

DOSSIER

L'INDUSTRIE EN QUÊTE DE SENS



Écrire que nous vivons une révolution technologique sans précédent qui affecte tous les secteurs économiques, la santé, l'agriculture, les transports, la culture, la science et bien d'autres est un euphémisme. L'homme, qui est à l'origine de ce bouleversement, est d'ailleurs le premier impacté. Or, s'il est une discipline que nous, ingénieurs, connaissons bien car nous sommes nombreux à la pratiquer au quotidien, c'est l'industrie.

Frappée comme tous les autres secteurs par la déferlante numérique, l'industrie cherche sa voie. Cette quête de sens n'est certes pas nouvelle et déjà au siècle dernier, plusieurs cinéastes témoins de leur temps comme Charles Chaplin en 1936 dans *Les Temps modernes*, ou Jacques Tati en 1958 dans *Mon oncle*, avaient donné à réfléchir sur le sens que prenait l'industrie en mettant en exergue son côté productiviste et en montrant déjà, et de façon dérisoire d'ailleurs, quelques comportements humains particulièrement insolites.

Comment sera l'usine demain? Quelle sera la place des hommes et des ingénieurs? Sera-t-elle complètement déshumanisée et quelle en sera la fonction? Où sera-t-elle implantée?

Les rédacteurs qui ont contribué à ce numéro apportent quelques réponses à ces interrogations légitimes. Bien entendu, nous verrons que le développement des technologies numériques offre de formidables opportunités en termes de performance en augmentant la traçabilité des opérations et des produits, en facilitant la planification des processus, en anticipant les effets des décisions. L'ingénieur, qui par essence remet perpétuellement en cause ses acquis, disposerait-il enfin d'outils de simulation suffisamment puissants pour anticiper l'avenir et prévoir les conséquences de ses décisions et de ses actes? L'utilisation accrue de robots collaboratifs, les « cobots », qui déchargent l'homme de la plupart de ses tâches pénibles, suscite parallèlement quelques interrogations sur les risques sous-jacents liés à la présence simultanée de l'homme et du cobot dans le même espace.

Est-ce que ces robots chasseront l'homme des usines ou au contraire lui offriront-ils la pérennité de l'emploi à laquelle il aspire tant?

À la différence des révolutions passées, celle-ci est mondiale et pose de nouveaux et de multiples défis à l'industrie. Comment maintenir son rang et sa souveraineté face à l'émergence industrielle extrêmement rapide des pays historiquement peu développés? Comment maintenir des partenariats de long terme sans tomber dans l'errance des délocalisations hasardeuses et des relocalisations précipitées?

Devant tant de questions encore ouvertes, peut-être faut-il se résoudre à produire différemment pour limiter notre dépendance aux technologies de plus en plus avilissantes et pour préserver les ressources terrestres dont nous savons désormais avec précision qu'elles ne sont pas infinies. Est-il encore possible de rendre nos progrès industriels raisonnables sans tomber dans la prédiction de Pascal qui disait que « *tout ce qui se perfectionne par progrès périt aussi par progrès* »? ■

Guy Delcroix (ECP 73, IEP 75),
responsable Carrières
à l'Association des Centraliens
et coordinateur de ce dossier,
avec Céline Jacquot



Sommaire

- p 24 L'usine digitale: opportunités et conditions de succès**
Fabien Tertois (ECP 03), Stéphane Chômienne (ECP 96)
- p 26 L'usine 4.0, une usine à géométrie variable**
Étienne Pesnelle (ECP 86)
- p 28 Quelle place pour l'homme dans l'industrie du futur?**
Michel Dancette (X, Mines Paris)
- p 29 Industrie et mondialisation :**
la vision de Jean-Paul Herteman (X, Supaéro)
- p 30 Délocalisations et relocalisations industrielles à l'ère de la post-mondialisation**
El Mouhoub Mouhoud (professeur d'économie à l'université Paris Dauphine)
- p 32 Produire différemment**
Philippe Bihoux (ECP 96)

L'usine digitale : opportunités et conditions de succès

L'usine digitale ouvre de nouvelles perspectives d'amélioration de la productivité, mais aussi de maîtrise des investissements. Tous les aspects de la performance industrielle sont concernés. Les facteurs de succès d'une telle transformation n'ont rien de nouveau, mais le plan doit en être défini avec beaucoup de soin pour réussir. Le point avec Fabien Tertois (ECP 03), senior manager chez Mews Partners.



© Omron

Exemple sur une application « pick-and-place » de solution d'automatisme industriel complète offerte par Omron, intégrant les capteurs, les automates, la motion, la robotique, la vision et la sécurité.

Le développement de moyens de fabrication toujours plus innovants apporte de nouvelles solutions aux industriels qui fabriquent désormais les mêmes produits en moins d'étapes. Grâce à l'impression 3D, ils peuvent également réaliser des produits auparavant infaisables, ou encore automatiser des tâches, par exemple avec des cobots, ces robots collaboratifs bardés de capteurs et capables de travailler de manière sécurisée en présence d'humains.

Mais le développement des technologies numériques offre bien d'autres opportunités. Ces nouveaux moyens présentent en effet un niveau de connectivité sans précédent, permettant un échange croissant de données entre machines ou entre une machine et le MES (*manufacturing execution system*), système informatique qui pilote les opérations en ateliers. Cet échange rend les opérations de plus en plus autonomes, par exemple en adaptant automatiquement les approvisionnements par chariots automatisés (AGV, *automatic guided vehicles*). La transmission de données entre machines et MES ouvre également la voie vers un pilotage plus fin, une traçabilité accrue, une meilleure planification des opérations de maintenance...

Le numérique, bras armé de la performance

Un autre apport considérable des technologies numériques est la possibilité de simuler ces opérations de manière très réaliste. Tous les chargés de conception de procédés que j'ai pu rencontrer m'ont assuré qu'aucun logiciel n'arrivait à simuler correctement le niveau de performance d'une chaîne d'assemblage manuelle, car les hommes ne cessent d'améliorer au quotidien la performance du procédé (démarches kaizen par exemple). En revanche, quand les opérations sont automatisées, les machines se contentent d'exécuter le programme qui leur a été chargé. Et celui-ci est conçu sur des plateformes de simulation qui étudient les interactions entre plusieurs postes de travail automatisés, calculent l'ensemble des trajectoires optimales pour une performance souhaitée, jouent plusieurs hypothèses de capacité, optimisent le nombre de machines et d'outils à chaque poste... La simulation procure également de nombreuses informations sur les estimations de consommation électrique des équipements, les éventuels rejets d'émissions à traiter, les intervalles de maintenance...

