

# RÉALITÉS INDUSTRIELLES

« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »  
Charles Coquebert, Journal des mines n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)



## L'industrie du futur

UNE SÉRIE DES  
ANNALES  
DES MINES

FONDÉES EN 1794

NOVEMBRE 2016

Publiées avec le soutien de  
l'Institut Mines-Télécom

# L'industrie du futur

03

Introduction

Denis RANQUE

## Les nouveaux enjeux de l'industrie

05

Qu'attendre des mutations en cours en matière de compétitivité, condition clé de la survie de l'industrie en France ?

Philippe VARIN

10

L'industrie face à un double défi : les nouveaux usages numériques et l'argent facile

François BOURDONCLE

15

De l'industrie tolérée à l'industrie désirée – Quelques paradoxes sur l'industrie et ses représentations

Thierry WEIL

19

Les mutations du travail : leurs registres et leurs temporalités

Michel LALLEMENT

23

L'entreprise frugale

Mireille CAMPANA

## Les technologies génériques de l'usine du futur

27

À quoi l'usine du futur ressemblera-t-elle ?

Karine GOSSE et Michel DANCETTE

32

Calcul intensif et simulation numérique

Christian SAGUEZ

37

L'usine cyberphysique : usine connectée, simulée et reconfigurable

Christophe de MAISTRE

43

La robotique

Jean-Paul LAUMOND

## Les politiques nationales et régionales de modernisation de l'industrie

47

Tour d'horizon des politiques d'« Industrie du futur »  
Thibaut BIDEY-MAYER

51

Industrie 4.0 : comment caractériser cette quatrième révolution industrielle et ses enjeux ?

Dorothee KOHLER et Jean-Daniel WEISZ

57

Le plan français « Industrie du futur »

Pascal FAURE et Philippe DARMAYAN

61

Comment promouvoir la modernisation des PME ?

François PELLERIN

65

La transformation numérique des filières industrielles, un facteur-clé de leur compétitivité et de leur survie  
La nécessité de disposer de standards d'échange et de plateformes collaboratives numériques

Pierre FAURE

## Quelques réalisations

72

Des projets digitaux à la transformation digitale de l'entreprise

Karine BOISSY-ROUSSEAU et Laurelyne VERGUET

76

Les technologies de l'usine du futur au service de la maintenance industrielle

Benjamin GODREUIL et Emmanuelle SAUDEAU

81

L'effet d'attractivité de la performance connectée

Laurent COUILLARD et Étienne DROIT

85

Michelin, acteur de la mobilité digitale

Éric CHANIOT

90

Traductions des résumés

103

Biographies des auteurs

UNE SÉRIE DES  
**ANNALES  
DES MINES**  
FONDÉES EN 1794

**RÉALITÉS INDUSTRIELLES**

Série trimestrielle • Novembre 2016

**Rédaction**

Conseil général de l'Économie, de l'Industrie,  
de l'Énergie et des Technologies, Ministère de  
l'Économie et des Finances  
120, rue de Bercy - Télédock 797 - 75572 Paris Cedex 12  
Tél. : 01 53 18 52 68  
<http://www.annales.org>

**François Valérian**

Rédacteur en chef

**Gérard Comby**

Secrétaire général

**Carine Chauvin**

Assistante de la rédaction

**Marcel Charbonnier**

Correcteur

**Myriam Michaux**

Webmestre

**Membres du Comité de Rédaction**

**Grégoire Postel-Vinay**

Président du Comité de rédaction

**Serge Catoire**

**Pierre Couveinhes**

**Jean-Pierre Dardayrol**

**Françoise Roure**

**Bruno Sauvalle**

**Rémi Steiner**

**Christian Stoffaes**

**Claude Trink**

**François Valérian**

**Photo de couverture :**

Contrôle optique de carrosserie par système d'imagerie di-  
gitale à l'usine Mercedes-Benz de Sildengen, Allemagne.  
Photo © Thomas Ernsting/LAIF-REA

**Iconographie**

Christine de Coninck

**Abonnements et ventes**

COM & COM

Bâtiment Copernic - 20 Avenue Edouard Herriot  
92350 LE PLESSIS ROBINSON

Alain Bruel

Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32

[a.bruel@cometcom.fr](mailto:a.bruel@cometcom.fr)

**Mise en page :** Nadine Namer

**Impression :** Printcorp

**Editeur Délégué :**

FFE - 15 rue des Sablons - 75116 PARIS - [www.ffe.fr](http://www.ffe.fr)

**Régie publicitaire :** Belvédère Com

Fabrication : Charlotte Crestani

[charlotte.crestani@belvederecom.fr](mailto:charlotte.crestani@belvederecom.fr) - Tél. : 01 53 36 20 46

**Directeur de la publicité :** Bruno Slama

Tél. : 01 40 09 66 17

# Introduction

Par Denis RANQUE

Président d'Airbus Group et de La Fabrique de l'industrie

**L**e mythe selon lequel les pays développés pourraient se spécialiser dans les tâches de conception et les services à haute valeur ajoutée a fait long feu. On ne peut concevoir et améliorer un bien ou un service sans une connaissance fine de ses usages ni une compréhension intime de la manière dont il est produit. Il n'y a donc pas d'économie forte durable sans industrie forte. Par ailleurs, la distinction entre produit et service est caduque. Les services les plus immatériels reposent sur une infrastructure matérielle adaptée, les produits s'enrichissent de services multiples. On n'achète plus un équipement, mais la fonctionnalité qu'apporte son usage : la mobilité plutôt qu'une voiture, la sécurité plutôt qu'un système d'armes, la santé plutôt qu'un dispositif médical.

Mais l'industrie doit faire face à de nouveaux défis : comment répondre aux exigences de personnalisation de chaque client sans que le coût ne s'écarte de celui d'une production en grande série ? Comment préserver son modèle d'affaires et ses marges face à l'intermédiation à haute valeur ajoutée que proposent les plateformes ? Comment user avec parcimonie de ressources naturelles limitées et réduire ses impacts négatifs sur l'environnement ? Comment contribuer à la prospérité et à la qualité de vie de son territoire et y trouver les ressources nécessaires à son activité ? Comment attirer vers son entreprise les meilleurs talents ? Comment encourager les jeunes à acquérir les compétences techniques permettant d'exercer des métiers souffrant parfois d'une image dégradée ?

Après avoir rappelé ces enjeux étroitement liés entre eux, nous verrons comment certaines technologies contribuent à remodeler la production. Nous présenterons comment les États, chacun à sa manière, encouragent la modernisation de leur industrie avant d'examiner quelques exemples de « réalités industrielles ».

**Quels enjeux ?** Philippe Varin, président d'AREVA et du Cercle de l'industrie, explique comment les mutations technologiques, économiques, sociales et environnementales en cours peuvent permettre d'enrayer la dynamique infernale de la désindustrialisation et favoriser l'avènement d'une France industrielle conquérante, car plus compétitive, plus innovante, et plus attractive. François Bourdoncle, fondateur d'Exalead, précise les enjeux liés aux risques « d'uberisation » de l'industrie. Thierry Weil, délégué de La Fabrique de l'industrie, présente la diversité des représentations de l'industrie et leur impact sur l'attractivité du secteur. Michel Lallement, sociologue au CNAM et chez France Stratégie, décrit les mutations du travail et Mireille Campana, du Conseil général de l'économie, évoque l'entreprise frugale.

**Quel est l'état des technologies qui permettent de faire face à ces enjeux ?** Karine Gosse, directrice de l'Observatoire des usines du futur de Fives, et Michel Dancette décrivent les grandes transformations de nos usines et des chaînes de valeur. Christian Saguez, professeur à Centrale Paris, approfondit le rôle du calcul intensif et les perspectives de la simulation numérique lorsque des puissances de calcul exaflopiques deviennent accessibles. Christophe de Maistre, PDG de Siemens France, montre ce qu'apporte une usine cyberphysique, connectée, simulée et reconfigurable. Jean-Paul Laumond rappelle les tendances de la robotique et les atouts français souvent méconnus, notamment dans le domaine de la robotique mobile.

**Comment les pouvoirs publics, nationaux et territoriaux, aident-ils les entreprises dans leur transformation ?** Thibaut Bidet-Mayer, chef de projet à La Fabrique de l'industrie, présente les politiques nationales de quelques-unes des grandes nations industrielles. Dorothée Kohler et Jean-Daniel Weisz, associés de Kohler C&C, détaillent le cas allemand et le rôle mobilisateur du concept d'Industrie 4.0. L'approche nationale est présentée par Pascal Faure, directeur général des entreprises au ministère de l'économie et Philippe Darmayan, président de l'Alliance pour l'industrie du futur et d'Arcelor-Mittal France. Ses déclinaisons régionales et sectorielles sont illustrées par François Pellerin, responsable du projet Industrie du futur au conseil régional de Nouvelle Aquitaine, et Pierre Faure qui dirige la plateforme collaborative du secteur aéronautique Boost Industrie.

La dernière partie de ce dossier présente *quelques réalisations industrielles*. La numérisation des processus de production et ce qu'elle permet sont illustrés par Karine Boissy-Rousseau et Laurélyne Verguet d'Air Liquide, tandis qu'Étienne Droit et Laurent Couillard, fondateurs d'Optim'data, montrent comment la télésurveillance des données émises par un parc d'équipements permet au fournisseur d'offrir de nouvelles prestations et de garantir un niveau de disponibilité des machines. Le cas de la SNCF, décrit par Benjamin Godreuil, en charge du programme Usine du futur de l'entreprise, et Emmanuelle Saudeau, sa directrice de la transformation digitale, montre comment la maintenance industrielle mobilise et combine les technologies de l'usine du futur et des outils numériques. Enfin le témoignage d'Éric Chaniot, Chief digital officer du groupe Michelin, illustre comment, au-delà des seuls processus de production, le numérique permet à une entreprise comme Michelin de transformer son offre de services d'aide à la mobilité et ses modèles d'affaires.

Toutes ces réflexions et ces témoignages montrent à quel point l'industrie doit se transformer et se transforme effectivement pour répondre aux défis et saisir les opportunités liées à la mondialisation, aux technologies digitales, aux urgences environnementales et aux exigences de parties prenantes de plus en plus nombreuses et attentives. Ce dossier est d'autant plus opportun que l'idéologie du *fabless* reste encore étonnamment prégnante. L'importance d'avoir une politique industrielle pour soutenir le développement d'une industrie forte est considérée comme une des dix idées qui coulent la France par certains polémistes universitaires <sup>(1)</sup>, tandis qu'insister sur la nécessité de veiller à la compétitivité des entreprises exposées à la concurrence internationale est dénoncé par quelques puristes de la science économique comme une manœuvre sournoise de lobbyistes patronaux sans vergogne <sup>(2)</sup>.

Plusieurs témoignages de ce numéro montrent que la distinction de l'industrie et des services est depuis longtemps dépassée <sup>(3)</sup>. C'est la compétitivité de l'ensemble des secteurs exposés <sup>(4)</sup> à la mondialisation qui est critique pour la santé de notre économie et le maintien de notre cohésion sociale. Les services représentent la moitié des emplois de ce secteur exposé, mais sont souvent très liés à l'industrie. La maîtrise des savoirs de production, la qualification des salariés et la qualité de nos équipements sont donc plus que jamais des enjeux essentiels. Les textes qui suivent précisent ces défis, montrent comment nos entreprises y font face et comment les politiques publiques peuvent les y aider.

(1) Landier (Augustin) et Thesmar (David), 10 idées qui coulent la France, Flammarion, 2013.

(2) Cahuc (Pierre) et Zylberberg (André), Le négationnisme économique, Flammarion, 2016.

(3) Weil (Thierry), L'imbrication croissante de l'industrie et des services, La Fabrique de l'industrie, 2016.

(4) Frocrain (Philippe) et Giraud (Pierre-Noël), Les emplois exposés et abrités en France, La Fabrique de l'industrie, 2016.



www.kohler-cc.com

## KOHLER C&C : le conseil et le coaching 4.0

Le numérique fait muter la chaîne de valeur des entreprises industrielles. La notion d'avantages compétitifs change de contenu. Les outils standards pour structurer et développer la performance montrent des signes d'obsolescence. Les chefs d'entreprise expriment le besoin d'être accompagnés différemment dans ce monde où émergent de nouveaux *business models*, de nouvelles manières de travailler et de nouveaux métiers.

Nous apportons aux entrepreneurs les clés pour innover en réalisant un diagnostic interactionnel stratégique®. Nous proposons une méthode de travail itérative qui permet de détecter les paradoxes, d'éclairer les fausses routes et les blocages au niveau le plus fin de l'organisation. Elle révèle les gisements de création de valeur et les scénarios de croissance en associant les salariés et les clients. La précision du questionnement tant au niveau des fonctions *soft* que *hard*, l'expérience opérationnelle dans les entreprises familiales en France et en Allemagne et l'expertise des enjeux de l'Industrie 4.0, sont les signes distinctifs de l'équipe de KOHLER C&C.

