

L'économie de la robotique : nouvelles données et défis actuels

Par l'automatisation et la normalisation de la qualité, l'économie industrielle de la machine-outil avait pour objectif d'augmenter la productivité globale des facteurs de production par une réduction drastique du coût du facteur travail.

Dans l'économie de la robotique, à la contribution respective des facteurs de production (travail et capital) s'ajoute celle du facteur « connaissance », qui combine l'information à sa traduction utile dans l'action.

Outre dans l'industrie, le recours à des robots est appelé à croître notamment dans le secteur des services à la personne sous l'effet du vieillissement de la population.

La robotique est ainsi porteuse de nouvelles et vastes perspectives, à l'interface de nombreuses sciences et techniques : la mécanique, le logiciel, l'électronique, les nanotechnologies, les matériaux avancés, la médecine, l'analyse de risques, l'économie, la sociologie, le *marketing* et les sciences de la communication.

Par Dr. Françoise ROURE* et Grégoire POSTEL-VINAY**

L'économie de la robotique est une branche de l'économie industrielle qui reste largement à construire. Se situant à l'intersection entre des filières industrielles bien identifiées telles que l'électronique embarquée, la mécanique, l'énergie et les matériaux avancés que ces systèmes autonomes intègrent sur des plateformes mono ou multi-usages autonomes, la création de la valeur dans ce domaine repose sur la capacité de l'industrie logicielle d'intégrer, d'actionner et de contrôler des modules aux fonctions distinctes.

L'économie industrielle de la machine-outil était comparativement plus facile à cerner, avec un objectif d'automatisation et de normalisation de la qualité

* Contrôleur général économique et financier, Présidente de la section « Technologies et Société » au Conseil général de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies (CGIET) - Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

** Ingénieur général des Mines, Chef de la mission Stratégie - Etudes économiques de la Direction générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services (DGCIS) - Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

visant à augmenter la productivité globale des facteurs de production par une réduction drastique du coût du facteur travail. L'économie de la machine-outil se concevait dans une économie réelle mature aux processus de production stables et à fort composant matériel devant délivrer dans les meilleures conditions possibles une production de masse. La machine-outil industriel était et reste un équipement indispensable au maintien d'activités de production dans des territoires où le coût comparatif du travail est relativement élevé.

Dans le contexte d'un libre-échange encore marqué par de fortes asymétries des technologies émergentes et de leurs marchés, la division internationale du travail ne répond plus aux seuls mécanismes traditionnels de la spécialisation internationale des activités (aux pays émergents, la production à bas coût du travail ; aux pays industrialisés, les activités industrielles automatisées grâce aux machines-outils ; aux pays disposant de technologies avancées, l'avantage comparatif de disposer de technologies au degré de maturité encore faible et dont la protection peut être motivée par des raisons de défense et de sécurité, mais aussi par des intérêts vitaux, au rang desquels figure l'économie réelle des Nations). Si la théorie des avantages comparatifs demeure valable, en matière de commerce international, elle repose dorénavant sur un « mix productique » des facteurs de production de nature différente.

Dans un premier temps, cet article examinera ces évolutions et les pistes qu'elles offrent. Dans un second temps, seront rappelées des données comparatives sur la productivité en Europe, qui nécessitent, en tout état de cause, une action - tant des entreprises que de la puissance publique - pour améliorer la productivité et, partant, créer de la croissance et des emplois durables.

APPARITION DE FACTEURS NOUVEAUX DANS L'ÉCONOMIE DE LA ROBOTIQUE

Dans l'économie de la robotique, la contribution respective des facteurs de production (travail et capital) est désormais augmentée de celle du facteur « connaissance » qui combine l'information à sa traduction utile dans l'action (savoir-faire et savoir-être qui, dans le cas de la robotique, ne relèvent pas du savoir dit implicite propre aux ressources humaines qualifiées, mais des fonctionnalités du robot, de leurs paramétrages et de leur programmation). Contrairement à la fonction de production classique, la capacité d'innovation et de création de valeur ajoutée à partir du facteur « connaissance » peut parfois être affectée par une rareté artificielle créée. En effet, lorsque la connaissance est disponible sous la forme numérique, elle constitue un bien non rival, dont (par définition) la consommation n'entraîne pas la destruction. Sa rareté, artificielle, provient alors des conditions juridiques liées à son utilisation, lesquelles organisent une protection de la propriété intellectuelle, qui peut se tra-