En disposant d'un environnement intégré de conception du système industriel, on vérifie

également avant la moindre prise de décision d'investissement que le nouveau système s'intègre bien avec tout l'héritage des systèmes précédents : les machines déjà en place, les moyens de manutention lourds, mais aussi le génie civil, les points de connexion aux réseaux hydrauliques, pneumatiques, électriques... La décision d'investir peut ainsi être prise en minimisant considérablement les risques liés à l'installation des nouveaux équipements et en respectant le niveau de performance désiré du nouveau système.



Fabien Tertois (ECP 03)

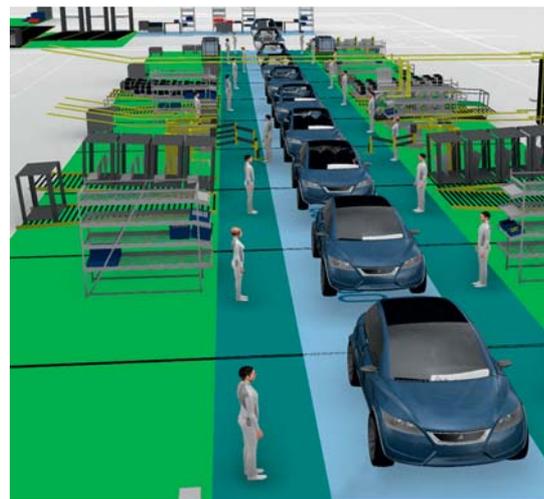
est senior manager chez Mews Partners (anciennement Vinci Consulting) en charge des offres *digital manufacturing* et *asset lifecycle management*. Auparavant il a occupé différents postes opérationnels chez Areva, dans l'ingénierie des réacteurs nucléaire et les énergies renouvelables.

La maîtrise de la continuité numérique, facteur-clé de succès

Les hypothèses de conception du produit ont un impact très fort sur la performance industrielle, et réciproquement les contraintes industrielles doivent être prises en compte dès la conception. À l'ère de l'usine digitale, la continuité numérique doit être assurée tout au long du cycle de vie du produit, depuis les premiers concepts jusqu'à la série (voire la fin de vie dans un nombre croissant de cas). Chaque rupture de continuité induit un risque de perte de productivité (impact coût et délai) et de traçabilité (conformité du produit fabriqué par rapport au dossier de définition). C'est pourquoi la transformation numérique doit

s'opérer en ayant conscience des impacts sur les hommes, les organisations et les processus.

Cette transformation est tellement profonde que certains n'hésitent pas à parler de « quatrième révolution industrielle ». Une chose est sûre : l'usine digitale apporte de très nombreuses opportunités d'amélioration de la performance industrielle. Le problème est plutôt de définir le plan d'amélioration en sélectionnant les solutions les plus adaptées parmi les nombreuses alternatives possibles, et d'éviter les principaux écueils de l'implémentation et de la conduite du changement. Dans ce contexte, la maîtrise de la continuité numérique depuis la conception produit jusqu'au système industriel en opération est indispensable à la réussite de tout plan de transformation. ■



© Dassault Systèmes

Simulation d'atelier de montage automobile avec les technologies Delmia portées par la plateforme 3DExperience de Dassault Systèmes.

Une sécurité « intelligente »

La sécurité machine, terme impropre puisqu'il s'agit en fait de la sécurité des personnes par rapport aux risques mécaniques liés aux mouvements des machines, a connu différentes évolutions au cours des vingt dernières années.

Après la directive européenne 93/40, au milieu des années 1990, la directive « Nouvelle approche » 2006/42/CE s'impose aux constructeurs qui mettent des machines sur le marché en Europe. Elle induit la déclaration de conformité CE, visualisée par le marquage CE sur les machines.

Les normes harmonisées au niveau européen donnent un cadre technique aux concepteurs de machines pour garantir la conformité aux exigences de sécurité et de santé des travailleurs opérant sur ces machines. C'est également pour les constructeurs un risque judiciaire maîtrisé en cas d'accident grave sur une machine.

L'évolution récente de ces normes prend en compte des aspects plus avancés. Par

exemple, la sécurité binaire, qui pouvait conduire à la fraude par l'opérateur, pour des motivations de gain de temps ou d'ergonomie, va tendre à devenir obsolète.

Aujourd'hui, on propose différents modes de fonctionnement de la sécurité, grâce à des contrôleurs programmables, qui peuvent permettre à l'opérateur de réaliser efficacement ses différentes tâches, comme par exemple le réglage machine en mode Safe Limited Speed, lui évitant ainsi d'être incité à frauder certains dispositifs, et permettant donc de maintenir un niveau de risque faible.

Par ailleurs, le contrôleur de sécurité étant intégré au contrôleur machine, l'échange des variables se fait nativement par une simple table, dans le même outil logiciel, sans nécessité de développer une quelconque communication, et permettant d'avoir un développement souple et très adaptatif.

L'évolution technique des capteurs comme les scanners 2D (et demain

3D?), contrôleurs et actionneurs permet également des avancées en productivité et en coût, tout en garantissant la sécurité des travailleurs.

