scénario 1 sont peu intelligents) ? La coactivité durable avec un RAP aura-t-elle un retentissement psychoaffectif de type émoussement affectif, repli social, perte de repères identitaires... ?

Dans ces nouveaux contextes, l'évolution des fonctions psychosociales du travail (valeur, sens, construction identitaire, sociale...) sera à prendre en compte : si un robot peut à tout moment remplacer un opérateur, celui-ci pourra-t-il rester engagé dans son travail et

quid du sentiment d'insécurité de l'emploi ? Quelle sera l'évolution des relations entre collègues dans le travail, si le RAP se substitue en permanence à un collègue de travail ?

4. Impact de l'usage des robots sur l'organisation du travail et la santé publique

Dans le cadre du scénario 1, le recours aux exosquelettes ou à des RAP coactifs peut s'accompagner d'une exigence de productivité avec augmentation de la cadence qui pourrait annihiler les effets de diminution de la charge physique. Ils peuvent également permettre d'exposer à des contraintes physiques des populations fragiles aujourd'hui préservées (population vieillissante, à handicap physique...). Ainsi, les TMS seraient toujours présents dans les situations de travail, mais affectant des populations nouvelles et modifiées en nature et localisation du fait des facteurs biomécaniques décrits plus haut (maintien de posture, amplitude exagérée et standardisation des gestes).

Sur le plan de l'organisation du travail, une utilisation importante des RAP dans les industries de process ou manufacturières pourra nécessiter une plus grande parcellisation des tâches, laquelle pourrait rejaillir sur l'activité des opérateurs, les confrontant plus largement à un travail monotone et répétitif.

À l'inverse, on peut envisager que les RAP étant cantonnés aux tâches élémentaires et reproductibles, les opérateurs s'investissent dans des tâches plus complexes (hyperspécialisées, requérant des capacités d'adaptation, d'ingéniosité...), sources d'une plus grande satisfaction du travail.

Le recours généralisé aux RAP pourrait également permettre une plus grande autonomie des opérateurs, par exemple si l'opérateur devient le coordinateur de plusieurs RAP dédiés à différentes tâches d'une activité commune.

L'usage des RAP peut, dans certains cas particuliers, rendre la frontière entre santé au travail et santé publique poreuse. Ainsi l'épandage de pesticides dans un champ par un robot, pourrait entraîner des accidents d'exposition du public, le robot ne détectant pas son passage imprévu.

5. Activités nécessaires à mettre en œuvre pour gérer les risques identifiés

Les activités nécessaires à la gestion des risques potentiels, liés à l'usage des RAP du scénario 1, concernent la recherche, la veille dans les secteurs concernés, la normalisation et la formation tant des usagers que des préventeurs.

Recherches sur les conséquences de l'utilisation des RAP

Pour élaborer des préconisations pertinentes dans le domaine de la prévention SST, il faudra se doter de connaissances sur les impacts de l'utilisation des RAP. Des études observationnelles, expérimentales ou épidémiologiques pourraient concerner les différents champs déjà évoqués :

- effets psychologiques de la coactivité avec des robots ;
- évolution des fonctions psychosociales du travail ;
- retentissement ostéo-musculo-articulaire de l'utilisation longue durée des exosquelettes ;
- etc.

Veille en situation de travail

Elle s'imposera pour évaluer l'importance des changements organisationnels aux postes de travail liés à l'introduction de RAP et s'intéressera plus spécifiquement à l'augmentation de la productivité, la parcellisation des tâches, l'hyperresponsabilisation ou hyperspécialisation des opérateurs...

Elle devra aussi observer l'évolution des problématiques de santé des usagers : mutation des TMS, apparition de pathologies cutanées, relationnelles...