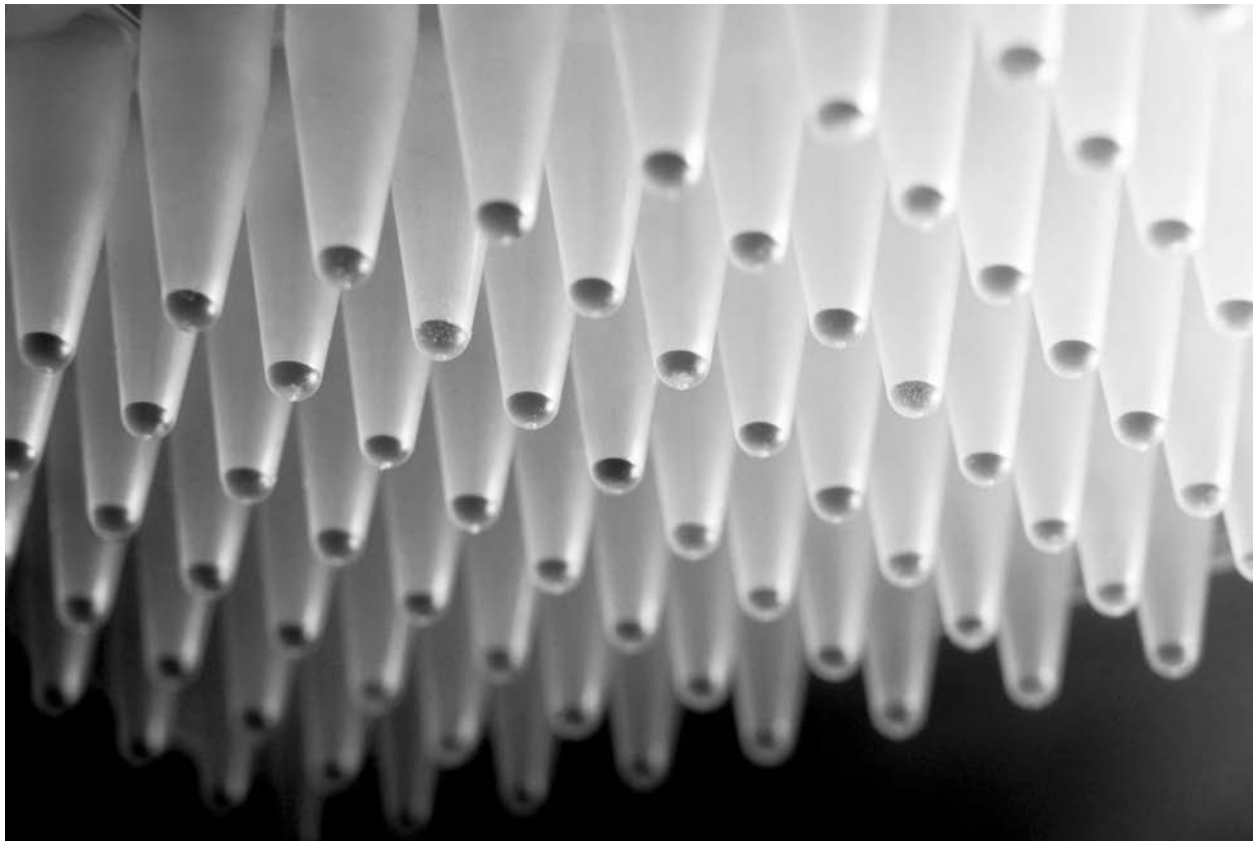
duire, ou non, par des brevets et des redevances sur les œuvres de l'esprit (système du type *Creative Commons*).