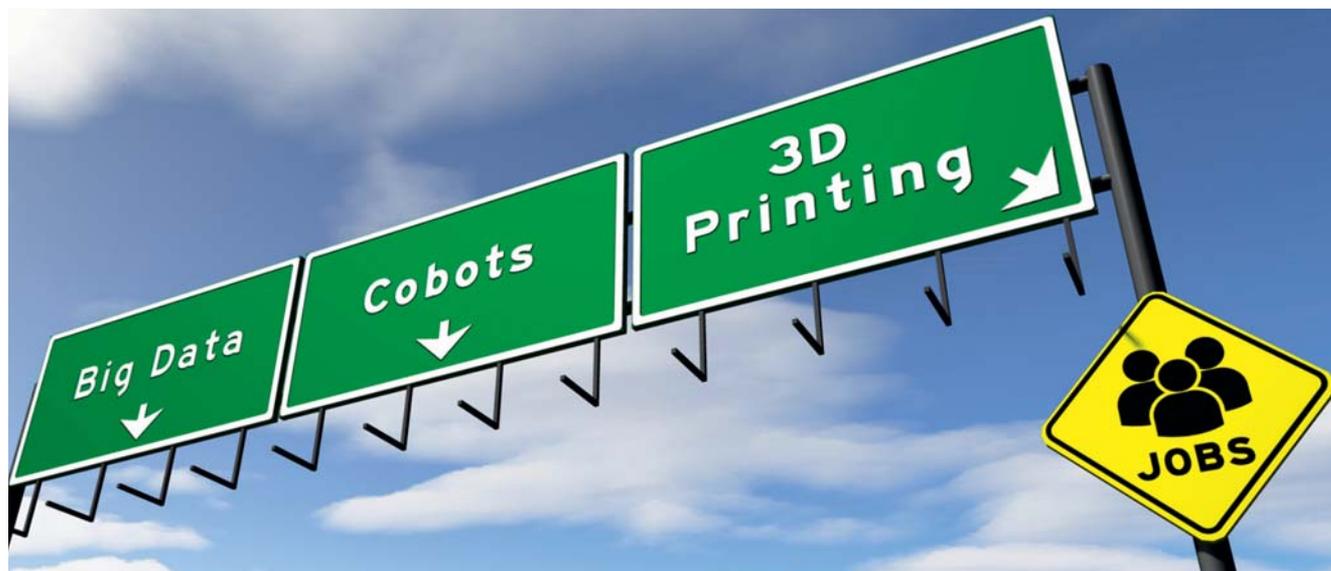
C'est dans ce compromis productivité/sécurité que le marché connaît la plus forte évolution, notamment dans les zones collaboratives entre l'homme et la machine (ou le robot), permettant aux deux d'opérer dans le même temps et le même espace, sans générer d'arrêt machine. ■



Stéphane Chômienne (ECP 96)

est directeur général d'Omron Electronics en France. Il a auparavant occupé différents postes en développement, marketing et vente au sein du groupe Bosch en Allemagne et en France.

L'usine 4.0, une usine à géométrie variable



« L'usine 4.0 » est-elle un effet de mode, un emplâtre pour cacher l'inexorable déclin d'un maillon autrefois essentiel de notre économie ? Étienne Pesnelle (ECP 86) se veut rassurant. Pour le directeur des pôles R&D, Achats et Transformation de Renault Consulting, l'usine 4.0 est probablement la solution pour la renaissance du *made in France* et la réponse aux enjeux sociétaux et environnementaux. Décryptage.

Quelles sont les forces qui vont façonner le paysage industriel français dans les dix-vingt ans à venir ? La technologie bien sûr, mais aussi les équilibres économiques et les enjeux sociétaux : pour qu'une usine existe en France, il faut qu'elle soit très compétitive d'une part, et pour cela qu'elle sache tirer parti d'une population active éduquée et exigeante sur la qualité de vie au travail. Il faut également que sa performance en délai et en qualité corresponde aux attentes des clients.

Ce champ de contraintes amènera probablement le concept d'usine que nous connaissons aujourd'hui à évoluer vers de nouveaux paradigmes :

- l'usine robotisée sera destinée à produire en grande série des objets techniques reposant sur des procédés à fort effet d'échelle, dangereux ou fatigants. Elle sera localisée loin des villes, sur un nœud de communication : voies ferrées, autoroutes, ports...
- l'usine-boutique, concept novateur, profitera de la maturité des technologies de fabrication additive (« impression 3D ») pour fabriquer les produits à forte diversité au plus près des consommateurs, au cœur des centres urbains. L'usine-boutique est un enjeu sociétal majeur, car elle seule a le potentiel de créer des emplois en nombre, issus des besoins nouveaux d'exploitation et de maintenance de ces machines mais aussi et surtout des services qui accompagneront ces produits : personnalisation, formation à l'usage, petit entretien...
- l'usine collaborative sera une évolution du modèle industriel actuel, dans lequel les robots collaboratifs (« cobots ») déchargeront les « cols bleus » de la plupart des tâches. Elles seront particulièrement adaptées à la production d'objets complexes en petite et moyenne série ;
- l'usine de réparation et recyclage émergera de la nécessité de ne plus jeter nos produits en fin de vie, mais de les maintenir

en état d'usage plus longtemps – voire de leur ajouter de nouvelles fonctions – avant de les démanteler proprement et préparer leurs composants et matières à être réutilisés par l'un des trois types d'usines précédemment décrites. Du fait d'un potentiel limité en économies d'échelle, ces installations seront déployées selon un maillage assez serré, pour être au plus près des utilisateurs.

Le retour des carrières industrielles

Après plusieurs décennies de contraction des emplois de cadres industriels, l'émergence de ces usines de nouvelle génération offre de nouveaux espoirs en permettant aux pays occidentaux de se réindustrialiser et en offrant à leurs ingénieurs une palette plus riche de possibilités de carrière. Cela concerne aussi bien :

- les filières techniques : conception et supervision des systèmes robotisés de production, des cobots, traitement du big data de la masse d'informations qui en résultera...
- les filières managériales, qui devront notamment réinventer comment animer l'amélioration de la performance au sein d'usines où le « terrain » – là où les problèmes surviennent et où les idées de progrès naissent, le *genba* des Japonais – sera plus maîtrisé par les machines que par les hommes ;

• des trajectoires entrepreneuriales, notamment par les possibilités offertes par les deux derniers types d'usines : la plupart de leurs segments stratégiques potentiels sont à conquérir, et les business models correspondants à inventer.