Aide à la conception des RAP : normalisation

Le développement important des RAP dans certains secteurs devra être anticipé et la prévention devra être prise en compte très en amont. À partir d'analyses de risques (que le scénario 1 envisage), les usages des RAP devront être décrits et intégrés dans les processus de conception. Dans le scénario 1, il est envisagé que les exosquelettes ou les RAP coactifs seront développés, comme actuellement, par des *start-up*. Si celles-ci ont la capacité à innover, elles sont souvent dépourvues de connaissances et de moyens vis-à-vis de la SST. Pour les accompagner à intégrer la sécurité dès la conception, il faudra élaborer et diffuser des référentiels et des fiches de normalisation. Ces outils pourront être transversaux à tous les secteurs, mais également adaptés à certains secteurs tels que l'agriculture qui aura recours à des RAP particulièrement dangereux s'ils sont mal conçus, ou l'industrie manufacturière, pourvoyeuse potentielle de TMS.

Une attention particulière sera à apporter à la conception des RAP télécommandés pour prendre en compte les sur-risques pour les opérateurs qui seraient amenés en cas de dysfonctionnements des robots, à intervenir dans des enceintes polluées.

Par ailleurs, les tâches impliquant l'homme et le robot nécessitent de désengager la machine. Dans le cas de coactivité, il est difficile de développer des protections collectives, lesquelles risquent de s'effacer au profit des protections individuelles. Pour protéger l'homme en cas de dysfonctionnements des RAP, les équipements de protection individuelle (EPI) pourront être une solution, mais ceux-ci devront impérativement éviter d'encager l'opérateur à la place de la machine.

Les recommandations édictées pour les concepteurs des RAP devront s'accompagner de préconisations à leur utilisation.

Formation des utilisateurs de RAP

Il faudra former les futurs utilisateurs des RAP aux procédures de bonne utilisation. Le scénario 1 envisage que la population active disposera d'une formation technologique initiale, suffisante et adaptée à l'utilisation d'un robot. Néanmoins, lors de l'introduction d'un RAP dans une situation de travail donnée, il faudra prévoir un accompagnement formalisé et systématique des futurs utilisateurs et une formation appliquée à son bon usage, aux risques associés... Les objectifs de telles formations seraient de limiter les accidents et d'intégrer la prévention des TMS et celle des autres risques au fur et à mesure de leur mise en évidence par la recherche. Par exemple, on pourra envisager de limiter le temps d'utilisation d'un RAP au travail pour éviter des conséquences psychopathologiques, si les études mettent en évidence une relation de type dose-effet.

Formation des préventeurs

Elle concerne l'évaluation des risques aux postes de coactivité homme/robot. Cette évaluation particulière demandera des multicompetences. Pour analyser de façon exhaustive les risques à ce type de postes, il sera nécessaire de former les préventeurs à évaluer le risque machine (compétences en mécanique, automatisme...) et à identifier les conséquences pour l'homme de l'usage de la machine (compétences en ergonomie, psychologie, physiologie...). La création d'une nouvelle compétence en prévention, la « rapologie » pourrait être une réponse adaptée au défi posé par la prévention des risques liés à l'utilisation des RAP.

6. Possibilités de prise en compte par la société des activités de prévention des risques liés à l'usage des robots

Dans le scénario 1 qui correspond à une diffusion insensible des RAP dans le monde du travail et à une utilisation limitée à certains secteurs, leur prise en compte par le monde du travail est difficile à inscrire dans le temps : quand mettre en place des études d'impact, s'attaquer à la normalisation, à la réglementation, développer des recherches appliquées ?

Par ailleurs, la crise économique durable compromet la sensibilisation et la mobilisation de l'opinion publique et des décideurs ainsi que le déblocage de moyens financiers pour traiter les problématiques sociétales nouvelles telles que l'usage des RAP. Ce manque de ressources impacte principalement la recherche, la normalisation et la diffusion des bonnes pratiques.

Dans cette évolution sociétale sans rupture, les activités nécessaires en prévention évoquées précédemment risquent de ne pas voir le jour car la société décrite dans le scénario 1 suit l'évolution sans être proactive vis-à-vis de la prévention à mettre en œuvre. En particulier, la compétence en « rapologie » n'arrive pas à s'imposer, les ingénieurs et les ergonomes continuant à évaluer en parallèle et sans concertation les risques liés à la coactivité homme/robot.