Notre offre de prestation est composée de 5 segments :

- Réalisation de diagnostics interactionnels stratégiques
- Appui à une construction collective de résolution de problèmes
- Appui opérationnel à la mise en œuvre de projets de transformation et d'innovation
- Coaching de dirigeants et d'équipes de direction
- Réalisation d'études prospectives et de comparaisons internationales

**KOHLER Consulting & Coaching**

Contact : dorothee.kohler@kohler-cc.com

# Qu'attendre des mutations en cours en matière de compétitivité, condition clé de la survie de l'industrie en France ?

Par Philippe VARIN

Président d'Areva, président du Cercle de l'Industrie

« L'industrie est morte, vive l'industrie ! »

En redistribuant les avantages compétitifs entre pays industrialisés et pays à bas coûts et en bouleversant ainsi les positions établies, les défis du climat, de l'énergie ou encore de la digitalisation constituent de véritables opportunités pour l'industrie française.

Les mutations technologiques, économiques, sociales et environnementales en cours et à venir ont le potentiel d'enrayer la dynamique infernale de la désindustrialisation qui frappe si sévèrement notre pays depuis plusieurs décennies. Mieux : ces mutations peuvent signer l'avènement d'une France industrielle à nouveau conquérante, et plus encore que par le passé, car cette France industrielle sera plus compétitive, plus innovante et plus attractive.

À nous, les acteurs publics et privés, d'accompagner et de garantir une transition réussie et heureuse vers l'industrie de demain en agissant sur trois leviers déterminants : l'investissement dans l'innovation, la transformation interne des entreprises et la construction de l'Europe industrielle.

## Introduction

### **Défi climatique et transition énergétique, transformation numérique : des opportunités dont l'industrie française doit se saisir**

Les défis du climat, de l'énergie et de la digitalisation sont de réelles opportunités pour notre industrie.

Il y a tout d'abord ces innovations dans le domaine des technologies numériques transversales qui irrigueront et bouleverseront l'ensemble des secteurs d'activité industriels à l'image des capteurs, de l'Internet des objets, de la modélisation et de la simulation numérique, des données massives dites « *Big data* » ou encore des nouvelles intégrations matériel-logiciel.

La numérisation de l'industrie transformera non seulement les processus industriels, mais aussi les modèles économiques « classiques ». En réduisant les coûts et les temps de fabrication, elle permettra une production beaucoup plus flexible et réactive qu'aujourd'hui, capable de délivrer des biens toujours plus personnalisés et d'une plus grande qualité.

Par ailleurs, la numérisation de l'industrie bouleversera la place de l'homme dans l'entreprise. L'automatisation déclenchera un nouveau processus de destruction créatrice en termes d'emplois. Les outils numériques remettront en cause ces notions tayloriennes du travail que sont l'unicité du temps et du lieu de travail et le principe de subordination pour aller vers des organisations plus légères et agiles, plus horizontales et davantage organisées en réseau.

Et puis il y a également ces multiples innovations technologiques clés, transversales et spécifiques, numériques ou non, qui permettront le basculement vers une industrie de demain résolument durable *via* une exploitation non plus intensive, mais raisonnée des ressources naturelles, et moins génératrice de rejets – le CO<sub>2</sub> en tête. Citons par exemple la gestion intelligente de l'eau, le recyclage des matériaux et des terres rares, les carburants de synthèse, etc.

La transition énergétique et la transformation numérique sont des opportunités exceptionnelles pour la France. Dans une économie toujours plus mondiale et connectée,

ces mutations contribueront à l'émergence d'un grand nombre de nouveaux besoins et de marchés en forte expansion, tout en redistribuant les avantages compétitifs entre les pays industrialisés et les pays à bas coûts, rebattant ainsi les cartes de l'industrie mondiale.

Plus simplement (à la condition impérieuse de les maîtriser et de les intégrer), ces mutations peuvent être synonymes de compétitivité et d'attractivité retrouvées pour la France, et ce grâce à son industrie. Elles ont la capacité d'enrayer une dynamique infernale qui affecte la France, celle de la désindustrialisation, amorcée durant les années 1970 et amplifiée depuis 2000.

### La désindustrialisation, une tendance lourde depuis quinze ans, qui est la conséquence directe de la mise en berne de la compétitivité industrielle de la France

Bien que commun à l'ensemble des grands pays industrialisés sur la même période, le phénomène de la désindustrialisation apparaît beaucoup plus rapide et brutal en France qu'ailleurs. Bien au-delà des effets de la crise économique de 2008-2009, il témoigne de la perte continue de compétitivité de notre industrie. À cet égard, la comparaison avec l'industrie allemande est édifiante :

- entre 2007 et 2012, alors que la France a perdu près de 350 000 emplois industriels, soit 9,4 % des effectifs, l'Allemagne en a créé 60 000 ;
- entre 2000 et 2014, la part de l'industrie dans le produit intérieur brut (PIB) de la France a « dévissé » de façon sensible, passant de 16,5 % à 12,3 % <sup>(1)</sup> ; à l'inverse, sur la même période, cette part de l'industrie est restée quasi stable en Allemagne, caracolant à 22,3 % en 2014 <sup>(2)</sup> ;
- entre 2000 et 2012, la production manufacturière a diminué en France de 14 % en volume (contre une augmentation de 19 % en Allemagne) <sup>(3)</sup> et elle reste inférieure de 16 % à celle de l'avant-crise <sup>(4)</sup>. La valeur ajoutée industrielle y a régressé de 3,5 % (contre une augmentation de 28 % en Allemagne) <sup>(5)</sup>. Enfin, la progression du chiffre d'affaires industriel est plus faible sur cette même période en France (13 %) qu'en Allemagne (37 %) <sup>(6)</sup> ;
- en 2015, pour la douzième année consécutive, la balance commerciale de la France reste déficitaire (-45,7 milliards d'euros), avec notamment un accroissement du déficit manufacturier (-23 milliards, contre -25,6 entre 2014 et 2015) <sup>(7)</sup>, alors que l'Allemagne a dégagé un nouvel excédent commercial record de 248 milliards d'euros ;
- le parc industriel français vieillit dangereusement : son âge moyen est passé de 17 à 19 ans, et son parc de machines de moins de 15 ans a baissé de 10 000 machines, alors qu'il s'est accru de 100 000 unités en Allemagne <sup>(8)</sup>.

Des signes encourageants de redressement de l'économie française sont apparus depuis quelques mois, tels une hausse de 2 % de la production industrielle entre les derniers trimestres de 2014 et de 2015 (contre 0,3 % en Allemagne), l'amélioration du taux de marge de l'industrie manufacturière – à 36,4 % <sup>(9)</sup> au dernier trimestre 2015 (son plus haut niveau depuis la crise de 2008-2009) – ou encore un coût du travail horaire dans l'industrie française

inférieur à celui de l'Allemagne (37,3 euros contre 39,1 euros, en 2015 <sup>(10)</sup>).

Des mesures allant dans le bon sens, telles que le Pacte de responsabilité et le Crédit d'impôt pour la compétitivité et l'emploi (CICE), ont été prises par les pouvoirs publics. Les premiers effets en sont perceptibles. Néanmoins, la reprise économique demeure timide et fragile tant elle dépend également de facteurs conjoncturels externes favorables, allant de faibles prix du pétrole à des taux d'intérêt bas, en passant par un euro faible.

Il faut aller plus loin. Les acteurs privés et publics doivent faire collectivement et sans ambiguïté le pari gagnant de la mondialisation, des transitions numérique et énergétique et de la lutte contre le réchauffement climatique. C'est là que se trouvent les clés d'une France à nouveau industrielle, beaucoup plus conquérante car plus compétitive et bien plus attractive pour les investisseurs et les jeunes talents du monde entier, car plus innovante.

La France a les moyens d'y parvenir. Elle doit capitaliser sur ces lignes de force que sont, par exemple, sa capacité d'innovation dans les nouvelles technologies et la qualité de son système de formation et de recherche scientifique. Plus encore, elle doit remédier aux faiblesses structurelles qui l'ankylosent. Les États-Unis, le Royaume-Uni et l'Espagne ont déjà fait ces efforts : ils affichent respectivement, en 2015, des taux de croissance de 2,4 %, 2,3 % et 3,2 % et ont renoué avec une ré-industrialisation créatrice de valeur et d'emplois sur leur territoire : qu'attendons-nous pour en faire de même ?

(1) Chiffres clés de l'industrie manufacturière, édition 2015, direction générale des Entreprises : [http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions\\_services/etudes-et-statistiques/Chiffres\\_cles/Industrie/2015-11-Chiffres-cles-industrie.pdf](http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/Chiffres_cles/Industrie/2015-11-Chiffres-cles-industrie.pdf)

(2) Direction générale du Trésor, 2016 : <https://www.tresor.economie.gouv.fr/pays/allemande>

(3) En France et dans la zone euro, la production manufacturière reste affaiblie par la crise, INSEE, juin 2014 : [http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref\\_id=if6#inter5](http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=if6#inter5)

(4) Étude prospective sur la modernisation de l'appareil productif français. Synthèse du diagnostic et des recommandations, Roland Berger Strategy Consultants, septembre 2014.

(5) Étude prospective sur la modernisation de l'appareil productif français. Synthèse du diagnostic et des recommandations, Roland Berger Strategy Consultants, septembre 2014.

(6) Étude prospective sur la modernisation de l'appareil productif français. Synthèse du diagnostic et des recommandations, Roland Berger Strategy Consultants, septembre 2014.

(7) Le chiffre du commerce extérieur – Année 2015, direction générale des douanes et droits indirects, 2015 : <http://lekiosque.finances.gouv.fr/fichiers/Etudes/thematiques/A2015.pdf>

(8) Étude prospective sur la modernisation de l'appareil productif français. Synthèse du diagnostic et des recommandations, Roland Berger Strategy Consultants, septembre 2014.

(9) En 2015, l'industrie manufacturière a accru sa production et a fortement reconstitué ses marges, Le 4 Pages de la DGE, Études économiques, direction générale des Entreprises, mai 2016 : [http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions\\_services/etudes-et-statistiques/4p-DGE/2016-05-4p55-industrie-manufacturiere.pdf](http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/4p-DGE/2016-05-4p55-industrie-manufacturiere.pdf)

(10) La compétitivité française en 2015, document de travail n°57, Coe-Rexecode, février 2016.

## **« L'industrie est morte, vive l'industrie ! » : les champs d'action essentiels pour accompagner et garantir une transition réussie et heureuse vers l'industrie de demain**

La mobilisation désormais générale des grands acteurs français au cœur de ces transitions économiques, sociales et environnementales est salutaire. À l'instar des programmes allemand « Industry 4.0 », britannique « Catapult », américain « Smart Manufacturing » ou encore chinois « Made in China 2025 », le projet français « Industrie du futur » et les neuf solutions de la « Nouvelle France industrielle » entendent accélérer notre passage à l'industrie de demain.

Néanmoins, réussir ce passage requiert d'aller plus loin sur plusieurs axes d'action concernant l'investissement et l'innovation, la transformation des entreprises et la construction européenne.

### **Il nous faut mettre en place un cadre législatif et réglementaire compétitif et attractif, qui soit favorable à l'innovation et aux investissements des entreprises dans l'industrie du futur**

En effet, la modernisation et la numérisation de l'industrie reposeront sur des innovations de rupture qui requerront des investissements massifs, notamment au niveau des *start-ups*, des PME-PMI et des entreprises de taille intermédiaire (les ETI).

Or, la France n'offre pas de cadre réglementaire fiscal et social qui soit propice au déploiement d'investissements productifs et à l'implantation durable sur notre territoire d'activités industrielles, en particulier innovantes. Une situation qui a notamment eu pour conséquence un sous-investissement industriel qui a été évalué à 40 milliards d'euros sur la décennie écoulée.

Le niveau des prélèvements obligatoires nettement plus élevé en France qu'en Europe (44,6 % du PIB contre 33,2 %, 35,3 et 39,6 % du PIB respectivement en Espagne, au Royaume-Uni et en Allemagne en 2015), a significativement et durablement pesé sur les marges de nos entreprises industrielles, et donc sur leur capacité à investir et à monter en gamme.

Au-delà du Pacte de responsabilité et du Crédit d'impôt pour la compétitivité et l'emploi (CICE), il est impératif de redonner de l'oxygène et de la visibilité aux entreprises françaises pour leur permettre de réaliser les investissements qu'elles savent nécessaires et, ainsi, d'entrer dans l'ère de l'industrie de demain. Il faudra fixer – et inscrire dans une loi de programmation pluriannuelle – une trajectoire de baisse de 50 milliards d'euros d'ici à 2022 des prélèvements obligatoires qui pèsent sur elles, une baisse ciblée sur les coûts du travail, la fiscalité de production et sur la fiscalité du capital.