Le futur est déjà dans les feuilles de route

Aujourd'hui, tous les industriels travaillent sur l'accroissement du taux d'automatisation dans leurs usines actuelles, que ce soit en supprimant définitivement le rôle de l'homme dans certaines étapes du procédé ou en menant de nombreuses expérimentations avec des cobots. L'association International Federation of Robotics a constaté en 2015 que le parc mondial de robots a mis trente ans, de 1980 à 2010, pour atteindre le cap du million d'unités, mais qu'il suffira de huit ans pour atteindre les 2 millions. L'Allemagne est devant la France, mais le Japon et surtout la Corée nous devancent largement en « densité robotique ». Même la Chine, qui bénéficie pourtant d'une main-d'œuvre très compétitive, a multiplié son parc de robots par cinq en cinq ans.

Il reste toutefois à actualiser le modèle managérial pour être capable de tirer tout le bénéfice de ces nouvelles usines, où les cols blancs seront plus nombreux que les cols bleus et les problématiques plus transversales. De nouvelles approches comme l'holocratie (« entreprise libérée »), reposant moins sur le principe hiérarchique, sont actuellement testées par les industriels de l'aéronautique et de l'automobile sur leurs lignes d'assemblage.

L'usine-boutique en est encore à ses frémissements. Les performances des imprimantes 3D continuent à progresser, mais ne sont pas encore assez précises, rapides et peu coûteuses pour qu'on puisse envisager aujourd'hui un déploiement massif. La déferlante en cours de l'Internet des objets favorisera sans doute la propagation du concept, notamment parce que ses consommateurs souhaiteront plus de personnalisation de ces objets connectés.

L'usine-boutique créera des emplois et des opportunités de richesse sur les zones de chalandise, mais elle menace une partie de la chaîne logistique qui met aujourd'hui en contact les consommateurs avec les produits fabriqués loin d'eux, et qui cherche à capturer la connaissance du client par l'analyse de ses données. Le développement de l'usine-boutique suppose que ce conflit potentiel soit réglé.

Quant à l'usine-robot de recyclage, elle sera un point d'application des toutes dernières percées en matière d'intelligence artificielle : aujourd'hui, on peine à recycler de nombreux objets car seul l'homme sait analyser un produit usagé d'un coup d'œil et en déduire les gestes spécifiques pour le démanteler correctement. Les technologies de reconnaissance d'image et de diagnostic automatique permettront d'automatiser ces activités et de les rendre économiquement viables.

En matière de réparation, c'est dans l'automobile et l'électroménager que l'innovation est la plus active, du fait des exigences toujours croissantes de qualité et rapidité

de service pour le possesseur du produit d'une part, de performance économique de l'entreprise d'autre part. Par exemple, Audi va équiper ses concessions américaines de robots-experts destinés à aider les techniciens à effectuer certaines réparations délicates : pour le moment, il s'agit simplement de machines téléguidées depuis l'Allemagne par des experts humains, mais c'est un premier pas. ■

L'usine digitale peut-elle inverser la courbe du chômage ?

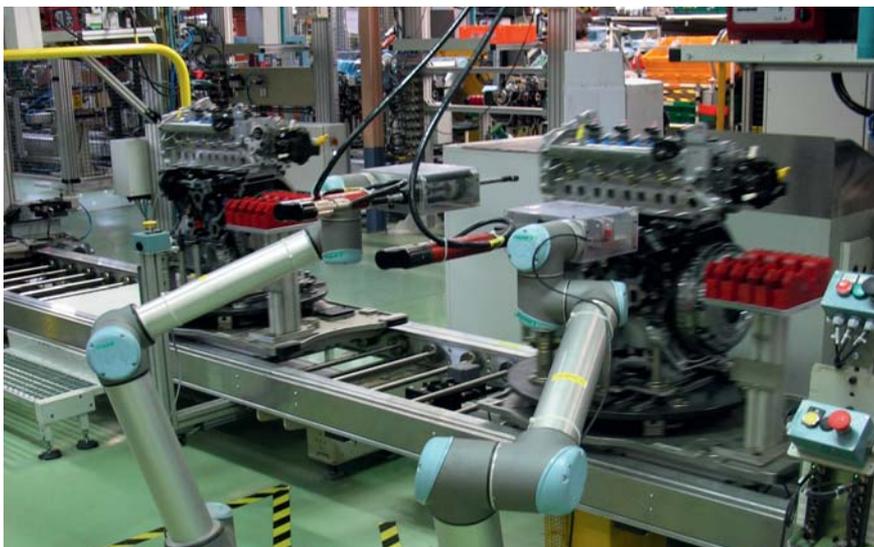
Le déploiement intensif actuel des robots répond avant tout à un besoin de compétitivité en réduisant la part main-d'œuvre du coût d'exploitation. Certes, la robotisation crée aussi des emplois, mais en quantité moindre et surtout... dans les sociétés qui conçoivent, fabriquent et maintiennent les robots.

Comme le montre une étude récente (*Man and Machine in Industry 4.0*, Lorenz, Rüßmann et al., 2015), il faudrait que la croissance allemande soit d'au moins 1 % en rythme annuel pour que le solde net d'emplois du pays soit positif. Sous réserve que ce niveau de croissance soit envisageable dans les années qui viennent, pour que la France puisse elle aussi bénéficier de cette dynamique, elle doit renforcer ses propres capacités en matière de « digitalisation industrielle » face aux poids lourds allemands, japonais ou américains.



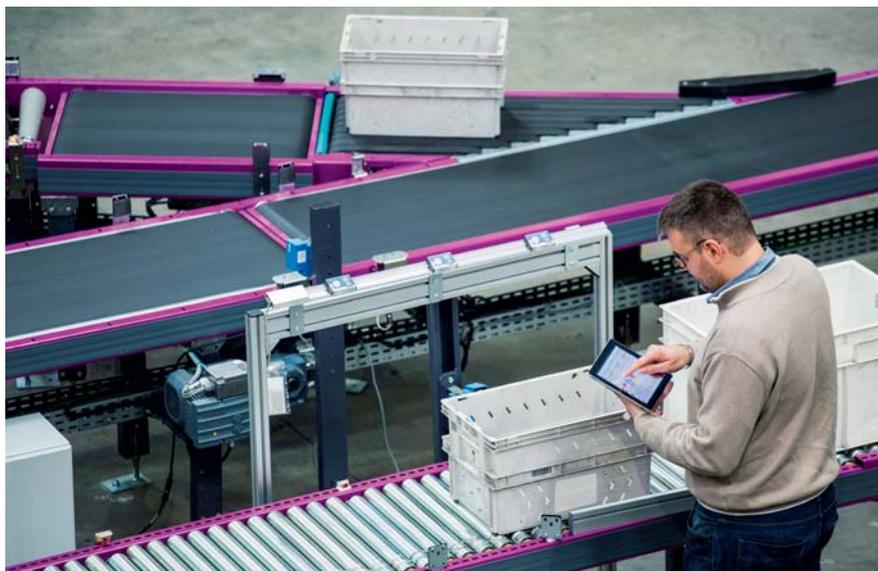
Étienne Pesnelle (ECP 86)