Pour les décideurs, l'enjeu est alors de bien comprendre où se trouve la racine d'une valeur ajoutée durable en matière de robotique, et de la valoriser tout en créant un environnement qui soit incitatif et favorable pour l'offre comme pour la demande. Une entreprise telle que la *Willow Garage Company*, située à Menlo Park (en Californie), a délibérément axé ses efforts sur la conception de nouveaux services et sur l'orientation de sa recherche, de son développement et de son innovation vers des applications à forte utilité, faisant preuve d'une adaptabilité élevée aux divers environnements dans lesquels les robots qu'elle produit seront appelés à servir. Cette société met ses prototypes (appelés « PR2 ») à la disposition gratuite des centres de recherche qui le souhaitent, et engrange les retours d'expérience de leurs mises en condition dans des contextes différenciés. Les performances de ses robots proviennent d'une capacité augmentée de reconnaissance des environnements en 3D, ainsi que de bras articulés dotés de sept degrés de liberté qui en font des effecteurs multitâches utilisables tant dans des milieux requérant des processus industriels (usines, hôpitaux...) qu'au domicile de particuliers. Un autre exemple est celui du projet STAIR de l'Université de Stanford, qui a lui aussi pour objet de réaliser un démonstrateur multitâches.

Dans ces deux cas, le robot appréhende son environnement et adapte la mobilisation de ses capacités matérielles en fonction de l'instruction qu'il reçoit. Par *design*, il devient un auxiliaire universel de proximité avec lequel l'homme interagit à son propre bénéfice ou pour co-réaliser une fonction déterminée. Le concept de cobotique traduit cette possibilité de coproduire un bien matériel ou un service dans des conditions de sécurité qui soient satisfaisantes à la fois pour l'homme et pour le robot.

Dans cette perspective, les briques logicielles de base assurant l'interopérabilité des modules deviennent des espaces coopératifs, la valeur ajoutée étant dégagée par l'intégration logicielle asservie à une fonction particulière et optimisée sur cette fonction. L'indication est alors, en amont, celle de logiciels ouverts, libres d'accès et d'utilisation, et, en aval, celle de logiciels protégés, élaborés au plus près du service attendu en milieu industriel ou en matière de services à la personne. A cet égard, l'appel à projet « briques génériques du logiciel embarqué » en vue de R&D en robotique (lancé le 21 juillet 2011 dans le cadre des investissements d'avenir) est bien adapté à cet enjeu.

Leur proximité par rapport aux utilisateurs est ici un facteur déterminant de l'évolution des robots vers des prestataires de services de masse programmables sur mesure, en présentiel ou à distance plus ou moins lointaine. C'est ainsi, par exemple, que l'effondrement du coût du séquençage de l'ADN depuis 2008, a ouvert la voie à l'utilisation de matériaux de synthè-



© SPL/PHANIE

« Des robots séquenceurs et des robots d'assemblage, utilisés à l'interface entre les biotechnologies et les nanotechnologies, peuvent être programmés et actionnés à distance ». *Amplification en chaîne par polymérase (PCR), Centre national de séquençage ADN, Génopôle, Evry.*

se (issus de la production de paires de bases de l'ADN) qui seront eux-mêmes intégrés, *via* la simulation et l'ingénierie numérique, à des systèmes matériels hétérogènes complexes.

Des robots séquenceurs et des robots d'assemblage, utilisés à l'interface entre les biotechnologies et les nanotechnologies, peuvent être programmés et actionnés à distance, dès lors que les spécifications techniques sont fournies par le client. Ces robots incorporent des outils de mesure de très haute précision, en 4D, puisqu'aux trois dimensions spatiales s'ajoute la dimension temporelle à une échelle de mesure pertinente laquelle peut descendre jusqu'à la femtoseconde. La recherche en métrologie hybride est ici critique puisque c'est elle et elle seule qui permettra de faire progresser les robots en qualité, en caractérisation et en respect d'une norme, fût-elle propriétaire. La méthodologie avancée est par conséquent un enjeu de compétitivité majeur pour la robotique appliquée aux technologies utilisant des briques de base ou des matériaux de synthèse issus du vivant. L'économie de la robotique qui utilisera des systèmes électroniques embarqués reposant sur ces technologies ne peut être appréhendée aujourd'hui qu'à l'aide de scénarios multicritères incluant les spécifications des utilisateurs et clients en termes d'utilité, de coût, de valeur marchande, d'éthique et de priorités en matiè-