Au-delà de la restauration de conditions favorables à l'investissement, nous devons proposer un cadre favorable au développement des talents et de l'entrepreneuriat en capitalisant et renforçant l'avantage français en matière d'innovation et de recherche et développement (R&D).

Du Crédit d'impôt recherche (CIR) à certaines initiatives positives (telles que la *French Tech* et les pôles de compétitivité), en passant par son système de formation et de recherche dont l'excellence est reconnue internationalement, la France est une terre d'innovation. Néanmoins, le système français peine à attirer, à soutenir et à conserver ses « pépites », au premier rang desquelles ses talents internationaux de haut niveau et ses entreprises en phase de croissance.

Pour remédier à cette situation, il faut leur garantir un environnement favorable à l'innovation et à la prise de risque. Cela implique de veiller à une application raisonnée du principe de précaution, à travers la mise en œuvre d'un véritable droit à l'expérimentation. Cela nécessite également d'encourager et de valoriser les initiatives visant à fédérer, à soutenir et à développer l'entrepreneuriat et les *start-ups*, tout en poursuivant une véritable stratégie d'attraction des capitaux et des talents internationaux : financement du capital-risque, rapprochement et valorisation des mondes de la formation, de la recherche et de l'entreprise, rapprochements entre grands groupes et petites structures, etc.

### **Il nous faut également accompagner la transformation interne des entreprises, en misant sur nos ressources humaines**

Parallèlement à la mise en place d'un cadre global favorable à l'innovation et aux investissements, il s'agira également d'appréhender et d'accompagner les diverses transformations qui affecteront tant les métiers et les compétences que les emplois et le travail, qui seront redéfinis par le numérique.

Nous devons investir massivement dans la formation initiale et dans la formation professionnelle continue pour faire face efficacement à la mise en tension des emplois et des compétences.

Selon une étude du cabinet Roland Berger, à un horizon de vingt ans, 42 % des emplois français seraient automatisables, à commencer par les plus pénibles. Sans vouloir contester cette prévision, il nous faut rappeler que le processus de destruction créatrice, qui accompagne toute révolution technologique, permettra la création de nouveaux emplois et de nouveaux métiers requérant de nouvelles compétences. Les entreprises peinent d'ores et déjà à recruter – à prix d'or – des *data scientists*, développeurs et autres codeurs : 700 000 à 900 000 emplois ne devraient pas être pourvus à l'horizon 2020 en Europe.

Ce double défi social et économique doit amener les entreprises et les pouvoirs publics à repenser les systèmes de formation initiale et continue de manière à permettre aux individus d'« apprendre à apprendre » en permanence et d'être à même de s'adapter aisément et rapidement au changement technologique. Il en va en effet de leur employabilité et de la compétitivité des entreprises. Il faut, par exemple, décloisonner l'enseignement numérique dès le plus jeune âge, accompagner une montée constante en qualification de l'ensemble des salariés – notamment en valorisant le recours aux outils numériques interactifs tels que le *e-learning* et les *MOOCs* –, et soutenir une gestion



Photo © Hamilton/REA

Salon VivaTech 2016 qui s'est tenu à Paris du 30 juin au 2 juillet 2016.

« L'industrie de demain reposera sur des acteurs qui sauront co-innover et créer ensemble de la richesse à partir de l'exploitation de données. »

active des reconversions des salariés les plus impactés vers de nouveaux métiers et de nouveaux secteurs d'activité.

Nous devons également adapter l'organisation du travail à l'économie numérique.

La révolution numérique pose de formidables défis organisationnels aux entreprises. Elle rend en effet le monde et les organisations plus horizontales et libère les salariés des carcans hiérarchiques, temporels et géographiques qui pouvaient peser négativement sur leur implication et, *in fine*, sur la compétitivité de l'entreprise.

Il convient d'accompagner l'émergence de nouvelles pratiques plus flexibles : renforcer le forfait-jours, assouplir la législation sociale et fiscale relative au télétravail et au nomadisme qui freine actuellement le déploiement de tels dispositifs. Il faudrait aussi, à ce titre, supprimer de notre réglementation fiscale toute qualification d'avantages en nature pour les équipements numériques qu'utilisent aujourd'hui des salariés dans leur travail (téléphones portables, ordinateurs portables, tablettes...).

**Enfin, l'Europe doit être le leader industriel du numérique**

Il est primordial de faire en sorte que l'Union européenne soit en mesure d'assurer un climat de confiance aux entreprises. Elle doit pouvoir garantir la sécurité des données

sensibles, mais aussi affirmer sa souveraineté numérique vis-à-vis d'une poignée d'acteurs non-européens qui dominent actuellement le secteur (communément appelés les « GAFAM », pour : Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft). La France doit promouvoir une approche européenne qui coordonne les initiatives nationales et encourage les échanges de bonnes pratiques, prévenant ainsi tout unilatéralisme.

Le développement d'un marché unique numérique devra assurer aux entreprises le bénéfice d'un véritable *level-playing field* à l'échelle de l'Union européenne.

Or, aujourd'hui, l'environnement réglementaire européen n'est pas suffisamment orienté vers le soutien à l'innovation et à la compétitivité des entreprises.

Concomitamment, le droit de la concurrence doit favoriser l'investissement des entreprises, notamment celui destiné au déploiement de réseaux ultraperformants : la consolidation des acteurs, lorsque cela est nécessaire, doit être facilitée. Parallèlement, il faut prévenir et réprimer les abus de position dominante et l'optimisation fiscale agressive auxquels peuvent se livrer les « géants » américains du Net.

Par ailleurs, l'industrie de demain reposera sur des acteurs qui sauront co-innover et créer ensemble de la richesse à partir de l'exploitation de données. Il est donc

impératif d'accompagner et de faciliter leur entrée dans l'ère de l'*open innovation*, notamment en comblant tout vide juridique relatif à la propriété, à l'utilisation et à la réutilisation des données non personnelles, d'une part, et en mettant en place un cadre juridique clair et stable assurant la protection des données personnelles, d'autre part.

L'industrie européenne, pour être à même de développer des positions de leader sur les marchés liés aux nouvelles technologies, doit effectuer un virage numérique. Le cadre réglementaire européen doit nous y aider.

Nombreuses sont les nouvelles technologies, telles que le *Cloud* et l'Internet des objets, à accroître le risque de brèches dans les systèmes informatiques, dans les autres réseaux et infrastructures et dans les autres services. Cela interroge sérieusement la sécurité des entreprises et fragilise la confiance des investisseurs et des utilisateurs. L'industrie de demain ne pourra voir le jour sans qu'ait été mis en place un système européen de cybersécurité et un cadre réglementaire européen adaptés à la diversité des menaces et aux spécificités des activités à protéger.

Par ailleurs, il faut stimuler l'élaboration de standards européens communs interopérables et ouverts sur le monde dans les cinq domaines stratégiques identifiés par la Commission européenne : la cyber-sécurité, l'Internet des objets, les *Big data*, le *cloud* et la 5G. À cet égard, la volonté de la Commission de définir les priorités en matière de normes et d'interopérabilité numériques est un signal positif, mais encore faut-il qu'il soit suivi d'effets.

## En conclusion

Il était une fois une folle utopie, en laquelle la France a trop longtemps voulu croire, celle d'une société « postindustrielle » quasi-exclusivement fondée sur les services.

Cette utopie n'était pourtant une réalité, qui aujourd'hui est enfin acceptée : il n'y a pas d'économie forte sans industrie forte.

C'est en effet bel et bien l'industrie qui assure 50 % de la productivité nationale, 74 % des exportations françaises et 80 % de la R&D nationale. C'est aussi bel et bien l'industrie qui est la principale source d'innovation pour les technologies et les services et qui permet par la création d'un seul emploi d'en créer trois à quatre dans les autres secteurs de l'économie.

Des transformations numérique, énergétique et environnementale en cours et à venir naîtra une économie plus ouverte, plus durable et plus flexible qui redéfinira et revalorisera la place de l'industrie. À nous, les acteurs publics et privés, de les prendre en considération et de les donner à voir à tous comme une chance – celle de doper la compétitivité de l'industrie française et de la repositionner face à la concurrence mondiale et celle, aussi, de relocaliser ses activités et ses emplois sur un territoire attractif, au cœur des lieux de vie, et ainsi de redorer son image, notamment auprès des plus jeunes.

# L'industrie face à un double défi : les nouveaux usages numériques et l'argent facile

Par François BOURDONCLE

Président de FB&Cie et fondateur d'Exalead

Le battage médiatique fait autour de l'« ubérisation » de l'économie occupe tous les esprits. Mais comme pour tous les sujets à la mode, il est facile de céder à la tentation de croire que tout cela est décidément bien exagéré et que la bulle va bien finir par exploser. Or, force est de constater que le phénomène perdure et même s'amplifie, et que l'explosion des bulles dans l'histoire n'a fait que renforcer des leaders, comme cela a été le cas pour Google ou Amazon après l'explosion de la bulle Internet en 2000 et, surtout, que les géants de l'Internet s'attaquent maintenant au monde physique (transport, énergie, télécommunications, etc.) en mobilisant leur savoir-faire en matière de numérique et des capacités financières considérables. Nous pensons que les entreprises comme Uber ou SpaceX menacent réellement, à terme, des pans entiers de nos économies. En décrivant les mécanismes à l'œuvre, nous allons essayer de comprendre pourquoi nous assistons à une véritable révolution industrielle et tenter d'imaginer comment les industries traditionnelles pourraient s'y adapter.

## Vous avez dit révolution numérique ?

La « révolution numérique » est aujourd'hui sur toutes les lèvres, et le développement tentaculaire des fameux GAFA (Google, Apple, Facebook et Amazon) bien au-delà de leur domaine de compétence historique ne manque pas, à raison, d'interpeler les industriels.

Et pourtant, malgré ce battage médiatique, nombre d'idées fausses circulent sur ce qu'est réellement cette fameuse révolution numérique.

L'exemple le plus criant en est le contresens que représente l'expression « transformation numérique de l'entreprise », qui est pourtant le sujet phare de tant de séminaires dans nos grands groupes industriels. En effet, cette transformation pour l'entreprise ne se limite pas à l'idée de faire mieux, grâce au numérique, ce qu'elle faisait déjà auparavant, comme le laisse entendre cette expression.

C'est au contraire le développement du numérique dans un nombre toujours plus grand de domaines qui transforme radicalement les usages et les attentes des consommateurs, les modèles d'affaires, le paysage concurrentiel historique des industries, et finalement, la manière même dont fonctionne notre économie.

C'est donc l'économie qui se transforme sous l'influence

des nouveaux usages numériques, et l'entreprise doit impérativement s'adapter à cette transformation profonde de son environnement concurrentiel. Cela, bien entendu, en numérisant davantage l'ensemble de ses processus historiques, à commencer par sa relation avec ses clients, lesquels s'attendent de plus en plus à avoir un accès permanent à l'entreprise par l'intermédiaire de leur smartphone (par exemple, via Twitter, qui est en train de devenir le canal privilégié de support client et de réclamation pour les entreprises).

Mais, au-delà de leur relation client, les entreprises doivent entièrement repenser leur environnement concurrentiel, leurs modèles d'affaires et, surtout, comme nous allons le voir, leur manière d'innover et de financer ces innovations de rupture afin de pouvoir lutter à armes égales avec les GAFA.

Une autre idée trompeuse est de croire que nous serions en train de vivre « la » révolution numérique.

En réalité, nous en sommes déjà à la troisième, et celle-ci est la plus dangereuse.

La première phase a été celle qui, dans les années 1980 à 2000, a permis aux entreprises d'informatiser un grand nombre de leurs processus métiers traditionnels (achats, logistique, finance, ressources humaines, gestion

des clients, etc.) et de donner un accès à ces services à leurs collaborateurs, *via* les PC et la bureautique. Les géants qui ont émergé lors de cette première révolution sont connus : IBM, Microsoft, Oracle, SAP, pour ne citer qu'eux. Les innovations technologiques ont été extrêmement nombreuses, à commencer par la standardisation des bases de données, dans lesquelles toutes les informations de l'entreprise ont été consciencieusement organisées en lignes et en colonnes, ce qui a permis d'informatiser les processus de celle-ci. Mais le rapport de force, à l'époque, était en faveur des informaticiens, et l'utilisateur a toujours été le parent pauvre de cette première révolution numérique qui, si l'on voulait établir un parallèle avec une autre révolution industrielle, celle de l'industrie textile, pourrait correspondre au remplacement de la machine à vapeur par un très gros moteur électrique (que l'on pourrait comparer au *mainframe* d'IBM) pour fournir l'énergie mécanique nécessaire. Or, il est bien connu que les innovations dans l'industrie textile ne se sont véritablement déployées que lorsque l'idée a germé de remplacer l'imposant moteur électrique central et les longues courroies de transmission par des petits moteurs décentralisés installés directement sur chacun des métiers à tisser. C'est à partir de ce moment-là, près d'un demi-siècle plus tard, que l'innovation a explosé dans l'industrie textile, et que les gains de productivité y ont été considérables.