Conséquences en santé et sécurité au travail du scénario 3

1. Caractéristiques liées à la SST du scénario 3

Le scénario 3 parie sur une redynamisation durable des secteurs économique et industriel français permettant un fort développement technologique des RAP dont le déploiement est d'autant plus rendu nécessaire que la population active est vieillissante. Scénario de rupture par rapport à la situation actuelle, il envisage une diffusion massive, dans la société et dans de nombreux secteurs professionnels, de robots de tous types. Ce recours massif aux RAP ne rencontre pas de réticences particulières dans la société civile.

Les RAP disponibles sont donc multiples. Des robots de première génération (exosquelettes ou robots coactifs) cohabitent avec des robots devenus intelligents. Les

exosquelettes ont élargi le spectre de leurs tâches et des secteurs où ils sont utilisés, investissant des secteurs physiquement exigeants comme les BTP ou la filière déchets. Les robots coactifs exécutent des tâches de plus en plus précises et diversifiées, mais toujours sans capacité d'autonomie. Sont également présents des robots intelligents, habiles en particulier sur les chaînes de montage, doués d'excellentes capacités de dextérité et d'initiative pour les opérations à distance. Ils peuvent être de type humanoïde pour l'aide à la personne, et ils sont devenus des partenaires à part entière pour l'homme au travail. Ces robots sont équipés de batteries à grande capacité qui leur procurent une autonomie énergétique considérable. Quel que soit leur type, les RAP sont pourvus d'une bonne fiabilité et d'une grande sûreté de fonctionnement en ce qui concerne leurs applications professionnelles.

La présence de ces robots s'est imposée dans tous les secteurs : agriculture (notamment biologique ou raisonnée), industrie de process (pétrolière, chimique, sidérurgique et électrometallurgique), industries manufacturière et nucléaire, secteurs du BTP, de la logistique et des transports, traitement des déchets, robotique médicale, prise en charge kinésithérapique, mobilisation assistée des patients en établissements et à domicile.

Un ensemble de textes normatifs et réglementaires a été édicté imposant l'intégration de la SST dès la conception des RAP et formalisant l'analyse des risques liés à leur usage. Les RAP sont considérés comme des éléments majeurs d'amélioration et d'enrichissement des conditions de travail.

L'Europe a développé plus particulièrement la robotique de service au niveau industriel ou pour l'aide à la personne. La filière de production est structurée en quelques grandes sociétés qui ont assuré une large diffusion de produits conçus dans de nombreuses petites et moyennes entreprises.

2. Les différents usages des robots dans le scénario 3

Le tableau Scénario 3 en annexe décrit les conséquences SST de l'utilisation des RAP selon les secteurs concernés. L'analyse de l'ensemble des secteurs met en évidence trois circonstances d'utilisation :

- la télémanipulation :
 - pour soustraire l'homme à des environnements délétères comme dans le scénario 1 (rayonnements ionisants, agents chimiques, conditions climatiques extrêmes, vibrations, champs électromagnétiques...) lesquels concernent, en plus des industries nucléaire ou de process, mais dans une moindre mesure, le traitement des déchets ;
 - pour améliorer la précision des gestes dans l'industrie nucléaire ou la robotique chirurgicale déjà mentionnées dans le scénario 1 ;
- l'augmentation des performances humaines par des exosquelettes dans l'industrie manufacturière et l'aide à la personne citées dans le scénario 1 mais également dans des secteurs spécifiques du scénario 3 : BTP, transports et logistique ;
- la coactivité ou la collaboration pour des tâches physiques répétitives et/ou exigeantes dans des industries de process ou manufacturières, l'aide à la personne, la rééducation kinésithérapique et, plus spécifiquement dans le scénario 3, l'agriculture biologique et raisonnée, le secteur des BTP et celui des déchets.

3. Risques pour la sécurité et la santé des opérateurs de l'usage des robots

Les risques pour l'individu utilisant directement des RAP sont envisagés aux plans physique et psychique.

Risques physiques

RAP télémanipulés

Comme précédemment, le recours aux RAP télémanipulés pourrait permettre une limitation, voire une disparition de l'exposition aux risques chimiques, biologiques et rayonnements ionisants, sauf dans le secteur des déchets dont le développement ne sera pas suffisamment automatisé. A contrario, comme pour le scénario 1, cette protection pourrait devenir, dans des situations exceptionnelles, un danger majeur pour les opérateurs qui devraient remplacer ou intervenir sur les RAP : dysfonctionnements, réglages, opérations de maintenance, pannes, etc. les exposant à des niveaux très élevés car non prévus pour une intervention humaine.