re de recherche et d'innovation responsables. La prospective technologique de la nanoélectronique donne des indications sur le fait que la filière silicium n'aura plus le monopole des matériaux avancés de l'électronique, un monopole qu'elle perdra au profit de matériaux et de systèmes hybrides bio-inspirés : des *memristors*, pour les ordinateurs moléculaires, voire, en s'inspirant des neurosciences et des neurotechnologies, des *synapstors* capables de traiter l'information à l'échelle moléculaire, issus des travaux du 7^{ème} programme-cadre de recherche dans le cadre du projet *Nanocomputing Building Blocks with Acquired Behaviour* (NABAB). Les matériaux avancés de l'électronique de demain, qui seront issus de lignes de production opérant à l'échelle nanométrique, nécessiteront eux-mêmes des robots de production industrielle capables d'opérer avec une précision atomique.

LE BESOIN DE COMBLER UN RETARD TANT DANS L'INDUSTRIE QUE DANS LES SERVICES

Au-delà des évolutions mentionnées plus haut, le débat fait rage aujourd'hui sur la désindustrialisation, au point d'en faire un élément majeur des campagnes en vue des élections nationales, et cela conduit notam-

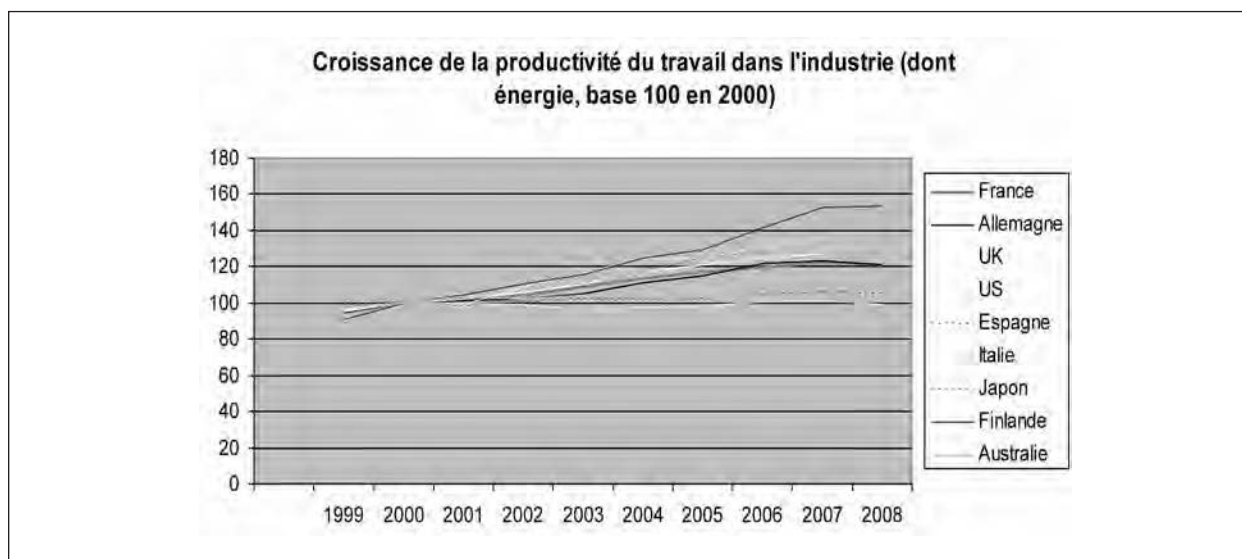


Figure 1.

ment à des comparaisons internationales avec des pays se trouvant dans la même situation monétaire que la France, dont l'Allemagne. Plusieurs éléments ressortent de ces comparaisons.

La productivité du travail dans l'industrie a évolué de façon comparable (voir la figure 1, ci-dessus).

Cependant, les coûts du travail (incluant les charges sociales) ont, quant à eux, divergé, induisant un différentiel sur les marges des entreprises et, au-delà, un sous-investissement relatif, du côté français, par rapport à l'Allemagne (voir les figures 2 ci-après et 3 de la page suivante).