Un processus similaire est à l'œuvre actuellement. En effet, une deuxième révolution numérique a eu lieu, dans les années 2000 : celle de l'Internet, du *Web*, du « *smartphone* », du commerce en ligne et des réseaux sociaux. Lors de cette nouvelle phase, l'utilisateur a repris le pouvoir et l'on a vu apparaître de nouveaux géants, comme Google, Apple, Facebook et Amazon, *qui servaient non plus les entreprises, mais directement le grand public*. Ces entreprises ont dû réinventer des pans entiers de l'informatique tant les solutions existantes ne leur permettaient pas de développer les services qu'elles souhaitaient désormais proposer à leurs clients. Pour résoudre les problématiques du passage à l'échelle (même en disposant de 100 000 collaborateurs, une entreprise traditionnelle ne pourra jamais rivaliser avec une entreprise comme Facebook qui, elle, compte plus de 1 milliard d'utilisateurs, soit 10 000 fois plus !), elles ont donc dû notamment inventer de nouvelles bases de données dites « NoSQL », celles-ci étant optimisées pour gérer des quantités phénoménales de données tout en ayant des temps de réponse ultra-rapides. Qui plus est, les GAFAs se sont attelés à standardiser leur informatique et à l'organiser en couches de niveau de complexité croissante, ce qui a donné naissance à ce que l'on appelle aujourd'hui le « *Cloud* ». Il est d'ailleurs très frappant de constater que c'est pour satisfaire ses besoins internes (réduire les coûts et innover plus rapidement) qu'une entreprise comme Amazon a, comme Monsieur Jourdain, développé « sans le savoir » une plateforme de ce type appelée « Amazon Web Service » (AWS), ce qui a fait d'elle le leader actuel du marché, alors que son métier de base était le commerce en ligne !

Cette seconde révolution numérique a ainsi donné naissance à de nouveaux géants résolument tournés vers les

usages grand public et opérant un nouveau type « d'usine numérique » permettant à toutes les *start-ups actuelles, celles de la troisième révolution numérique*, d'innover et de développer des produits opérationnels à une vitesse et à un coût jamais vus dans l'histoire, car, les infrastructures étant louées, les *start-ups* n'ont pas à supporter le poids de lourds investissements.

Cette troisième révolution numérique est en train de donner naissance à de nouveaux géants, que l'on désigne par l'acronyme NATU : pour Netflix, Airbnb, Tesla et Uber. Le cas d'Uber est particulièrement intéressant, car cette entreprise a développé très rapidement son service en faisant appel à AWS pour son système informatique, à Google Maps pour son service de géolocalisation et à d'autres services en ligne pour parfaire son offre. Le tout, très rapidement, ce qui lui a permis d'utiliser ses fonds (12,5 milliards de dollars levés, pour une valorisation totale de 66 milliards de dollars) pour financer un déploiement ultrarapide dans la plupart des grandes villes du monde, « acheter » le marché en finançant le manque à gagner de ses chauffeurs et payer des avocats pour faire face aux nombreux procès qui lui sont intentés. Au final, en faisant en sorte que son service devienne très vite indispensable au plus grand nombre, Uber n'a de cesse de rendre de plus en plus élevé le coût politique de son éventuelle interdiction pour des gouvernements qui pourraient en avoir la tentation (notamment sous la pression des lobbies des taxis).

### L'innovation à l'ère des « full-stack start-ups »

L'une des théories les plus en vogue ces dernières années pour décrire l'innovation de rupture et la manière dont les sociétés leader peuvent, assez rapidement, perdre leur position dominante est celle développée par Clayton Christensen dans son ouvrage *The Innovator's Dilemma*.

Cette théorie explique comment des sociétés, comme Kodak, Xerox ou encore Digital Equipment, de plus en plus focalisées sur la satisfaction de leurs clients traditionnels les plus rentables (refusant par là même de remettre en cause leur modèle d'affaires), ont pu lentement perdre du terrain face à l'ascension fulgurante de jeunes sociétés qui les ont attaquées (à la marge) sur des marchés qu'elles avaient délaissés considérant qu'ils présentaient peu intérêt pour elles. Ces jeunes sociétés ont su développer de nouveaux produits et des usages plus simples et moins coûteux, conquérir ces marchés abandonnés et remonter progressivement la « chaîne de valeur » pour finir par attaquer les leaders au cœur même de leur métier.

Cette théorie, qui a été intégrée par l'ensemble des acteurs de l'économie innovante, que ce soit les cadres dirigeants des grands groupes ou les investisseurs en capital-risque, a conduit à l'explosion du développement d'écosystèmes de *start-ups* partout dans le monde et au rachat de ces dernières par ces grands groupes avant qu'elles ne soient devenues de véritables menaces.

Mais ça, c'était avant. À l'époque où les géants issus de la deuxième révolution numérique, les GAFAs, n'en étaient

pas encore et où ils n'avaient pas encore développé leur offre de *Cloud*, ces usines numériques à produire rapidement de l'innovation à bas coût. C'était à une époque, aussi, où le capital-risque était difficile à trouver et où une *start-up* commençait nécessairement « petit » en nourrissant des ambitions à la hauteur de son financement.

Or le monde a changé : avec des coûts de développement logiciel très faibles, des innovations dont l'effet de rupture est essentiellement lié à l'usage, une banalisation et une démocratisation de l'accès à des technologies plus anciennes qui avaient constitué jusque-là des barrières à l'entrée infranchissables pour de nouveaux entrants, le tout dans un contexte d'argent facile permettant un déploiement mondial rapide de ces usages, les « gentilles *start-ups* » que les grands groupes pouvaient se permettre de regarder avec condescendance sont devenues de redoutables concurrents qui s'attaquent maintenant presque immédiatement à leur cœur de métier avec des ambitions à la hauteur de leurs nouvelles capacités de financement. Et ces *start-ups* n'ont pas peur de développer progressivement l'ensemble des technologies dont elles ont besoin à la fois pour assurer leur indépendance technologique et, peut-être, et surtout, pour avoir toute latitude pour innover à un rythme effréné sans dépendre de fournisseurs nécessairement plus lents, fussent-ils de grands spécialistes de leur secteur.

C'est ce que les Américains appellent des « *full-stack start-ups* », c'est-à-dire des *start-ups* qui maîtrisent absolument tout, depuis l'applicatif et la relation client jusqu'à l'infrastructure de plus bas niveau qui fournit le service. On sait par exemple qu'Apple a décidé, aussi bien pour des raisons de sécurité (crainte des logiciels espions), que pour des raisons liées à sa capacité d'innovation, de développer ses propres serveurs et sa propre couche de « *Cloud* » pour son système iCloud qui repose essentiellement, aujourd'hui, sur Amazon Web Services. Mais Apple en a fait de même pour les microprocesseurs de l'iPhone, de l'Apple Watch ou même de ses nouveaux écouteurs sans fils Bluetooth, qu'il optimise pour des usages spécifiques, notamment la gestion de la consommation d'énergie.

L'un des exemples les plus frappants de cette approche « *full-stack start-up* » est la société SpaceX, qui profitant des contraintes budgétaires imposées à la NASA et de la réutilisation, parfois innovante, de technologies spatiales éprouvées (et payées par le contribuable américain), a su (à la surprise générale) se doter d'un outil industriel ultraefficace pour développer un lanceur léger, le Falcon 9, lui permettant de mettre un satellite en orbite à un prix d'environ la moitié de celui d'Ariane 5. L'homme qui se cache derrière SpaceX, Elon Musk, est également aux commandes de la société Tesla, qui est un autre exemple de « *full-stack start-up* » : au lieu de conclure un partenariat avec un constructeur automobile, il a préféré « mettre des roues sur un iPad », autrement dit, partir d'une feuille blanche pour (re)concevoir une voiture répondant parfaitement à sa vision, et ce, sans dépendre d'aucun partenaire.

Mais Uber est également un exemple très intéressant : après avoir initialement développé son offre de service à partir des services d'Amazon et de Google, il est en train



Photo © Gene Blevins/ZUMA-REA

Conférence de presse d'Elon Musk, fondateur de SpaceX, au sujet de la rénovation de la base aérienne de Vandenberg, juillet 2011.

« L'un des exemples les plus frappants de cette approche « *full-stack start-up* » est la société SpaceX, qui a su (à la surprise générale) se doter d'un outil industriel ultraefficace pour développer un lanceur léger, le Falcon 9, lui permettant de mettre un satellite en orbite à un prix d'environ la moitié de celui d'Ariane 5. »

aujourd'hui de prendre ses distances avec Google : il a ainsi débauché les équipes de recherche en robotique de la Carnegie Mellon University (celles qui travaillaient notamment sur les *rover* martiens pour le compte de la NASA) pour accélérer le développement de son projet de voiture autonome, ce qui a conduit David Drummond, l'un des dirigeants d'Alphabet (la société *holding* de Google, qui développe son propre projet de voiture à conduite autonome) à quitter le conseil d'administration d'Uber.

### Se développer rapidement ou mourir lentement

En fait, Tesla, SpaceX, Uber et consorts ne sont que les premiers exemples d'un nouveau modèle industriel qui est devenu la norme pour toutes les *start-ups* actuelles et qui diffère très sensiblement de la manière dont l'ensemble de nos industries traditionnelles sont organisées, à savoir : une *sectorisation par spécialité* (spatial, aéronautique, automobile, naval, banque, assurance, etc.) – où chaque secteur est organisé comme un oligopole (mondial ou parfois régional, pour les « *utilities* ») – et un *maillage de parte-*

*nariats et de sous-traitance très complexe entre toutes ces industries pour fournir un service in fine à des entreprises ou à des particuliers.*

Dans ce nouveau modèle, chaque nouvel usage (et non spécialité) donne naissance à un *quasi-monopole mondial*, dans un contexte de concurrence monopolistique où l'écart entre le leader et ses concurrents est toujours considérable. Il en va ainsi de Google pour les moteurs de recherche, de Facebook pour les interactions sociales entre amis, de LinkedIn pour les relations professionnelles, d'Airbnb pour l'hébergement chez des particuliers, d'Amazon pour le commerce électronique, etc.

L'exemple d'Uber est particulièrement intéressant, car on ne peut pas dire à proprement parler que ce soit un monopole. Et pourtant, la marque est mondiale, le réflexe de tout voyageur est d'utiliser Uber quand il arrive dans un nouveau pays et, surtout, Uber est en train de se transformer en *plateforme* (autre marqueur de ce modèle industriel) qu'il destine à d'autres usages. Imaginons, par exemple, que demain, des voitures Uber électriques à conduite autonome puissent non seulement transporter des passagers, mais également livrer des colis ou des repas. Pouvant prédire de manière intelligente la probabilité de votre présence à votre domicile, la voiture arrivant à proximité de celui-ci pourrait très bien vous prévenir *via* un SMS qu'elle vient vous livrer votre colis (tout en transportant peut-être un client à son bord), vous permettant ainsi de descendre dans la rue pour pouvoir, après vous être identifié (en apposant par exemple votre *smartphone* sur le coffre), récupérer votre commande. Puis alertées du faible niveau de charge de leurs batteries, ces mêmes voitures pourraient alors rejoindre des stations de recharge situées en périphérie des villes, là où l'espace de stationnement n'est pas un problème. Tout cela n'est pas de la science-fiction : Uber a en effet lancé, le 16 septembre, son service de voiture autonome à Pittsburg, aux États-Unis (un service qui est pour l'instant en phase de test).

Bien entendu, quand ces entreprises fournissent des services à d'autres entreprises (leurs offres de *Cloud*, par exemple), le modèle industriel reste très classique. De même, les contraintes géopolitiques font que la Chine et la Russie restent des zones de résistance au déploiement mondial de ces monopoles (par exemple, Uber vient de jeter l'éponge en Chine, comme l'avait fait Google, en son temps). Mais il n'en reste pas moins que ce modèle s'impose partout ailleurs et qu'il est d'ailleurs analogue en Chine, mais avec des acteurs chinois.

L'émergence de ces monopoles ne doit rien au hasard : les usages numériques se déploient mondialement très rapidement (que l'on pense, par exemple, au succès fulgurant du jeu « Pokémon Go », en quelques semaines seulement !). Ils bénéficient souvent d'un effet réseau redoutable (je suis sur Facebook, car tous mes amis y sont) et l'argent facile permet de financer leur hyper-croissance pour capter très rapidement le plus grand nombre d'utilisateurs, partout dans le monde.