diplômé en option Informatique générale, est consultant en excellence opérationnelle. Il a été en charge du discipline manufacturing chez Capgemini, puis partner chez PwC/IBM. Il a rejoint Renault en 2010, où il est directeur en charge des pôles R&D, Achats et Transformation au sein de Renault Consulting.



Des robots collaboratifs à l'œuvre (cobots) dans l'usine Renault de Cléon.

Quelle place pour l'homme dans l'industrie du futur ?



DR

L'homme, assisté des nouvelles technologies, restera au centre de l'usine du futur.

Accélération, effacement des frontières, hyperchoix... L'industrie doit faire sa mue pour mieux répondre à de nouveaux enjeux économiques, environnementaux et sociétaux. Au milieu de cette révolution, l'homme conserve l'apanage de la créativité et garde sa place dans l'usine, grâce à des technologies qui, loin de le chasser de son poste de travail, viennent l'assister dans la réalisation de sa tâche. Le point avec Michel Dancette, directeur innovation et prospective de Fives.

Les nouvelles technologies sont-elles une menace pour l'homme? Non, elles sont même une chance dans la mesure où elles sont synonymes de pérennité des emplois industriels. Une étude du cabinet Roland Berger (octobre 2014) a mis en évidence la corrélation entre le taux de robotisation d'un pays et la croissance de sa valeur ajoutée industrielle: plus une entreprise est robotisée, plus sa valeur ajoutée

industrielle – créatrice d'emplois – augmente. Aujourd'hui, l'Allemagne compte deux fois plus de robots que la France, dont l'outil de production est également plus vériste que celui de son voisin d'outre-Rhin.

Une révolution pour les métiers

Avec l'usine du futur, la nature même du travail « en usine » s'éloignera de plus en plus des stéréotypes (tâches pénibles et répétitives, travail à la chaîne) qui y sont traditionnellement associés.

Tout d'abord, les nouvelles technologies permettront d'alléger la pénibilité du travail et de guider l'opérateur dans la recherche d'informations, les gestes à accomplir, la vérification des pièces et de leur montage. Grâce au numérique (terminaux mobiles, outils 3D, réalité augmentée...) ou à la cobotique, la coopération entre l'homme et le robot (grâce à des exosquelettes, par exemple) fera son entrée dans nos ateliers.

L'usine du futur donnera également à l'homme la possibilité d'acquérir de nouvelles compétences et d'évoluer vers de nouveaux métiers liés à de nouveaux procédés de fabrication ou à de nouveaux matériaux (fabrication additive, matériaux composites...). Le parcours professionnel de l'ouvrier, jusqu'alors très linéaire, pourra donc désormais évoluer vers des métiers à plus forte valeur ajoutée.

Une nouvelle organisation des tâches dans l'usine

Avec une demande de plus en plus variée et des facteurs économiques externes en changement permanent, l'usine devra faire preuve d'une flexibilité accrue pour adapter sa production. Cette mutation offrira également l'opportunité de réorganiser les métiers de la production et d'offrir aux opérateurs davantage d'autonomie et de responsabilités.

Demain, le travail s'organisera en réseau, en mode collaboratif, bien loin d'un travail à la chaîne qui n'offre aucune souplesse. Sur la base des informations obtenues grâce aux technologies numériques, l'homme sera à même de prendre des décisions, en faisant preuve de plus d'initiative et de créativité. D'opérateur, il deviendra peu à peu responsable, superviseur, innovateur... Le rôle du manager sera également à réinventer.

La quatrième révolution industrielle, une opportunité pour l'emploi industriel

Des esprits chagrins ont eu tôt fait de dénoncer une chasse à l'ouvrier, opérée par des robots qui prendraient désormais le contrôle de nos ateliers de production. Pourtant, les nouvelles technologies pourraient bien devenir le meilleur ami de l'homme, en lui offrant la pérennité de l'emploi industriel et en le libérant de ses tâches pénibles.

Ces technologies concourront inévitablement à faire naître des métiers plus qualifiés: une formidable opportunité de recréer de l'attractivité autour de l'industrie et d'y attirer plus de jeunes ! ■



Michel Dancette (X. Mines Paris)

a débuté sa carrière d'ingénieur chez Bertin Technologies. Il a rejoint Fives en 1996, où il a occupé plusieurs fonctions de direction opérationnelle. Aujourd'hui, il dirige l'innovation et la prospective de Fives, dont l'ambition est de concevoir les usines du futur.

Industrie et mondialisation : la vision de Jean-Paul Herteman

Délocalisation des usines, transfert de technologie, perte des savoir-faire... la mondialisation pose de nombreux défis à l'industrie française. Pour Jean-Paul Herteman, l'ex-PDG de Safran, elle peut être source d'opportunités, à condition d'être maîtrisée. Extraits de son intervention au Forum CentraleSupélec, le 19 novembre 2013.

« La vision de la mondialisation d'un groupe comme Safran repose sur un constat très simple. Certes, Air France reste pour nous un très gros et très fidèle client. Mais la flotte de moteurs qui équipent la compagnie aérienne française représente à peine plus de 1 % de notre flotte totale. Aujourd'hui, l'essentiel de la demande est lié à la montée en puissance des grands pays émergents.

[...] Ces pays (Chine, Inde, Brésil) ont en commun l'ambition bien légitime de développer une industrie de classe mondiale. [...] Cet essor, nous devons l'accompagner. Pour saisir ces opportunités, nous savons que nous devons tenter de maîtriser au maximum la mondialisation.