Ce sous-investissement influe sur plusieurs facteurs, à la fois de compétitivité hors coût et de compétitivité coût. Mais, pour la France comme pour l'Allemagne, on constate que le niveau et le degré de modernisation de la robotisation sont en cause (voir la figure 4 de la page suivante).

Que ce soit par rapport à l'Allemagne ou par rapport à l'Italie, la densité des robots, en regard des effectifs

de production, est plus faible en France. On en voit bien les raisons : économiques (liées aux charges pesant sur les entreprises et donc sur leur investissement), techniques (liées à une offre de proximité un peu plus réduite en capacités, même si elle est de qualité et même si le marché intérieur européen devrait - en principe - réduire l'impact de ce facteur), sociales, enfin (avec cette idée que les robots aggraveraient le chômage). Il est de fait que les robots déplacent la nature des emplois, mais le pays qui a le plus investi en termes de robotisation se trouve également être le mieux placé en termes de maintien de la part de l'industrie dans son PIB, et donc des emplois qui lui sont liés. Dans l'industrie, un triple effort apparaît souhaitable : a) de restauration de conditions plus voisines en matière de charges pesant sur les entreprises, b) d'investissement et c) de formation pour utiliser des machines plus complexes. Il est aussi permis de penser que l'arrêt (pour des raisons budgétaires, dans le courant des années 1990) des mesures publiques



Figure 2.

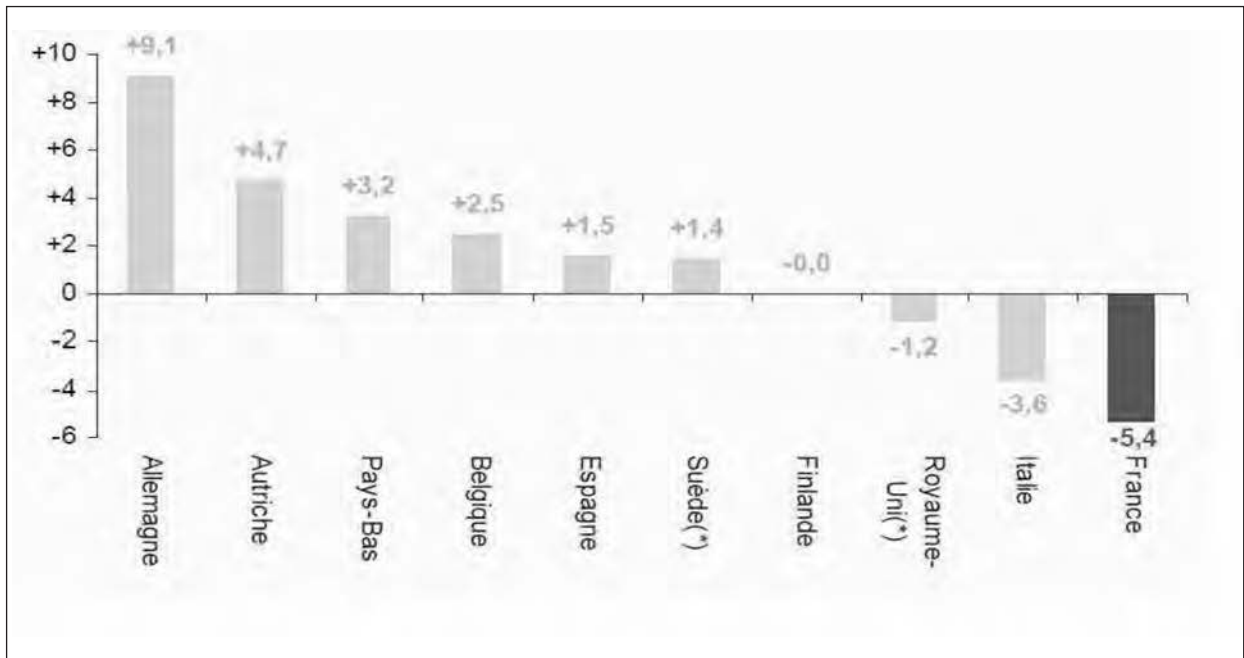


Figure 3 : Evolution du taux de marge 2000-2007 (en points de VA au coût des facteurs).