En ce qui concerne la robotique médicale, un risque nouveau déjà mentionné précédemment pourrait apparaître avec le recours à des produits nettoyants ou désinfectants spécifiques dont le caractère délétère n'est pas à exclure a priori.

Exosquelettes

Comme évoqué dans le scénario 1, l'utilisation d'exosquelettes pourrait avoir un retentissement ostéo-musculo-articulaire physiologique voire physiopathologique (en termes de préservation, de fragilité ou de détérioration du système), générer des pathologies cutanées (allergies, dermatoses irritatives...) et favoriser les chutes d'autant plus graves si elles se produisent dans le BTP, car devenant des chutes de hauteur.

Dans le cadre du scénario 3, le recours aux exosquelettes vise à diminuer la charge et la pénibilité de l'activité physique. Néanmoins, ils peuvent favoriser, comme précédemment, les gestes à amplitude exagérée ou le maintien de postures contraignantes, par exemple dans le secteur de la logistique. La fréquence des TMS pourrait diminuer dans certains secteurs (agriculture, industrie manufacturière) mais augmenter dans d'autres (BTP, déchets et logistique) et leur nature et leur localisation pourraient en être modifiées.

Robots coactifs et intelligents

Le risque dominant de ces robots est le risque accidentel et ce malgré l'amélioration de leurs performances. En effet, les robots devenus autonomes sur le plan énergétique se déplacent avec leur électronique embarquée et leurs sources d'énergie (batteries ou câbles électriques) et génèrent des champs électromagnétiques. Les rayonnements électromagnétiques produits peuvent interférer avec d'autres équipements posant des problèmes d'incompatibilité.

L'autonomie de déplacement des RAP est source de collisions avec l'environnement, notamment avec les autres machines, à l'origine d'incidents ou accidents électriques ou d'explosions, ou avec des éléments de structure (échafaudage, éléments porteurs...) pouvant donner lieu à des accidents-catastrophes dans l'industrie comme sur les chantiers...

L'augmentation de la coactivité ou de la collaboration homme/machine généralisera l'exposition des opérateurs au risque mécanique. Cependant, ces robots mieux conçus exposeront, moins que dans le scénario 1, les opérateurs à des gestes très standardisés ou à une gestion physique coûteuse de leurs dérèglements. Les risques d'accident auront été également mieux pris en compte lors de la conception des RAP notamment dans les secteurs où leur utilisation est ancienne (industrie manufacturière et aide à la personne).

En revanche, dans les secteurs des BTP, des déchets, de la logistique et de l'agriculture, le risque accidentel restera élevé.

La généralisation de la robotisation entraînera la mise en réseau de multiples robots en systèmes avec des fonctions très variées. Les risques d'actes de malveillance (hacking) ou de défaillance d'un système (d'information par exemple) pourront avoir des conséquences pour la santé/sécurité des opérateurs, les rendant, par exemple, captifs d'une salle sécurisée électroniquement et bloquée par le système.

Risques cognitifs et psychoaffectifs et mutations socioculturelles

La large diffusion des RAP aura tendance à augmenter la charge mentale des utilisateurs, en particulier pour les opérations de télémanipulation, de coactivité ou de collaboration du fait du contrôle à exercer sur de multiples paramètres voire sur de multiples RAP. En revanche, leur conception améliorée et l'intégration dès la conception des conditions d'utilisation en mode dégradé devraient protéger les opérateurs de la sur-fatigue mentale d'ajustement lié aux dysfonctionnements.

La grande inconnue d'un recours généralisé, dans certains secteurs, aux RAP coactifs mais plus encore intelligents est son retentissement psychologique chez les opérateurs et les mutations socioculturelles qu'il entraînera dans le monde du travail.