Nous le faisons en appliquant trois principes :

Premier principe : préserver et renforcer sans cesse un noyau dur industriel et technologique sur notre territoire d'origine. Bien sûr, nous devons être présents à l'international, au plus près de nos clients, pour leur garantir proximité, réactivité et efficacité. Bien sûr, nous devons limiter notre exposition au dollar. Mais la souveraineté de la France demande que nous disposions de toutes les capacités industrielles critiques. C'est l'une des raisons pour lesquelles notre forge de Gennevilliers est toujours en activité. C'est aussi la raison pour laquelle, aujourd'hui, les deux tiers de nos investissements industriels sont réalisés en France.



Deuxième principe : investir massivement dans l'innovation pour rester compétitifs. Chez Safran, nous consacrons chaque année 12 % environ de notre chiffre d'affaires à la R&D. D'abord, parce que l'aéronautique est une industrie à cycle long et que les plus belles réussites sont le fruit de choix d'investissements effectués trois ou quatre décennies plus tôt. [...] Ensuite, parce que nous avons un défi énergétique et environnemental immense à relever. [...] Enfin, parce que les transferts de technologies sont généralement une condition essentielle pour obtenir des contrats dans les pays émergents et qu'il faut donc toujours garder une longueur d'avance.

Troisième principe : jouer le long terme via des partenariats équilibrés et ambitieux, fondés sur la confiance. Garder un différentiel de vitesse en matière d'innovation ne signifie pas se replier sur soi-même. Bien au contraire. Si les règles du jeu sont bien établies, qu'il s'agisse du respect de la propriété intellectuelle, de la protection des technologies sensibles ou de la qualification des personnels, nous avons tout intérêt à unir nos forces à celles de partenaires solides. [...] » ■

Lin Zuoming, président de l'AVIC (China Aviation Industry Corporation), et Jean-Paul Herteman, (ex-)PDG de Safran, lors de la signature en 2010 d'un partenariat stratégique global.



Jean-Paul Herteman (X, Supaéro)

Entré à 34 ans chez Snecma, Jean-Paul Herteman occupera différents postes jusqu'à être nommé en 2004 directeur général adjoint du groupe Snecma et directeur général de la branche propulsion aéronautique et spatiale. À la création de Safran en 2005, il est confirmé dans ses fonctions. En 2006, il prend la direction générale de la branche défense-sécurité. Il est désigné comme président du directoire de Safran en juillet 2007 avant d'en devenir le PDG en avril 2011. Une fonction qu'il occupera jusqu'en avril 2015.

Délocalisations et relocalisations à l'ère de la post-mondialisation



La mondialisation, susceptible d'être porteuse de progrès et de diffusion des connaissances, de rattrapage et de convergence des économies, a engendré un monde de plus en plus fragmenté. Or cette chaîne de valeur s'essouffle et on assiste aujourd'hui à une inversion de tendance avec le développement des relocalisations d'activités. Le point sur ce phénomène avec El Mouhoub Mouhoud, professeur d'économie à l'université Paris Dauphine.

Tout en ayant favorisé l'émergence de nouveaux pays dans la croissance mondiale, l'hypermondialisation est arrivée au bout de sa logique: concentration géographique des activités et inégalités territoriales dramatiques, concentration des revenus sur une poignée de managers globalisés, décrochage des cadres moyens, des employés et des ouvriers... La mondialisation, qui était susceptible d'être porteuse de progrès et de diffusion des connaissances, de rattrapage et de convergence des économies, a engendré un monde de plus en plus fragmenté. La finance internationale déréglementée, au lieu de jouer son rôle de catalyseur de la croissance et de l'innovation, a fait revenir le capitalisme à ses pires périodes de crise. Cependant on assiste à des inversions de tendances, c'est à dire à une rétraction des chaînes de valeur mondiales sur des bases régionales.

Vers une augmentation des relocalisations industrielles

L'hypermondialisation s'essouffle car elle remet en cause de manière paradoxale les facteurs mêmes qui l'ont stimulée (la baisse des coûts de transport et l'extrême faiblesse des coûts salariaux du Sud). Dès lors, les relocalisations d'activités se développent. Au sens strict, la relocalisation est le retour dans le pays d'origine d'unités productives, d'assemblage ou de montage antérieurement délocalisées sous diverses formes dans les pays à faibles coûts salariaux. Au sens large, la relocalisation peut se définir comme le ralentissement du processus de délocalisation vers les pays à bas salaires ou comme la remise en cause des décisions de délocalisation pour les secteurs sensibles à la compétition par les coûts.

En France, depuis le milieu des années 2000, on dénombre une centaine de cas de relocalisation. Cela reste un mouvement marginal mais en augmentation significative dans les secteurs industriels sensibles à l'éclatement de la chaîne de valeur. Mais également dans les secteurs de biens de consommation pour lesquels l'imperfection des produits finis ou des services réimportés après délocalisation n'est pas acceptable. La fluctuation incontrôlée des coûts de transport commence déjà à favoriser une recomposition des processus de production sur des bases régionales et particulièrement pour les produits pondéreux.

Les facteurs de relocalisation en France

Les relocalisations se développent indépendamment des aides publiques si les coûts de coordination et de transport pour rapatrier le produit final l'emportent sur les gains liés à l'exploitation des faibles coûts salariaux. Les progrès dans l'automatisation de la production, conjugués à la hausse des coûts en Chine et dans les pays émergents d'une part, et à l'imperfection des produits finis

ou services rendus d'autre part, constituent des leviers déterminants de relocalisation pour les activités manufacturières. Les problèmes de réponse à la variabilité des consommateurs, la nécessité de coller aux marchés et de fabriquer des séries courtes de produits dont le cycle de vie ne dépasse pas trois à quatre semaines (dans l'habillement par exemple), les problèmes de qualité ou de sécurité des produits importés assemblés dans les pays à bas salaires, consacrent les échecs de la délocalisation et impliquent souvent le retour dans le pays d'origine ou à proximité des marchés.