Source OCDE – base de données STAN.

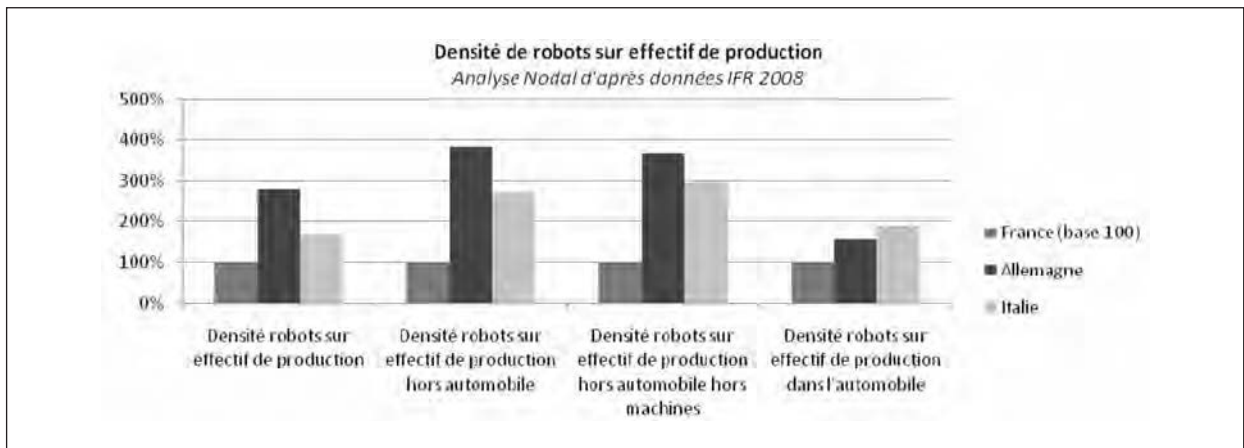


Figure 4.

adoptées en faveur de la robotisation, apparaît *a posteriori* comme une erreur.

S'agissant des services, la robotisation n'apparaît pas intuitivement comme aussi pertinente. Pourtant, là aussi, on peut faire un diagnostic et des suggestions : ce que montre la figure 5 de la page suivante, c'est le fait que ce sont plutôt les pays nordiques ou les pays anglo-saxons qui, avec un niveau de développement comparable à celui de la France, ont trouvé dans les services des gains de productivité les plus importants. L'usage des TIC y est pour beaucoup et on rejoint, en cela, la première partie de cet article : apparaissent ainsi l'intérêt d'une robotisation des services à la personne (qui n'empêche pas la croissance de l'emploi dans ce secteur, un emploi qui accompagne les usages), les traitements automatisés de courrier et de paquets dans les services postaux, le traitement de déchets, les opérations en milieux hostiles ou difficilement accessibles (par exemple, le savoir-faire fran-

çais a été mobilisé pour des robots fonctionnant en atmosphère contaminée ou pour des robots sous-marins intervenant sur les lieux d'accidents récents), les traitements automatisés en matière financière (qui s'ils ont permis l'amélioration de l'efficacité bancaire, ne sont pas pour autant exempts de critiques, notamment en ce qui concerne les opérations automatisées qui peuvent ajouter à la volatilité des marchés).

S'agissant des services à la personne, les pays les plus nettement vieillissants, comme le Japon, se sont très tôt préoccupés non seulement de robotique humanoïde, mais aussi d'autres formes de robots, et ils ont accompagné cet effort technologique par des supports culturels qui font une large place aux robots. La France dispose également en la matière d'outils performants développés notamment, mais pas exclusivement, dans des pôles de compétitivité. Il peut s'agir non seulement de robotique domestique (SEB, par exemple), ou de robotique humanoïde (Aldebaran),