Sur le plan individuel, le robot intelligent pourrait, plus encore que précédemment, déstabiliser l'opérateur qui se percevrait en concurrence dans ses performances physiques, affectives et cognitives. La coactivité ou la collaboration durables avec une machine auront-elles un retentissement psychoaffectif : émoussement affectif, repli social, perte de repères identitaires, voire attribution à la machine de caractéristiques humaines : émotions, intentions, cognitions supérieures... ?

Dans ces nouveaux contextes, l'évolution des fonctions psychosociales du travail (valeur, sens, construction identitaire, sociale...) évoquées pour le scénario 1 devrait être majeure.

La généralisation des robots dans le secteur des soins induira-t-elle des changements dans la relation patient/soignant et si oui, de quel type et avec quelle ampleur ?

4. Impact de l'usage des robots sur l'organisation du travail

Sur le plan de l'organisation du travail, il est évident que cette généralisation de l'usage des robots au travail aura un retentissement majeur. L'activité de travail sera très impactée en termes de fonctions des opérateurs, des rapports entre opérateurs et avec les échelons hiérarchiques... Si l'ampleur des changements est prévisible, leur nature précise est difficilement imaginable.

À titre d'exemple on peut envisager qu'un opérateur pourrait devenir le superviseur d'un service de RAP transformant complètement sa fiche de poste.

5. Activités nécessaires à mettre en œuvre pour gérer les risques identifiés

Les activités nécessaires à la gestion des futurs risques liés à l'usage des RAP, défini dans le scénario 3, concernent la recherche, la veille en milieu de travail, l'aide à la conception, la sensibilisation des usagers et la formation des préventeurs.

Recherche spécifique sur les conséquences de l'utilisation des RAP

Pour élaborer des préconisations pertinentes dans le domaine de la prévention SST, il faudra se doter de connaissances sur les impacts de l'utilisation des RAP. Du fait de leur large diffusion, des terrains d'étude pour des retours d'expérience ou des enquêtes épidémiologiques seront disponibles et utilisables. Les études observationnelles, expérimentales ou épidémiologiques pourraient concerner les mêmes champs que dans le scénario 1 en s'élargissant aux effets psychologiques de la coactivité professionnelle avec des robots intelligents.

Veille en situations de travail

Elle s'imposera pour évaluer la portée des changements organisationnels liés à l'introduction de RAP aux postes de travail.

Elle devra aussi s'intéresser à l'évolution des problématiques de santé des usagers (évolution des TMS, apparition des pathologies cutanées, relationnelles...) et, en particulier, dans des secteurs plus récemment confrontés aux RAP : BTP, déchets, transports et logistique.

Aide à la conception des RAP : prévention des défaillances et malveillances

Compte tenu de la large diffusion des robots dans la société, ceux-ci seront devenus plus sûrs et les risques d'accidents, de TMS... seront globalement pris en compte, dès la conception, pour une situation de travail donnée. Les conditions d'utilisation en mode dégradé (incidents, pannes, dysfonctionnements...) qui demandent aux opérateurs de s'ajuster à la machine ou d'intervenir dans des enceintes polluées avec des risques de surexpositions seront également de mieux en mieux intégrées dès la conception des RAP.

En revanche, les conséquences pour la santé/sécurité des travailleurs des actes de malveillance ou de défaillance d'un système ne seront pas encore totalement anticipées et gérés. Elles devront être bien évaluées et également intégrées à la conception des RAP et des réseaux systémiques de RAP.

L'implication des grandes entreprises dans le secteur des RAP a permis de développer les normes et les référentiels pertinents pour intégrer la SST dès leur conception. En revanche, la prévention doit s'intéresser aux petites entreprises conceptrices et fabricantes de RAP et se donner les moyens de les sensibiliser aux bonnes pratiques de prévention dans une logique globale de santé et sécurité par les canaux d'information disponibles adéquats.

Sensibilisation et formation aux bonnes pratiques de prévention

La grande diffusion des robots aura permis de définir des préconisations stabilisées pour leur utilisation, en particulier pour les exosquelettes. Les opérateurs devront bénéficier d'une formation initiale, mais aussi professionnelle, accrue vis-à-vis de ces nouvelles technologies en évolution permanente.