L'autre caractéristique de cette nouvelle économie est l'apparition de *sociétés hybrides industrie/service*. Ainsi,

Uber, par exemple, fournit indiscutablement un service. Mais quand il aura déployé la plateforme logistique dont nous avons parlé plus haut, ce sera alors une véritable industrie concurrente, tout à la fois de La Poste, d'Amazon (qui a d'ailleurs récemment racheté Colis Privé), de DHL, d'UPS, des taxis, de la RATP, d'AutoLib, de Renault, etc. Tous les GAFA sont également des industries qui disposent d'énormes *data centers*, de centrales de production d'énergie (ainsi, Apple revend une partie de l'énergie fournie par ses centrales à énergie solaire), etc.

Mais le plus sidérant, c'est qu'après une période où ces nouveaux entrants se développaient grâce à des investissements encore relativement faibles, la tendance lourde à la « servicisation » des industries manufacturières, que l'on observe actuellement, est en train de changer radicalement la donne. Par exemple, Airbnb utilise aujourd'hui des appartements dont il n'est pas propriétaire (ce qui ne l'empêche pas d'être valorisé à hauteur de plus de 25 milliards de dollars, soit bien plus que le groupe centenaire Hilton, qui, lui, est le propriétaire de ses hôtels). Mais, demain, Uber ou Tesla, pour financer leur futur outil industriel (voitures à conduite autonome, infrastructures de recharge, etc.) vont avoir besoin d'une quantité considérable de capital, un capital qui est d'ailleurs de plus en plus, en tant que tel, une barrière à l'entrée sur le marché pour les autres concurrents moins fortunés.

Or, le contexte actuel de *taux d'intérêt réels négatifs* rend la prise de risque indispensable pour faire travailler son argent. Et à l'heure où personne n'est vraiment certain de la valeur réelle des monnaies fiduciaires, investir dans Uber serait-il vraiment plus risqué que de garder ses liquidités en banque ou d'acheter des obligations d'État ?

Ce qui est certain, c'est que des investisseurs privés, des fonds souverains ou des banques comme Goldman Sachs pensent que prendre des risques industriels très importants sur le long terme, dans une logique de captation d'une rente (existante ou nouvelle), est un pari moins fou qu'il n'y paraît. Cela est d'autant plus aisé pour eux que c'est de l'argent sur lequel pèsent peu de contraintes réglementaires. Et, à cela, s'oppose l'approche, prudente, des sociétés cotées en bourse qui n'investissent, le plus souvent, sur fonds propres, que dans de petits projets à faible risque, à retour sur investissement rapide et à faible rendement. Il est dès lors légitime de se poser cette question : la « dictature des investisseurs » qui pousse à privilégier le profit à court terme au détriment du long terme ne serait-elle pas le véritable danger et *le plus grand risque, par les temps qui courent, ne serait-il de ne pas en prendre ?*

## S'adapter à ces nouveaux modèles industriels

Face à un tel constat, un industriel se doit d'analyser lucidement les risques. De mon point de vue, il y a au moins trois risques bien distincts.

Le premier risque serait, pour lui, de penser que son environnement concurrentiel ne va pas être profondément bouleversé. L'exemple des industries potentiellement im-

pactées par les développements prévus par Uber est très représentatif de ce qu'il est en train de se passer.

Le deuxième risque serait de considérer qu'après tout, ces nouveaux géants sont juste de nouveaux clients et qu'ils représentent donc moins un risque qu'une opportunité : cela n'est vrai que dans une première phase durant laquelle ils capturent l'usage et la clientèle. Dans un second temps, ils s'intègrent verticalement afin de maîtriser entièrement leur outil industriel et éliminent ensuite leurs sous-traitants.

Et le troisième risque, évidemment, est celui de voir ces nouveaux entrants capturer un nombre croissant de clients historiques.

Dans le logiciel, le phénomène s'appelle le SaaS (*Software as a Service*), dont la figure de proue, Salesforce, a causé beaucoup de tort à des entreprises comme Oracle, SAP ou IBM, les leaders de la première révolution numérique.

Dans la banque, il serait intéressant d'imaginer ce qui se passerait si Amazon se transformait en banque (au moins facialement) et se mettait à distribuer des produits financiers. Si déjà au fait de nos achats et donc de notre profil de consommation (fidèle aux marques, aventurier, etc.), elle disposait en sus d'informations sur notre situation bancaire, elle serait dès lors à même de nous prodiguer des conseils (sans doute avisés) en matière d'investissement et d'épargne. Pour cela, il faudrait qu'elle puisse comparer les produits financiers entre eux et qu'elle demande aux gestionnaires de fonds de normaliser les performances historiques en les exprimant par exemple nettes de frais de gestion. Évidemment, l'industrie bancaire, qui vit de l'opacité du marché, court un risque énorme à entrer dans ce jeu. Mais qui peut véritablement résister à la perspective de voir ses produits distribués par un géant comme Amazon ?

Dans le spatial, la « servicisation » pose une question saugrenue : un fabricant de satellites ou de lanceurs doit-il continuer à vendre des « objets » à ses clients, ou bien doit-il se transformer en opérateur global de galaxies de satellites en orbite basse et vendre un service ? Évidemment, les investissements ne seraient pas du tout du

même ordre, et les risques non plus. Mais le retour sur investissement potentiel serait beaucoup plus élevé.

Dans l'aéronautique, ne pourrait-on pas imaginer, par exemple, que la Chine, nouvel entrant sur le marché des moyens courriers, choisisse de « louer » simplement ses avions au lieu de les vendre, en association avec sa propre plateforme de réservation en marque blanche, et qu'elle laisse se multiplier des centaines de sociétés spécialisées sur certaines lignes ou sur certains segments de clientèle, à la manière d'EasyJet et d'Amazon Marketplace ?

Évidemment, « serviciser » une industrie nécessite des capitaux considérables pour pouvoir financer les investissements à la place des clients, alors même que des sociétés comme Amazon ou Uber ne sont toujours pas rentables à ce jour.

Mais ces capitaux existent et ne demandent qu'à être investis. Si les industriels historiques veulent jouer à armes égales, il va leur falloir mobiliser beaucoup d'argent, bien au-delà de leurs immobilisations (CAPEX) disponibles.

Il leur faudra sans doute, comme l'a fait la société Google elle-même en se transformant en simple filiale de sa *holding* Alphabet, séparer leur activité historique de leurs nouvelles activités, financer ces filiales avec de l'argent « risqué », accepter de perdre tout ou partie du contrôle de ces filiales et entrer dans une logique plus financière qui voit, dans ces nouvelles entités, les revenus de demain. Il va sans dire que la gestion sociale de ces changements va être un défi absolument considérable pour nos sociétés, un défi que nous avons beaucoup de mal à anticiper. Un défi, aussi, auquel se rajoute celui, distinct mais redoutable également, de l'automatisation croissante de bien des métiers peu qualifiés, que les développements récents et spectaculaires réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle ne pourront qu'aggraver.

Il en va en matière d'économie comme en matière de terrorisme : on ne choisit pas ses ennemis et le statu quo est la seule option qui n'en soit pas une. L'époque exige des évolutions radicales dans bien des domaines. À nous, donc, de relever collectivement le défi !

# De l'industrie tolérée à l'industrie désirée – Quelques paradoxes sur l'industrie et ses représentations

Par **Thierry WEIL**

Délégué général de La Fabrique de l'industrie

Pour se redévelopper en France, l'industrie doit attirer les meilleurs talents et être vécue comme une source d'opportunités et non de nuisances par les riverains et les autres parties prenantes. Or, nos représentations de l'industrie sont instables et contradictoires, évoquant tantôt le plaisir de faire des choses concrètes, de façonner la matière et de créer des objets, tantôt un univers cyber-physique impalpable, voire inquiétant. Les contours de l'industrie sont de plus en plus flous et il devient illusoire de vouloir la distinguer des services qui l'accompagnent, la rendent possible ou reposent sur elle. Paradoxalement, alors que la société devient « hyperindustrielle », l'acte de fabrication y est de moins en moins visible. Nomade et évanescence, l'industrie continue néanmoins de structurer l'économie, les territoires et les identités.

**P**ouvoirs publics et médias parlent de plus en plus du programme gouvernemental pour l'industrie du futur. La notion de programme pour le futur peut laisser perplexe : à moins d'une catastrophe cosmologique, ce futur adviendra, qu'il fasse, ou non, l'objet d'un programme... Les ministres de l'Industrie seraient-ils donc comme Chanteclerc, le coq d'Edmond Rostand, qui, persuadé que c'est son chant quotidien qui fait se lever le soleil, n'imagine pas un seul instant que cet astre insolent puisse commencer sa course sans qu'il le lui ait ordonné ?

## Émergence spontanée, ou émergence organisée ?

Pour certains, l'« industrie du futur » évoque un exercice de prospective : à quoi l'industrie ressemblera-t-elle, demain ? Comment y travaillerons-nous ? Où les différentes tâches seront-elles localisées ? Comment leur articulation sera-t-elle organisée ?

Pour d'autres, la meilleure manière de prédire le futur, c'est de contribuer à le faire advenir. L'industrie sera pour partie ce que nous déciderons collectivement qu'elle doit être. La localisation des emplois, les modes d'organisation et de coordination, la nature du travail et des relations entre les différents contributeurs : tout cela dépendra, demain, des décisions prises aujourd'hui.

Je vais combiner ici ces deux perspectives en évoquant l'industrie telle qu'elle est et l'industrie telle qu'elle se trans-

forme, ce qui suppose de dépasser plusieurs contradictions.

Nous allons d'abord examiner les paradoxes d'une industrie aux contours de plus en plus flous, qui se fond dans le paysage, tout en le structurant de plus en plus. Nomade, elle entretient pourtant une relation symbiotique avec les territoires sur lesquels elle est implantée.

Nous nous pencherons ensuite sur les représentations contradictoires qu'elle véhicule et qu'il nous faut réconcilier ou dépasser pour rendre l'industrie attractive et en permettre le redéploiement.

## Une industrie aux contours flous et nomade, mais qui structure l'économie, les territoires et les identités

Le travail dans l'industrie s'identifie de moins en moins à l'exécution directe de tâches de transformation et d'assemblage. La figure de l'ouvrier fabricant (*homo faber*) disparaît, et cela a des implications notamment géographiques et statistiques.

### **La distinction caduque entre industrie et services**

Les statistiques économiques distinguent encore strictement l'industrie des services. Mais cette distinction a perdu de sa pertinence, car une part substantielle des services est liée à l'industrie. Il s'agit parfois d'activités externalisées (comme le nettoyage des locaux ou la restauration du personnel), parfois de prestations d'études ou de fonctions support (comptabilité...). *A contrario*,



Photo © Sébastien Ortola/REA

Usine de la société française Saft assurant, notamment, la production et le montage de batteries de haute technologie (au Lithium-Ion) destinées à équiper l'Airbus A450.

« Un territoire riche d'instituts de recherche performants, d'une main-d'œuvre qualifiée et d'établissements de formation capables d'en faire évoluer la qualification confère un avantage très important à ses entreprises. »

beaucoup d'employés de l'industrie exercent des activités de service, au bénéfice des clients <sup>(1)</sup>.

De manière générale, *les entreprises offrent des solutions adaptées aux besoins de leurs clients en combinant produits et services.*

Au sein même des entreprises industrielles, les tâches de fabrication réalisées par les humains vont en diminuant, tandis que les tâches (souvent plus qualifiées) d'installation, de paramétrage et de réglage de machines sophistiquées occupent une part croissante du temps des salariés. Les activités de conception, de *design*, de recherche et développement (R&D), de *marketing* et d'optimisation des flux logistiques se développent, il en va de même des services aux clients.

### Une industrie évanescence dans une société hyperindustrielle

L'activité industrielle, entendue comme pure fabrication, a tendance à s'effacer de notre paysage courant. Ce mouvement s'inscrit dans une longue histoire de transformations que les révolutions techniques n'expliquent qu'en partie.

Dans son ouvrage *L'Économie de la connaissance et ses territoires*, Pierre Veltz montre l'importance des dispositifs d'accumulation et de mémorisation de compétences : outils, machines et systèmes de production, normes et

standards garantissent l'interopérabilité des dispositifs et des équipements, des régimes de propriété intellectuelle et des formes d'organisation collective du travail (dont la division du travail n'a constitué qu'une étape).

Si l'industrie se dérobe à nos yeux, c'est donc parce qu'elle se transforme – et non pas parce qu'elle disparaîtrait. À l'époque actuelle, que Pierre Veltz qualifie d'hyperindustrielle, les chaînes de fabrication s'étendent dans le monde entier <sup>(2)</sup>. L'enjeu n'est plus de maintenir telle ou telle filière sur le sol national, mais d'y ancrer certains des maillons critiques du réseau de production.