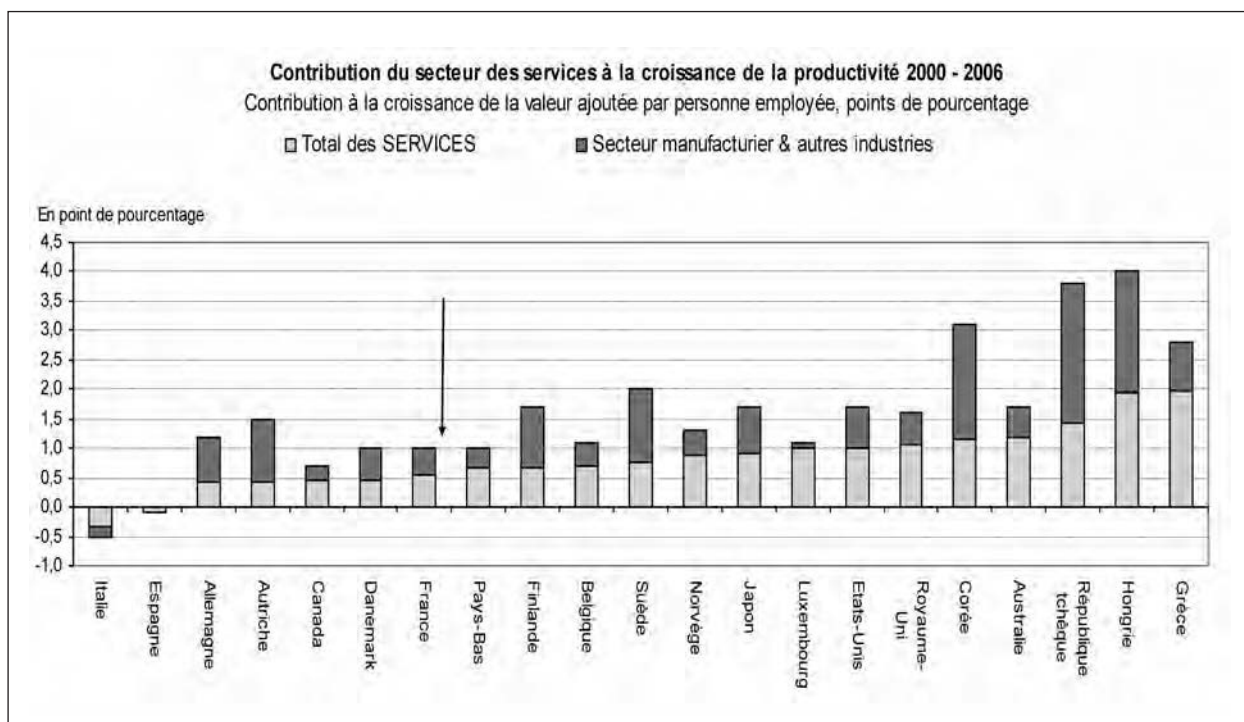


Figure 5 : Productivité comparée des services.

mais aussi de dispositifs comme les différentes formes d'aide au déplacement ou des rampes d'accès mobiles pour escaliers intérieurs qui permettent aux personnes âgées bénéficiant encore d'un certain degré d'autonomie de demeurer à leur domicile. Le bénéfice est double : pour les intéressés qui, en général, souhaitent demeurer dans leur cadre habituel, et pour la collectivité, du fait d'un coût de prise en charge moindre par rapport à celui d'une institution spécialisée. En pratique, on accroît en moyenne d'un peu plus d'un an l'âge à partir duquel une telle prise en charge devient nécessaire. Il est probable que le recours à de tels robots ira croissant à l'avenir : la réforme de la dépendance (annoncée désormais pour 2012) devrait

prendre en compte cet aspect, en ayant aussi pour préoccupation de disposer d'une capacité de création de valeur par l'industrie et les services concernés qui contribuera à en rendre plus supportable le coût pour la collectivité et, à travers leurs charges, pour les entreprises.

Ainsi, la robotique ouvre de vastes perspectives, à l'interface de nombreuses sciences : la mécanique, le logiciel, l'électronique, les nanotechnologies, les matériaux, la médecine, l'analyse de risques, l'économie, la sociologie, le *marketing* et les sciences de la communication. Elle est porteuse de nouveaux progrès pour tous ceux qui, par-delà des schémas convenus, voudront activement les rechercher.