En Chine, le salaire horaire a très rapidement progressé au cours des années récentes. Alors que la progression annuelle était limitée à moins de 5 % avant 2005, le coût salarial exprimé en euros connaît actuellement une progression à deux chiffres comprise entre 12 et 18 %. Les effets du plan de relance chinois pendant la crise de 2008, le regain d'inflation et la multiplication des conflits sociaux laissent présager une progression continue des salaires, et à un niveau soutenu. Cependant d'autres pays comme le Vietnam maintiennent encore des salaires faibles, permettant toujours le développement de délocalisations itinérantes de la part des multinationales occidentales.

Un phénomène ne touchant pas seulement l'Hexagone

La France n'est pas le seul pays où l'on relocalise. En Allemagne, ce phénomène touche de nombreux secteurs industriels : l'automobile, le caoutchouc et les matières plastiques, le textile, la mécanique, la chimie et l'électronique¹. Elles proviennent essentiellement d'opérations antérieurement délocalisées dans les pays d'Europe centrale et orientale et en Chine, pour les mêmes motifs que ceux développés précédemment (qualité des produits, problèmes de flexibi-

lité, de délais, d'augmentation des coûts de transport...).

Aux États-Unis, la dernière vague de relocalisation semble sérieuse dans la mesure où elle repose sur l'exploitation de nouveaux avantages compétitifs comme ceux liés aux coûts de l'énergie (effet « gaz de schiste ») et à l'augmentation des salaires à l'étranger, en Chine en particulier. Certes, des exemples comme celui du britannique Rolls-Royce, qui a ouvert une nouvelle usine de moteurs en Virginie, ou d'Airbus, qui a décidé d'assembler des A320 dans l'Alabama, sont de simples cas d'investissements étrangers directs aux États-Unis pour des motifs d'accès au marché. Mais des relocalisations dans une logique de fragmentation de la chaîne de valeur visant la réexportation des produits finis à partir des États-Unis interrogent davantage. Toyota a ainsi annoncé une montée en puissance de ses usines du Kentucky et de l'Indiana, où sont assemblées des berlines Camry et des camionnettes Sienna, destinées à être réexportées vers la Corée du Sud. Honda et Nissan prévoient eux aussi de faire fabriquer aux États-Unis des véhicules qui seront exportés vers l'Asie.

La délocalisation dans les services toujours en hausse

A contrario, les activités de services connaissent un phénomène inverse : les délocalisations de services sont toujours en croissance car les coûts de transport y sont nuls et ceux de la communication à longue distance proches de zéro. Pour compenser le retour de la production manufacturière dans les zones à forts coûts salariaux, les entreprises, et notamment les grands groupes, externalisent et délocalisent de plus en plus leurs services supports (centres d'appels, saisie informatique...) dans des pays où les avantages salariaux sont signifi-

catifs, les réseaux de transport et de télécommunication sont bien connectés au pays d'origine et où la langue est la même.

Si « l'hypermondialisation » de la finance se poursuit en l'absence de régulations étatiques réelles, celle de la production industrielle et des services est entrée dans une phase de complexification sans précédent : des mouvements de délocalisation coexistent avec des relocalisations partielles. Les aides se concentrent sur les entreprises « mobiles » et laissent de côté les entreprises « immobiles », c'est-à-dire celles qui emploient des hommes et des femmes qui vivent sur des territoires vulnérables à la mondialisation et à la délocalisation. L'action volontariste de l'État devrait davantage se concentrer sur ces territoires locaux et viser les facteurs de production : le travail, la formation, la recherche et l'innovation, sources de reconquête d'avantages compétitifs par rapport aux pays à bas salaires et donc facteurs potentiels de relocalisation en France ou en Europe. ■

1. Selon une enquête réalisée par l'institut Fraunhofer en 2009. Selon une enquête réalisée par l'institut Fraunhofer en 2009.



El Mouhoub Mouhoud

est docteur en sciences économiques de l'université Paris 1, agrégé d'économie et professeur d'économie à l'université Paris-Dauphine où il dirige le master Affaires internationales. Ses travaux portent sur la mondialisation, la compétitivité des territoires, les délocalisations et relocalisations et les migrations internationales.

Rejoignez-nous sur les réseaux sociaux !



1 200 fans



7 100 membres



1030 followers



157 000 vidéos vues

Produire différemment

La production manufacturière et ses flux logistiques ont atteint des niveaux de complexité, de concentration et d'internationalisation inégalés. Ce système a permis de développer de manière époustouflante la productivité et l'efficacité.

Est-il pour autant soutenable, voire souhaitable, du point de vue écologique ou social ? Ne faut-il pas s'orienter vers des objectifs et des modes de production différents ? Autant de questions posées par Philippe Bihoux (ECP 96), administrateur de l'institut Momentum.

On le sait, l'organisation et la spécialisation augmentent la productivité du travail. Adam Smith l'avait montré avec sa manufacture d'épingles¹ : diviser la fabrication en dix-huit opérations – tirer le fil, le dresser, le couper, frapper la tête... – fait gagner en dextérité et automatisme, et la production dépasse alors de loin celle de l'ouvrier le plus adroit travaillant seul. À cette spécialisation des tâches, Henry Ford ajoute le travail à la chaîne, avec l'emploi d'ouvriers non qualifiés – le fordisme est d'abord un gain sur les coûts salariaux, à productivité constante².

Mais la productivité est aussi fondée sur une dépense accrue d'énergie et de matières. L'utilisation des moulins à eau puis des machines à vapeur dans l'industrie – broyage des minerais, des tissus pour le papier, entraînement des métiers à tisser – lui a fait faire ses premiers bonds. Avec les instruments de contrôle, puis les chaînes



Quelle place pour le travail humain dans la production du futur ?

automatisées, les robots et maintenant le numérique, le contenu technologique et la consommation de ressources des usines n'ont cessé d'augmenter depuis un siècle.

La spécialisation et le transport de produits semi-finis et finis ne datent pas d'hier. Pour un couteau à un sou du XIX^e siècle – une simple lame fixée par un clou dans un manche de bois –, le Jura fournissait les manches, le Dauphiné les lames, et le montage se faisait à Saint-Étienne³... La limite était le coût du transport, lié à l'éloignement des marchés finaux à servir.