### Une industrie mondialisée nomade, mais ancrée dans les territoires

À une concurrence entre firmes vient répondre une concurrence entre territoires, qui cherchent à retenir ou à attirer les étapes critiques de création de valeur ajoutée pour les-

(1) WEIL (Thierry), « L'Imbrication croissante de l'industrie et des services », Les synthèses de La Fabrique de l'industrie, juillet 2016. <http://www.la-fabrique.fr/fr/publication/l'imbrication-croissante-de-l'industrie-et-des-services/>

[http://www.slideshare.net/La\\_Fabrique\\_Industrie/l'imbrication-croissante-de-l'industrie-et-des-services-64912363](http://www.slideshare.net/La_Fabrique_Industrie/l'imbrication-croissante-de-l'industrie-et-des-services-64912363)

<https://www.youtube.com/watch?v=JytdIDJ2Y>

(2) VELTZ (Pierre) & WEIL (Thierry), « Vers un monde hyperindustriel », in *L'Industrie notre avenir*, Éditions Eyrolles, 2015

quelles l'écosystème local peut offrir un avantage durable. Dans un monde globalisé où les innovations diffusent très vite et où les coûts fixes (de conception, de mise en place de capacités de distribution et de services, d'organisation des chaînes logistiques...) l'emportent largement sur les coûts variables des intrants (énergie, matières premières, travail), *les firmes construisent un avantage mondial sur des niches*, comme le font les entreprises allemandes produisant des biens d'équipement.

Un territoire riche d'instituts de recherche performants, d'une main-d'œuvre qualifiée et d'établissements de formation capables d'en faire évoluer la qualification confère un avantage très important à ses entreprises <sup>(3)</sup>.

Réciproquement, les entreprises peuvent jouer un rôle majeur dans l'entretien et la dynamique de cet écosystème local <sup>(4)</sup>. C'est encore plus facile autour de grandes métropoles bien connectées au reste du monde et capables d'accueillir des établissements de recherche et d'enseignement de haut niveau <sup>(5)</sup>.

### La fin de la classe ouvrière ?

Paradoxalement, alors que de moins en moins d'hommes et de femmes sont affectés à des tâches de fabrication, elles-mêmes de plus en plus sophistiquées <sup>(6)</sup>, et alors que certains prédisaient la disparition de la classe ouvrière, le traitement statistique des enquêtes sur le travail montre qu'il existe une catégorie d'ouvriers de l'industrie et du BTP qui se distingue nettement des autres catégories professionnelles ou sociales du fait des fortes spécificités de leurs conditions de travail <sup>(7)</sup>.

Cette « classe ouvrière » est toutefois en train de connaître une profonde mutation, comme l'illustrent des tendances parfois contradictoires que nous allons maintenant évoquer.

## Un imaginaire industriel foisonnant et ambigu

L'industrie est le lieu de la production collective d'objets concrets et de services. Cela évoque diverses représentations, attrayantes ou repoussantes, que les évolutions futures de l'industrie peuvent renforcer ou, au contraire, corriger. Examinons maintenant quelques-unes des composantes de la culture ouvrière et de notre imaginaire industriel.

### Le démiurge

*« On transforme la matière, on agit sur du concret, on voit l'objet complexe être assemblé pour prendre forme et fonctionnalité ».*

Voir le résultat concret de ce que l'on fait est très gratifiant.

Les opérateurs sont fiers d'avoir fabriqué ou contribué à la fabrication d'un objet et de pouvoir « toucher » le résultat de leur travail. J'entends souvent des élèves jadis mal à l'aise dans le système scolaire général dire qu'ils ont découvert, grâce à l'exercice d'un métier pratique, qu'ils étaient capables de réaliser des tâches difficiles et que cela leur a permis de reprendre confiance en eux.

Produire des objets utiles dont on comprend le fonctionnement et l'usage peut être plus immédiatement porteur

de sens qu'une participation à des activités abstraites, comme la finance ou le conseil. Faire des « vraies choses » apparaît comme un mode de retour sinon à la nature, tout du moins à des activités moins hétéronomes, plus conviviales et vernaculaires <sup>(8)</sup>. On le constate en observant le plaisir que certains trouvent à bricoler, à fréquenter les *FabLabs* et à « faire par eux-mêmes » (*Do It Yourself*).

De ce point de vue, la virtualisation inhérente aux systèmes cyber-physiques peut provoquer un malaise. Tel opérateur, qui n'intervient plus directement sur le produit, mais se borne à surveiller et entretenir un système de production automatisé, même si son travail devient moins pénible, moins répétitif et s'il exige plus de qualification, peut perdre sa fierté de fabricant et vivre mal ce que sa hiérarchie considère être pour lui une promotion valorisante.

### L'apprenti sorcier

*« L'industrie provoque une artificialisation du monde : on remplace les solides produits artisanaux (en métal ou en bois) par des gadgets "chimiques" à l'obsolescence programmée, en consommant des ressources rares et en polluant la planète ».*

L'usine du futur veille à ses impacts sur l'environnement, minimisant ses consommations et ses rejets nuisibles.

Certes, les produits industriels sont, par construction, artificiels. Le consommateur exigera des produits sains et inoffensifs, demandera aux entreprises industrielles des comptes sur leur responsabilité environnementale, n'acceptera l'incertitude que pour des bénéfices évidents et substantiels. En revanche, il se passera difficilement de son *smartphone*. Il n'aime pas l'idée que les GAFAM savent tout de lui, mais sans pour autant accepter de se déconnecter des réseaux sociaux. Malgré les charmes de la sobriété, il aura du mal à « se passer du superflu, [cette] chose très nécessaire » <sup>(9)</sup>.

### La machine infernale

*« La pénibilité et le danger : les opérations peuvent être éprouvantes ou dangereuses. La matière résiste, l'objet manipulé pèse lourd, les outils sont coupants ou contondants, les réactifs corrosifs, la température ou le bruit éprouvants... ».*

La machine infernale est une projection des premières décennies de la révolution industrielle, illustrée par les romans d'Émile Zola, puis par les films de Charlot ou de Fritz Lang.

(3) BERGER (Suzanne), *Making in America, from innovation to market*, MIT Press, 2013.

(4) BOURDU (Émilie), « L'Entreprise jardinière du territoire », note de La Fabrique de l'industrie, Presses des Mines, 2013.

(5) VELTZ (Pierre), op. cit.

(6) BIDEY-MAYER (Thibaut) & TOUBAL (Louisa), « Travail industriel et compétences à l'ère du numérique : vers l'apprentissage permanent », Les notes de la Fabrique de l'industrie, Presses des Mines, décembre 2016.

(7) Groupe de recherche AMIQAP (résultats à paraître) (voir BOURDU-SWEDECK (E.) & al., « Qualité de vie au travail, levier de la compétitivité », Les notes de la Fabrique de l'industrie, Presses des Mines, octobre 2016).

(8) ILLICH (Ivan), *La Convivialité*, Paris, Seuil, 1973.

(9) VOLTAIRE, *Le Mondain*, Paris, 1736.

L'usine du futur propose un environnement de travail plus attrayant et plus sûr en éliminant les nuisances et les tâches pénibles ou répétitives, en recourant à des automates, à des robots et à des cobots (des robots collaboratifs) et en étudiant l'ergonomie des postes de travail.

Un natif des technologies numériques, acculturé aux mélanges de virtuel et de réel, apprécie les différents assistants personnels qui lui sont proposés : lunettes de réalité virtuelle, exosquelettes, tablettes, modules de formation individualisés... L'usine du futur ressemble à un grand jeu vidéo d'où sortent de vrais objets et dont les « bons joueurs » assurent la performance.

### Un sport d'équipe

« *Le travail collectif : au contraire de l'artisan qui maîtrise seul la plupart des savoirs nécessaires à sa production, l'industrie coordonne des processus complexes pour faire réaliser des choses extraordinaires par des gens ordinaires, avec cette culture de l'exploit collectif où le résultat final dépend cruciallement de l'engagement efficace de tous* ».

Le travail collectif devient souvent plus individualisé. Les opérateurs sont de moins en moins soumis à une cadence imposée par la chaîne ou par les étapes amont et aval. Ils sont guidés et assistés dans leur travail par un environnement physique et logiciel. Tout cet environnement d'aide peut cependant être parfois vécu par les opérateurs comme le moyen d'une surveillance permanente de leur activité. L'individualisation de leurs tâches, de leurs statuts et de leurs compétences risque de réduire la dimension collective de leur engagement et de mettre en cause certains modes d'action traditionnels des syndicats ou l'appétence des employés pour une représentation collective.

### Le « pro »

« *La responsabilité et l'autonomie : chacun doit faire preuve de vigilance pour ne pas mettre en danger ses coéquipiers ni laisser passer des défauts dans le produit* ».

L'ouvrier délivré des tâches monotones ou pénibles peut surveiller des processus complexes en faisant preuve de réactivité et de créativité afin d'identifier un éventuel dysfonctionnement, d'y trouver une parade ou d'imaginer une amélioration du processus pour en accroître l'efficacité en éliminant les dysfonctionnements les plus fréquents.

C'est là *a priori* un travail beaucoup plus satisfaisant pour celui qui l'accomplit. Mais le périmètre des interactions qu'il doit considérer ne se borne plus à l'environnement immédiat d'une pièce ou d'une machine, ce qui peut être pour lui une source de stress ou de surcharge cognitive. Par ailleurs, le conducteur d'une machine complexe peut avoir un travail plus strictement prescrit que l'ouvrier traditionnel : en effet, on n'accepte pas qu'un pilote d'avion, un conducteur de TGV, un pilote de réacteur nucléaire ou d'un train de laminage puisse prendre la moindre initiative susceptible de mettre en danger l'installation et son entourage.

Divers travaux montrent que l'autonomie est un facteur clé de la satisfaction de l'employé, de sa qualité de vie au travail et de son engagement<sup>(10)</sup>. Or, toutes les transformations liées à l'industrie du futur ne vont pas dans le sens d'un renforcement de cette autonomie.

### « Bon pour l'usine »

« *Les métiers de fabrication sont bons pour les « manuels », une catégorie sociale méprisée dans la société française* ».

Le système éducatif français distille les élèves en fonction de leur aptitude à maîtriser les savoirs formels abstraits : il accorde peu de considération aux intelligences pratiques, orientant ainsi les élèves en difficulté vers les filières professionnelles.

Chez certains de nos voisins, l'apprentissage qui est beaucoup plus développé permet à de nombreux élèves de tenter une orientation professionnelle (mieux valorisée qu'en France). Grâce à de multiples passerelles et dispositifs de formation complémentaires, ceux qui le souhaitent pourront acquérir plus tard des savoirs généraux approfondis et bénéficier de carrières évolutives.

L'industrie du futur n'attirera les compétences dont elle a besoin que si l'ensemble de notre système de formation initiale et permanente (que celle-ci soit délivrée par l'Éducation nationale, par les entreprises ou par les centres de formation d'apprentis) se réforme en profondeur.

### De l'industrie tolérée à l'industrie désirée

Le débat sur la société postindustrielle est désormais dépassé<sup>(11)</sup>. On sait aujourd'hui qu'il n'y a pas d'économie forte sans industrie forte et que l'industrie est un facteur de cohésion sociale et territoriale. Reste que certains, même s'ils pensent qu'une industrie prospère est bonne pour le pays, ne veulent pas d'usine derrière leur jardin. D'autres découragent leurs enfants de s'orienter vers les métiers de l'industrie, notamment ceux liés à la fabrication et aux qualifications « manuelles » (qui le sont d'ailleurs de moins en moins).

Nous venons d'évoquer la diversité des représentations que nous pouvons avoir de l'industrie. Toutes ne sont pas engageantes, mais c'est pour partie parce que l'industrie est victime d'images héritées du passé : des usines fumantes aux toits en dents de scie, dissimulant aux regards un travail pénible et précaire et empoisonnant la nature (et aussi, parfois, les consommateurs).

L'industrie redeviendra désirable non pas par la vertu d'une communication habile qui en promouvrait l'image, mais parce que des transformations profondes sont engagées (qu'il faut amplifier) qui la rendront désirable et désirée.

Une industrie performante, sobre en ressources, respectueuse des femmes et des hommes qu'elle emploie, ainsi que des territoires sur lesquels elle est implantée et des consommateurs, pourra attirer les meilleurs talents, susciter des engagements enthousiastes et permettre à notre pays faiblement doté en matières premières et en sources d'énergie d'assurer durablement sa prospérité, sa cohésion sociale, son indépendance et sa sécurité.

(10) BOURDU-SWEDECK (E.), PÉRETIÉ (M.-M.) & RICHER (M.), « *Qualité de vie au travail, levier de la compétitivité* », Les notes de la Fabrique de l'industrie, Presses des Mines, octobre 2016.

(11) GIRAUD (P.N.) & WEIL (T.), L'Industrie française décroche-t-elle ?, La Documentation Française, 2013.