La formation professionnelle *in situ* devra également sensibiliser les opérateurs aux bonnes pratiques, aux différents risques pour l'opérateur (TMS et autres risques au fur et à mesure de leur mise en évidence par la recherche), mais également aux risques de défaillances de la machine ou d'actes de malveillance. Cette formation devra être à la fois théorique et contextualisée (au niveau de la société, l'entreprise, l'atelier...), abordant les risques vis-à-vis du système robotisé utilisé par l'opérateur en formation.

Les plans de prévention des entreprises devront intégrer les risques liés à la présence des robots et en particulier les conséquences pour les opérateurs des défaillances/malveillances incluant les conduites à tenir en cas de problèmes.

Formation à l'évaluation des risques liés à l'utilisation des robots

Pour les préventeurs, le besoin de formation est également prégnant compte tenu de l'importance et de la diversité des robots utilisés en milieu du travail ainsi que de leur banalisation, qui tend à sous-estimer les risques. Pour analyser, de façon exhaustive, les risques aux postes de travail, il sera nécessaire de former les préventeurs à évaluer le risque machine et à identifier les conséquences pour l'homme. Comme pour le scénario 1, la création d'un nouveau métier de prévention, le préventeur « rapologue » sera la meilleure réponse au défi posé par la prévention des risques liés à l'utilisation des RAP.

6. Possibilités de prise en compte par la société des activités de prévention des risques liés à l'usage des robots

Dans le scénario 3, qui envisage la diffusion massive des robots de tous types, les répercussions seront profondes et multiples dans la société comme dans le monde du travail qui en sera fortement impacté dans ses modes de production, d'organisation, de systèmes de valeurs, de pouvoirs, de relations interindividuelles...

Néanmoins, dans un tel scénario, certaines catégories sociales sont exclues de ces évolutions technologiques. La réponse à cette discrimination sociale est globale dépassant le champ de la santé au travail.

Dans le contexte du scénario 3, l'apparition d'un problème de santé imprévu (par exemple psychologique) liée à cette utilisation extensive des RAP, pourrait devenir un enjeu majeur de la société.

Néanmoins, la société décrite dans le scénario 3 est une société qui a conscience de son besoin de croissance et de la nécessité d'évoluer pour maintenir cette croissance : elle doit continuer à innover et à produire. Elle est, *a priori*, réceptive à tout ce qui lui permet de garantir les conditions de la croissance. Elle parie donc sur la sécurité et la promotion de la santé et l'État s'engage à assurer ces besoins dans tous les domaines (travail, santé, sécurité publique...). Le rôle des préventeurs dans une telle société est donc d'être proactif vis-à-vis des décideurs. Ils doivent anticiper les risques, alerter les parties prenantes avant leur apparition, proposer si besoin des études et recherches pour développer les connaissances nécessaires et offrir des solutions de prévention.

Dans ce scénario, le RAP est devenu un objet de connaissance et de nouveaux métiers sont apparus. Contrairement au scénario 1, il existe maintenant des ingénieurs « rapologues » qui ont la compétence pour analyser et prendre en compte les besoins et capacités physiologiques des opérateurs, le fonctionnement de la machine et les interactions entre les deux. L'institution Prévention a intégré des « rapologues »-préventeurs. Le RAP est considéré par les préventeurs comme participant au maintien dans l'emploi, voire à la promotion de la santé et du bien-être au travail.

Conséquences en santé et sécurité au travail des scénarios 2 et 4

Dans le scénario 2, la prévention des risques liés à l'usage des robots ne pose pas de problèmes particuliers, puisque toute dépense pour développer les RAP est illégitime. Le blocage au développement des RAP concerne même la recherche, laquelle pourrait constituer un levier. La société est en plein repli et immobilisme, sans perspective de changement.

Dans le scénario 4, les RAP sont peu utilisés et, en conséquence, les risques pour la SST liés à cet usage sont faibles. De façon globale, il n'est pas interdit de recourir aux RAP, mais les recherches sont prioritairement axées sur leur productivité. Il n'y a ni risques nouveaux ni activités particulières de prévention à mettre en œuvre. Dans ce scénario, si d'aventure la recherche sur les RAP devait se développer, la prévention devra veiller à être présente en amont.