Une production dépendante des flux logistiques

Nous n'avons plus cette contrainte. Après des décennies de mondialisation, facilitée par un coût du pétrole suffisamment bas, mais surtout par la technique révolutionnaire de la conteneurisation – apparue dans les années 1950, elle prend son essor dans les années 1980⁴ –, la production des objets manufacturés complexes, comme l'automobile ou l'électronique grand public, dépend des flux logistiques imbriqués de milliers

de fournisseurs dans des dizaines de pays. Les produits plus simples se sont concentrés dans les pays aux coûts salariaux modestes – comme le Zhejiang chinois: Datang produit un tiers des chaussettes et Qiaotou 80 % des boutons et fermetures à glissière du monde. Et que dire de la concentration capitaliste, Foxconn produisant 40 % de toute l'électronique mondiale? Dans la chaîne agro-alimentaire, les crevettes pêchées en Europe du Nord sont décortiquées au Maroc puis réexpédiées pour la vente, tandis que les boyaux de porc vides font l'aller-retour Bretagne-Chine pour être nettoyés, avant d'être garnis de farce.

Économiquement, tout cela est sans doute diablement efficace. On a optimisé les coûts et mis sur le marché des produits abordables, mais aussi, sans conteste, pu déroger aux normes sociales et environnementales, plus exigeantes dans les pays consommateurs. Ainsi le Bangladesh est devenu un acteur majeur de l'industrie du cuir, alors qu'il ne possède ni élevage pour les peaux, ni chimie pour les tannins et les colorants. Tout arrive et repart par conteneur.

Un système difficilement soutenable à long terme

Mais un tel système est-il durable? On peut en douter. D'abord parce qu'il s'appuie sur des macrosystèmes techniques, notamment des réseaux de transport et d'énergie ultra-optimisés et interconnectés, qui pourraient s'avérer peu résilients face aux perturbations à venir: tensions sociales ou internationales, risques géopolitiques, conséquences du changement climatique ou de pénuries de ressources, sans parler des scandales sanitaires possibles. Ensuite parce que le redéploiement mondial de la production et les gains de productivité accrus provoquent dans certains pays des destructions d'emplois à un rythme difficile à assumer socialement. La théorie du déversement d'Alfred Sauvy⁵, le transfert d'un secteur d'activité vers un autre, de la mine de charbon vers les start-up Internet, semble désormais à la peine, et le sous-emploi s'est installé durablement dans de nombreuses sociétés. Or si, pour l'essentiel, les « cols bleus » se sont trouvés en première ligne jusqu'à présent, une nou-

velle vague de robotisation, de numérisation et d'intelligence artificielle risque de toucher, et plus violemment, une partie des « cols blancs ».

Enfin parce que les conséquences environnementales deviennent insoutenables. Les rejets de CO₂ et les impacts sanitaires et biologiques des transports sont exponentiels, malgré tous les progrès unitaires, car ceux-ci sont balayés par l'augmentation des volumes. Les usines elles-mêmes, toujours plus modernes et optimisées, sont rapidement frappées par l'obsolescence technique et doivent, pour rester compétitives, grandir et/ou accroître en permanence leur contenu technologique.

Mais la course au *high tech* ne serait-elle pas une impasse? Beaucoup de produits technologiques utilisent des ressources non renouvelables, des dizaines de métaux différents, souvent rares, qui ne peuvent être que très imparfaitement recyclés. Plus nous augmentons la technicité des objets, plus nous risquons de piocher dans un stock limité, et plus la possibilité d'une économie circulaire s'éloigne.

Nous n'avons d'autre choix que de repenser l'innovation, l'orienter vers l'économie de ressources, questionner nos besoins, pousser la logique de l'écoconception bien plus loin, quitte à revoir les fonctionnalités attendues et faire, chaque fois que possible, du *low tech*⁶.

Vers de nouveaux modes de production ?

Il faudra aussi réinventer nos modes de production: remettre en question la course à la productivité, revoir la place de l'humain, le degré de mécanisation et de robotisation, donc notre façon d'arbitrer entre main-d'œuvre et ressources. Il ne s'agit pas de revenir à l'artisanat ou de « démécaniser » jusqu'au rouet de Gandhi. Mais en réimplantant des ateliers et des entreprises à taille humaine, en fabriquant des biens durables, équipés de quelques machines simples et robustes, on pourrait conserver une productivité correcte tout en baissant le besoin énergétique. Ces unités de production, moins productives mais plus intensives en travail et plus proches des bassins de

consommation, seraient articulées avec des réparateurs locaux. Au final les objets de consommation seraient certes plus chers, mais réparables et réutilisables.

Que tout cela semble utopique, à l'heure des objets connectés, du *big data* et des voitures autonomes! Sûrement. Mais, à bien y regarder, pas plus que le maintien *ad vitam aeternam* de notre civilisation industrielle sur ses bases actuelles, de sa fragile trajectoire « accélérationniste » et de l'artificialisation croissante du monde.

À condition de faire évoluer les règles du jeu, nous avons largement les moyens financiers, techniques, sociaux et culturels de construire une civilisation techniquement soutenable. Dans ce gigantesque chantier, les ingénieurs auront toute leur place. Soljenitsyne disait qu'un « *ingénieur ne peut pas collaborer à une entreprise absurde* »⁷. À nous de redonner du sens au système! ■

1. Adam Smith, *Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations*, 1776.
2. Matthew B. Crawford, *Éloge du carburateur*, La Découverte, 2012, p. 52.
3. Émile With, *Les Métaux*, Furne, Jouvet & Cie, ~1860, p. 354.
4. Marc Levinson, *The Box*, Max Milo, 2011.
5. Alfred Sauvy, *La Machine et le Chômage*, Dunod, 1980.
6. Philippe Bihoux, *L'Âge des low tech*, Seuil, 2014.
7. Alexandre Soljenitsyne, *L'Archipel du goulag*, tome I, Seuil, 1974, p. 281.



Philippe Bihoux (ECP 96)

a travaillé dans différents secteurs industriels (bâtiment, chimie, énergie, transports...) comme chef de projet, ingénieur conseil puis dirigeant. Il est auteur de *L'Âge des low tech : vers une civilisation techniquement soutenable* (Seuil, 2014) et membre fondateur de l'institut Momentum (qui travaille sur « *l'anthropocène et ses issues* »).