# Les mutations du travail : leurs registres et leurs temporalités

Par Michel LALLEMENT

Lise-CNRS, Cnam (Paris)

Les mutations du travail contemporain peuvent être lues au croisement de trois temporalités différentes : celle de court terme qui est principalement affectée aujourd'hui par la révolution numérique, celle, de moyen terme, que caractérisent les stratégies de reconfiguration post-taylorienne de l'organisation du travail et, enfin, celle de plus long terme, qui questionne la pertinence des catégories que nous mobilisons pour appréhender les activités réputées productives. En s'entrechoquant, les trois registres de changement liés à ces trois temporalités précipitent des transformations de fond dans nos façons de travailler et de considérer le travail aujourd'hui.

Parmi les institutions sociales du monde contemporain, le travail appartient sans nul doute à la famille de celles qui, le plus régulièrement, nourrissent des débats ouverts sur la nature de leur évolution. Afin d'échapper aux confusions et aux positions tranchées que ne manquent jamais de susciter des interrogations à ce sujet souvent en prise directe avec l'actualité politique, le parti-pris adopté ici consiste à distinguer trois temporalités, à partir desquelles il est loisible de différencier des registres de changement différents, qui, par composition, informent les mutations du travail contemporain.

Sur le court terme, ainsi que le suggère la première partie de cet article, le numérique est sans aucun doute l'un des principaux facteurs d'évolution.

Sur le moyen terme, les stratégies de recomposition organisationnelle « post-taylorienne » ont durablement marqué de leur empreinte les transformations des conditions de travail (comme nous le verrons dans la deuxième partie).

Sur le long terme, il convient de considérer le travail non seulement comme une pratique sociale mais aussi comme une représentation. Pour ce faire, les frontières du travail et leurs évolutions seront évoquées pour conclure cette contribution.

## Le travail et le numérique

Même si le *Web* est né à la fin du siècle dernier, nous commençons à peine à percevoir aujourd'hui les effets du numérique sur le travail.

À défaut de pouvoir disposer, à ce jour, de suffisamment d'enquêtes empiriques pour pouvoir établir un diagnostic serré, nous pouvons néanmoins pointer quelques évolutions notables.

La première de ces évolutions concerne les ressources technologiques qui affectent les façons de travailler des Français. Comme l'indique la dernière enquête « Conditions de travail de 2013 » <sup>(1)</sup>, plus de la moitié des actifs occupés utilisent un ordinateur fixe pour leur travail, plus de la moitié (là encore) disposent d'une boîte aux lettres électronique professionnelle, un quart d'un ordinateur portable, plus de la moitié (à nouveau) de l'Internet, et près de 45 % d'un téléphone portable.

Les usages, certes, varient d'un secteur à l'autre (les agriculteurs sont bien moins friands d'ordinateurs portables, ils sont ainsi moins de 10 % à en utiliser un en tant qu'outil de travail) et d'un statut à l'autre (neuf cadres sur dix disposent d'un micro-ordinateur sur leur lieu de travail).

La rapidité avec laquelle ces technologies de l'information et de la communication ont affecté le monde du travail mérite d'être soulignée. En 1987, 26 % seulement des salariés étaient ainsi concernés par l'informatique dans l'exercice de leurs activités professionnelles. Ils étaient 39 % en 1993, 51 % en 1999, 60 % en 2005 et 71 % en 2013 <sup>(2)</sup>.

Les implications d'une telle évolution sont multiples.

La première de ces implications est le développement du travail à distance (télétravail, nomadisme...), dont l'extension ne signifie pas pour autant, bien au contraire, la dis-

(1) COUTROT (T.), « Les Conditions de travail des salariés dans le secteur privé et la fonction publique », Dares Analyses, décembre 2014, n°102, 8 pages.

(2) ALGAVA (E.), DAVIE (E.), LOQUET (J.) & VINCK (L.), « Conditions de travail. Reprise de l'intensification du travail chez les salariés », Dares Analyses, juillet 2014, n°49, 11 pages.

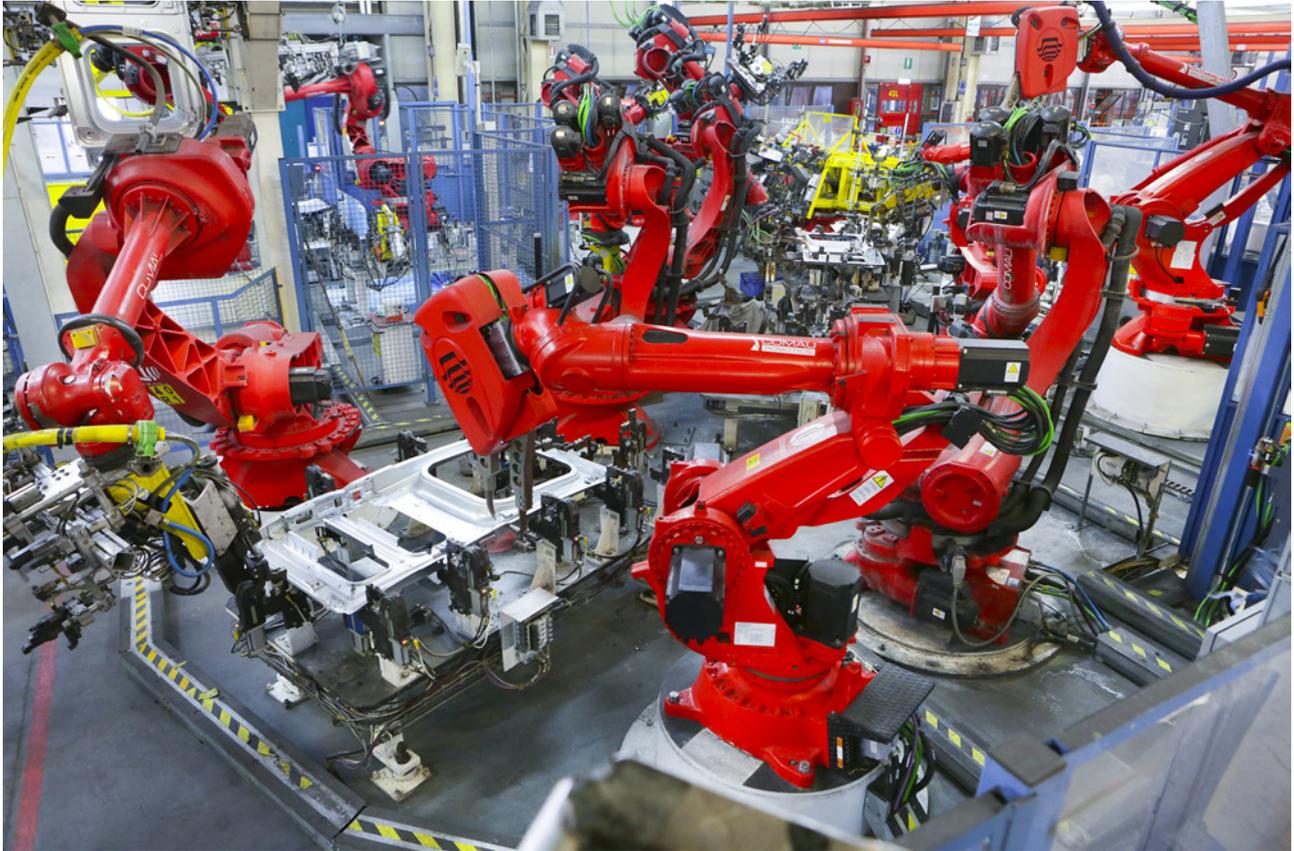


Photo © Ropi/REA

Robots de l'usine d'assemblage Sevel Fiat-PSA à Val di Sangro (Italie).

« Des robots sont utilisés dans le secteur automobile pour opérer des assemblages particulièrement complexes. »

parition des collectifs de proximité. En effet, on assiste aujourd'hui à l'invention de nouveaux lieux d'activités (*coworking spaces, fab labs...*), qui sont à même de transformer la façon de travailler sans pour autant renoncer à la chaleur de la sociabilité professionnelle <sup>(3)</sup>.

La deuxième implication est une extension du mouvement d'automatisation des tâches. L'exécution, par un ordinateur ou par un robot, de tâches préprogrammées continue de bousculer l'organisation du travail dans les secteurs où, depuis longtemps déjà, la machine supplée au travail humain. Sans même évoquer ce domaine riche de promesses révolutionnaires qu'est la nano-robotique, la modernisation des outils de production prend forme, à l'heure actuelle, grâce à des robots dotés de bras de liaison presque aussi agiles que des membres humains. Ces robots SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) sont utilisés dans le secteur automobile pour opérer des assemblages particulièrement complexes, ou encore dans l'industrie pharmaceutique afin d'effectuer des opérations de *packaging* qui exigent à la fois précision et rapidité.

Le numérique participe aussi à l'automatisation de pratiques moins sensibles traditionnellement à la rationalisation technologique. On pense ici, par exemple, à la vente au détail, aux fonctions d'accueil, à la gestion d'informations, aux travaux de réparation, au transport..., autant d'activités qui sont, à ce jour, largement dévolues à

des populations peu qualifiées.

Le numérique chamboule également les conditions de travail de catégories sociales davantage dotées en capital culturel, telles que les professions libérales (médecins, avocats, notaires...) et, plus généralement, celles de professions exigeant une maîtrise des *Big data* (*marketing, recherche...*). Comme le montrent les spécialistes du domaine <sup>(4)</sup>, derrière cette tendance de fond se cache en réalité une pluralité de techniques et de pratiques, dont l'hétérogénéité invite à avoir un jugement nuancé quant à l'impact réel du numérique sur l'automatisation des tâches productives.

Quoi qu'il en soit, grâce au numérique, de multiples réseaux d'individus et de communautés peuvent désormais capter, stocker et échanger des informations en temps réel afin de produire des biens et des services – mais aussi afin de consommer, de jouer, de transmettre des connaissances ou d'échanger des ressources...

(3) BERREBI-HOFFMANN (I.), BUREAU (M.C.) & LALLEMENT (M.) (sous la direction de), numéro spécial : « De nouveaux monde de production ? Pratiques makers, culture du libre et lieux du "commun" », Recherches sociologiques et anthropologiques, vol. 46, n°2, 2015.

(4) CARDON (D.), À quoi rêvent les algorithmes ? Nos vies à l'heure des Big data, Paris, Seuil, 2015.

Ainsi balisé, le territoire du numérique comprend de multiples enclaves aux options les plus variées : promotion ou non des valeurs du « libre » (*free* et *open source*), contributions ouvertes à tous ou réservées à quelques-uns, recherche de gain financier ou pratique du don-contre-don...

Dans cet univers touffu, le modèle Uber suscite tout particulièrement l'attention. Les premières enquêtes empiriques montrent que l'« ubérisation » du travail ne rime pas simplement avec un contournement des règles du droit social, un évitement d'autant plus aisé que que les chauffeurs employés ne bénéficient pas du statut de salarié<sup>(5)</sup>.

Uber innove également en matière de rationalisation du travail. En pratiquant la modulation des tarifs (*surge pricing*), cette entreprise propose d'adapter en temps réel la demande et l'offre de voiturage. Afin, par ailleurs, d'inciter les chauffeurs à se mettre au travail lorsque les besoins s'en font sentir, elle leur envoie des informations sur l'état probable des commandes à venir. Elle refuse en revanche de rémunérer les temps adjacents (comme celui consacré à la restitution d'objets oubliés par des clients sur le siège arrière de la voiture).

Par ailleurs, elle a cette capacité à enrôler le client dans la relation de travail. Ainsi, à chaque course, celui-ci se fait *manager* : il apprécie en direct la prestation des chauffeurs et en évalue la qualité (*rating*).

Enfin, en incitant les conducteurs à présenter la face la plus aimable d'eux-mêmes, Uber participe de cette promotion du travail avec et sur les émotions, travail si caractéristique des relations de service contemporaines.

## Autonomie et contraintes au travail

Même s'il est difficile, en pratique, de démêler les multiples effets de la révolution numérique sur les stratégies que, par commodité, l'on peut qualifier de post-tayloriennes, il ne fait aucun doute que le tournant amorcé depuis les années 1980 en matière de conditions de travail se nourrit d'une logique qui ne se réduit pas à une simple adaptation à la nouvelle donne technologique de ce tournant de siècle.

Pour des raisons qui tiennent autant aux transformations du système productif (épuisement du modèle fordien, internationalisation croissante des échanges, promotion d'une flexibilité tous azimuts, politique de la qualité, développement du travail sur Autrui...) qu'à celles des profils et des attentes des travailleurs (croissance continue du travail féminin, plus forte dotation en capital culturel, nouvelle soif de reconnaissance dans et par le travail,...), les entreprises comme les administrations ont été les sièges de multiples innovations visant à rompre avec les pratiques tayloriennes d'antan.