Conclusion

Si les RAP se mettent en place de façon limitée, dans quelques secteurs comme dans le scénario 1, ou de manière extensive comme dans le scénario 3, certaines activités communes aux deux scénarios peuvent être d'ores et déjà, anticipées.

En effet, quelle que soit l'ampleur de l'usage, il faudra que la prévention en SST s'adapte à ce changement et pour ce faire les activités à mettre en place concernent :

- la recherche notamment sur :
 - le retentissement physiologique et pathologique du port à long terme d'exosquelettes ;
 - les conséquences psychologiques en particulier d'une coactivité ou collaboration avec des robots intelligents ;
 - l'évolution des fonctions psychosociales du travail de l'usage des RAP ;
- la veille dans les secteurs d'utilisation des RAP avec deux cibles particulières :
 - les changements organisationnels ;
 - la surveillance des accidents et l'évolution des maladies liées à cet usage : TMS, pathologies cutanées, relationnelles...
- l'élaboration de cursus de formation pour les futurs utilisateurs sur des aspects théoriques mais également contextualisés en fonction du type de robot utilisé au poste de travail ;
- le développement d'une nouvelle discipline, la « rapologie » qui permettra, en prévention, de réaliser des évaluations de risques adaptées et de développer des plans de prévention pertinents.

Le séminaire de présentation de l'exercice de prospective RAP 2030

Cédric DUVAL, INRS

La présentation de l'exercice de prospective RAP 2030 au cours d'une journée de restitution ouverte au Conseil d'administration de l'INRS, à la Commission accidents du travail/maladies professionnelles de la Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés, aux Carsat et à des représentants des partenaires de l'exercice a suscité un certain nombre de réactions, notamment au cours de deux tables rondes. On en trouvera ci-dessous un résumé.

Mettre en place une veille active sur un sujet en plein développement

Comment les préventeurs peuvent-ils anticiper les risques professionnels liés à l'utilisation des robots d'assistance physiques (RAP) ? Pour ce faire, la veille est indispensable. Son rôle est de tracer les évolutions du travail, des techniques et des risques associés, mais aussi d'identifier les changements qui pourraient intervenir dans la prévention. La prolongation des tendances du passé ne suffit pas. Il faut mettre en évidence aussitôt que possible les évolutions majeures qui peuvent influencer sur la santé et la sécurité des travailleurs. L'objectif est d'aider les entreprises et les pouvoirs publics à être plus réactifs en mettant en place des solutions qui vont permettre d'agir en amont. Ce n'est pas perdre son temps que d'anticiper pour programmer les actions de prévention. Toute la difficulté est de réagir aux risques actuels tout en anticipant sur les sujets émergents.

Pour réfléchir efficacement en santé et sécurité au travail, il faut être capable d'appréhender un problème dans toutes ses dimensions : économiques, techniques, sociologiques...

La veille obéit à certains principes. Elle repose notamment sur une démarche systémique, imposant de replacer le sujet traité dans un environnement plus large. Cette mise en perspective est importante dans la mesure où les dimensions culturelles, socio-économiques et industrielles sont interdépendantes. De même, les frontières entre les sphères publique et privée sont perméables. À titre d'exemple, la normalisation des bennes à ordures a été conçue pour protéger les rippeurs, mais aussi les piétons et autres automobilistes.

Comme la veille, la prospective doit être capable d'intégrer la réalité du terrain dans sa complexité

La prospective est le fruit d'une réflexion collective, ce qui confère de la valeur aux scénarios identifiés. L'exercice piloté par l'INRS a demandé un gros travail de fond, impliquant plusieurs partenaires et la confrontation de différents points de vue. En tant qu'acteurs de terrain, les agents des Carsat sont particulièrement bien placés pour affiner la vision des risques et communiquer sur les solutions auprès des entreprises. Les scénarios doivent être pris comme une incitation à la réflexion, guidée par les principaux paramètres identifiés comme susceptibles d'avoir une influence déterminante sur l'évolution de la question traitée. L'objectif n'est pas que ces scénarios se vérifient, mais qu'ils aident à agir en faveur de la prévention.

Face à l'accélération des rythmes, la prospective doit être un outil permettant de mieux cibler les points essentiels à surveiller

Au sein des évolutions du monde du travail, de plus en plus rapides, la technique joue un rôle croissant. L'exemple des robots d'assistance physique (RAP) est emblématique. Parce que ces robots répondent à des objectifs de compétitivité, un nombre important de salariés y ont déjà recours, d'où la nécessité d'intégrer la sécurité et la santé au travail dès la conception de ces machines.

Dans ce but, la normalisation est essentielle. Elle permet de s'assurer que les règles issues d'un consensus et d'un état de l'art sont respectées par les constructeurs. L'ergonomie joue également un rôle majeur. Elle favorise l'appropriation de ces nouveaux équipements par les travailleurs. Il arrive encore trop souvent que des solutions efficaces soient rejetées parce que mal adaptées. Dans tous les cas, il faudra être à l'écoute en cas de rejet généralisé des RAP (« rapophobie »).

Des robots d'assistance physique au service d'une amélioration des conditions de travail

Parmi les risques envisagés dans cet exercice de prospective, la relation entre le travailleur et son équipement doit être analysée. Il faut être vigilant à ne pas susciter de sujétion du travailleur par rapport aux RAP. Ces équipements de travail doivent être au service de l'homme, et non l'inverse. De même, ils ne doivent pas modifier significativement les relations de travail entre salariés.

Parce qu'ils amplifient les mouvements, les robots collaboratifs (Cobots) présentent aussi des risques physiques envers les opérateurs situés à proximité. En toute logique, ces risques sont fonction de la diffusion des RAP. Plus celle-ci sera importante, plus les effets seront marqués. D'autres questions se posent autour de l'utilisation des RAP. Dans le secteur de la *Silver economy* (économie au service des personnes âgées), et plus particulièrement de l'aide à la personne, on peut notamment s'interroger sur le devenir des compétences manuelles des aidants en cas d'utilisation massive de ces outils. Qu'en est-il des formations pour parvenir à maîtriser ces RAP ? Il faut aussi considérer les aspects d'ordre juridique. En cas d'accident, qui assume la responsabilité pénale ? De même, à qui appartient le RAP ? Qui s'occupe de la maintenance du RAP ? Qui peut utiliser le RAP ? Autant d'interrogations qui devront être levées pour permettre le déploiement de ces outils.

De l'usage de la prospective en général et en particulier de ce premier exercice consacré aux robots d'assistance physique

La question reste de savoir quelle suite donner à cette prospective ? Une première étape sera de la soumettre à l'évaluation. Il faut aussi s'assurer qu'au-delà des intentions, on ne se retrouvera pas dans 15 ans en présence des risques qui sont aujourd'hui pointés. Pour cela, un collectif de travail impliquant plusieurs partenaires et la confrontation de plusieurs points de vue est nécessaire. Le réseau prévention ne peut agir seul. Plusieurs experts y travaillent déjà, mais ces efforts doivent se maintenir, voire se développer. Il apparaît essentiel de développer un nouveau type d'expertise centré sur ces enjeux, que l'on pourrait nommer « rapologie », pour gérer les évolutions à venir. L'enjeu se trouve là. Cette discipline regrouperait l'ergonomie et l'automatisme, un cas de figure qui n'existe pas aujourd'hui.

Rappelons toutefois que la constante de temps de la prospective n'est pas celle de l'action. La veille ne doit pas faire oublier la nécessité de maintenir les mesures de prévention actuelles : normalisation, alerte... La plupart des AT/MP actuels sont encore d'une grande banalité.

VEP 1 • novembre 2015

© INRS • ISBN 978-2-7389-2217-5 • Disponible uniquement en version électronique

Crédit photos de couverture, de gauche à droite : Philippe Stroppa/CEA autorisation RB3D, NASA/JPL-Caltech, Sandro Salomone pour Aldebaran Robotics, EOS Innovation, Intuitive Surgical, Inc.

Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00 • www.inrs.fr • e-mail: info@inrs.fr

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.
Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).