Afin de gagner en capacité de réaction organisationnelle et d'accompagner dans le même temps les mutations des formes identitaires des salariés (de moins en moins réductibles à ce que Renaud Sainsaulieu qualifiait d'« unanimité des moins qualifiés »), une première stratégie a

consisté à accroître quelque peu l'autonomie au travail. Le tableau est, en réalité, plus complexe que ne pourrait le laisser croire le succès des rhétoriques managériales, qui, en référence aux valeurs portées par la critique artiste des années 1960, mobilisent volontiers les registres sémantiques de la créativité, de l'autonomie, de l'implication heureuse, etc.<sup>(6)</sup>.

À ce sujet, les enquêtes « Condition de travail » montrent que, globalement, l'autonomie au travail s'est accrue durant les années 1990, avant de perdre ensuite en importance. En 1991, pour être plus précis, la possibilité de choisir soi-même la façon d'atteindre ses objectifs de travail concernait 79,9 % des salariés, contre 85,1 % en 1998, 80,8 % en 2005 et 79,8 % en 2013. La capacité à régler par soi-même les incidents qui émaillent la pratique productive était le fait de 58 % des salariés en 1991 (et de 62,4 % en 1998, de 64,8 % en 2005 et de 66,5 % en 2013).

Le mouvement est un peu différent lorsque l'on considère la possibilité de ne pas toujours appliquer les consignes données, voire de ne pas recevoir d'instruction du tout. Les chiffres sont alors respectivement de 58 %, 62,4 %, 64,8 % et 66,5 %.

D'autres indicateurs encore pourraient être mobilisés pour étayer notre réflexion. Plus intéressant est de remarquer que le sens des évolutions change au fur et à mesure que l'on grimpe dans la hiérarchie statutaire. Sur le moyen terme, et à l'exact contraire des ouvriers non qualifiés, les cadres n'ont cessé de perdre en autonomie au travail<sup>(7)</sup>.

Au cours de ces dernières décennies – deuxième caractéristique notable –, le travail s'est intensifié, dans le secteur privé – et plus encore dans... la fonction publique !

Expression la plus radicale d'une telle tendance, l'indicateur « avoir au moins trois contraintes de rythme » dans son travail<sup>(8)</sup> bondit, passant de 5,8 % en 1984 à 21,4 % en 1991, pour croître ensuite continûment et atteindre 35,2 % en 2013.

Moins spectaculaires, l'évolution des données concernant l'existence d'un rythme de travail imposé par un contrôle ou un suivi informatisé (plus du tiers des salariés sont concernés en 2013), le fait de ne pas pouvoir quitter son travail des yeux (15,5 % des salariés en 1984, 39 % en 2013) et le fait de devoir abandonner une tâche pour en

(5) ROSENBLAT (A.) & TARK (L.), "Algorithmic Labor and Information Asymmetries: A Case Study of Uber's Drivers", *International Journal of Communication*, vol.10, 2016, pp. 3758-3784.

(6) BOLTANSKI (L) & CHIAPELLO (E), *Le Nouvel esprit du capitalisme*, Paris, Gallimard, 1999.

(7) Pour apprécier pleinement la portée de ces évolutions, il faut rappler qu'elles ne représentent que quelques points de pourcentage (de 2 à 4 % de variation, selon les cas).

(8) L'enquête *Conditions de travail* propose sept contraintes possibles : le déplacement automatique d'un produit ou d'une pièce, la cadence automatique d'une machine, d'autres contraintes techniques, la dépendance immédiate vis-à-vis des collègues, des normes de production à satisfaire en une journée, une demande extérieure, des contraintes ou surveillances permanentes exercées par la hiérarchie, un contrôle ou un suivi informatisé.

réaliser une autre plus urgente (respectivement 48 % et 64,3 %) confirment le sens de la tendance générale <sup>(9)</sup>.

On se souviendra peut-être du fait que les débats sur la souffrance au travail avaient atteint leur acmé à la fin des années 1990 et au début des années 2000, et donc non pas en des temps où le travail était soumis aux plus fortes contraintes managériales, mais à une période où, en revanche, la distance entre les promesses d'autonomie et la réalité des pressions pesant sur les épaules des salariés n'avait jamais été aussi importante. Un tel décalage explique sans nul doute la montée en puissance, à partir de cette période, non seulement de la thématique des risques psychosociaux (*burn out*, dépression, suicides, addiction...), mais aussi, sur fond de tensions avec ses collègues ou avec le public, de pratiques d'entraide et de coopération. En 2013, 79,4 % des salariés déclaraient être aidés dans la réalisation d'un travail délicat par leurs collègues (contre 72,4 % en 1998) et 65,5 % (contre 59,4 %) par leurs supérieurs hiérarchiques.

### Frontières et recompositions

Produits d'une histoire de long terme, les oppositions classiques entre travail et non travail, entre producteur et consommateur, entre actif occupé et chômeur... semblent, plus que jamais, prendre l'eau de toutes parts. Ainsi que le signalent N. Colin, A. Landier, P. Mohnen et A. Perrot <sup>(10)</sup>, avec le numérique trois types de report font aujourd'hui bouger les frontières du travail : report sur l'utilisateur final de tâches auparavant exécutées par des professionnels de la vente en magasin (Amazon, par exemple) ou de la réservation en agences (Go Voyages), report sur la multitude de la production de connaissances (Wikipédia), d'évaluations (Booking.com) et d'informations (blogs personnels), report enfin vers le monde des amateurs d'activités qui concurrencent de plein fouet celles de professionnels (Airbnb).

Les tensions, déplacements et brouillages catégoriels ne sont pas en réalité choses entièrement nouvelles. Il suffit, pour s'en convaincre, de considérer la porosité croissante, depuis les années 1980, entre les temps de travail et les temps hors travail. Dans la même période, les politiques

d'emploi et de formation (par exemple, la promotion des stages d'insertion dans la vie professionnelle) ont précipité l'obsolescence de l'opposition entre travail et éducation. On constate, sur un plus long terme encore, que les frontières entre production et consommation, entre travail marchand et travail non marchand et, plus généralement, entre travail et non travail ont toujours été fluctuantes. Ainsi, au cours du XX<sup>e</sup> siècle, les relations entre activités domestiques et offres de services extérieures à la famille sont comptables d'un double mouvement d'internalisation (travaux de blanchisserie, transport...) et d'externalisation (repas, garde d'enfants...) <sup>(11)</sup>.

Pour comprendre et expliquer les mutations du travail d'aujourd'hui, il ne suffit pas, autrement dit, comme nous y invitent pourtant les partisans du *Digital Labor*, de s'en tenir au constat d'une plus grande mobilisation des forces productives de chacun d'entre nous dans des champs qui semblaient échapper jusqu'à récemment à la loi d'airain d'un capitalisme informationnel plus déterminé que jamais à se jouer de nos envies et de nos naïvetés <sup>(12)</sup>.

Il s'avère plus intéressant de regarder, avec le recul historique qui sied, la manière dont collectivement (et non sans hésitations ni contradictions) nous réinventons sans cesse les pratiques concrètes et les frontières de ce que, pour l'heure, nous continuons d'appeler travail.

(9) *Seules les pratiques de changement de poste en fonction des besoins de l'entreprise semblent demeurer stables (22,7 % en 1984 ; 23,1 % en 2013), tandis que le sentiment d'urgence dans le travail diminue quelque peu (51,8 % en 1998, 46,4 % en 2013).*

(10) COLIN (N.), LANDIER (A.), MOHNEN (P.) & PERROT (A.), « Économie numérique », Les notes du Conseil d'analyse économique, n°26, octobre 2015.

(11) KAUFMANN (J.C.) (sous la direction de), *Faire ou faire-faire ? Famille et services*, Rennes, PUR, 1996.

(12) SCHOLZ (T.) (ed.), *The Internet as Playground and Factory*, New York, London, Routledge, 2013.

<https://mediark.files.wordpress.com/2012/05/92357474-digital-labor-scholz.pdf>

# L'entreprise frugale

Par Mireille CAMPANA  
Ingénieur général des Mines

Parmi les défis que s'est fixés l'usine du futur figure la performance durable. Sous cette appellation, on trouve l'utilisation efficiente des ressources, la réduction des rejets et nuisances et l'implantation durable dans les territoires. Cette optimisation des ressources qui concerne tant le fonctionnement de l'usine que celui des produits et services qu'elle développe, est souvent désignée aujourd'hui par l'expression « usine frugale » qui, alliée à l'agilité, à la numérisation et à la robotisation, est présentée comme une nouvelle révolution industrielle. Elle succède aux trois révolutions précédentes que furent la mécanisation (fin du XVIII<sup>e</sup> siècle), l'électrification (la fin XIX<sup>e</sup>) et l'automatisation (années 1970).

## Pourquoi la frugalité ? Carlos Ghosn et la gamme Dacia

-La frugalité s'inspire du concept indien du Jugaad (qui se définit comme « faire mieux avec moins »). Si elle est aujourd'hui largement évoquée en liaison avec les préoccupations environnementales liées à l'épuisement des ressources naturelles et au réchauffement du climat, c'est Carlos Ghosn <sup>(1)</sup> qui a porté, chez Renault-Nissan, le concept d'« ingénierie frugale », au milieu des années 2000, avec la gamme Dacia.

Il s'agissait alors moins de préservation de l'environnement que de stratégie industrielle visant à prendre en compte les contraintes de fonctionnement et les marchés des usines d'Europe de l'Est, et plus généralement de ceux des pays émergents. Le but était de produire des véhicules plus simples et moins coûteux, mais **sans pour autant en dégrader la qualité** (« faire mieux avec moins »).

Même si cette stratégie a démarré avec la Logan, qui relevait de l'« art d'accommoder les restes » (à savoir les stocks de pièces détachées des véhicules précédents) pour produire un véhicule qui pouvait être regardé comme « *low cost* », la démarche a été couronnée de succès et s'est bien affranchie de cette image « *low cost* ». La gamme Dacia a ainsi connu un grand succès sur les marchés occidentaux, puisqu'en 2014, le 4x4 Duster a été le véhicule le plus vendu par le groupe Renault.

Même si les ressources, comme l'eau et l'énergie, ne manquent pas forcément dans les pays occidentaux, le monde entier a pris conscience des effets négatifs de leur consommation excessive sur le climat, et aujourd'hui, la frugalité théorisée par Navi Radjou sous l'expression d'« innovation frugale » fait donc partie de l'usine du futur. Elle entraîne un renversement des modèles (les dirigeants occidentaux sont invités à découvrir l'ingéniosité des pays émergents pour pallier au manque de ressources) et un

retour à des produits plus simples et moins coûteux (à l'achat et en consommation de ressources).

## L'écoconception : une démarche rigoureuse, mais complexe

Plus généralement, les premières tentatives de prise en compte de la préservation des ressources naturelles de la part des entreprises ont fait leur apparition (avant la « recherche de frugalité ») dès la fin des années 1980, notamment suite aux crises pétrolières. Mais elles étaient généralement ciblées sur un secteur ou sur un type de ressources et, portées généralement par des slogans chocs du type « Chassez le gaspi ! » ou « En France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées ! », elles faisaient davantage appel à la bonne conscience qu'à des démarches rigoureuses.

Un travail très important de normalisation de l'écoconception s'est alors mis en place au début des années 1990, visant à définir des règles de référence communes et à raisonner de manière systémique et non pas par impact environnemental séparé (déchets, pollutions, consommations d'énergie...). En effet, la prise en compte d'un seul critère peut entraîner une dégradation des autres qui risque de remettre en cause le bilan environnemental global. Il peut être par exemple inutile de recycler certains déchets si l'empreinte environnementale négative de leur transport dépasse l'empreinte positive de la matière première à extraire qui aura été épargnée.

Ces approches multicritères de la mesure des impacts environnementaux prennent en compte non seulement l'empreinte environnementale directe des usines de fabrication, mais aussi celles des autres étapes du cycle de vie des produits qu'elles fournissent, à savoir l'utilisation et l'élimination finale.

(1) <https://hbr.org/2012/07/frugal-innovation-lessons-from>

Ainsi, par exemple, l'énergie consommée par l'utilisation d'un appareil ménager est beaucoup plus conséquente que celle qui a été nécessaire à sa fabrication. Inversement, les panneaux solaires photovoltaïques qui sont le symbole des énergies renouvelables sont fabriqués en Chine, où le mix électrique reste largement carboné : sont également à prendre en considération le coût de leur transport et celui de leur élimination. Notons d'ailleurs que le dernier « appel d'offres photovoltaïques », qui a été lancé le 24 août 2016, impose, pour la première fois, une évaluation « carbone » des panneaux utilisés.

Les critères retenus par ces approches sont regroupés au sein d'un panel normatif <sup>(2)</sup> très fourni :

- la famille des normes ISO 14000 et 14040, qui définit les systèmes de management environnementaux, ainsi que les empreintes en eau (14046) et en carbone (14047) des produits et services,
- la famille des normes ISO 14020, qui définit les étiquettes environnementales des produits fabriqués,
- la norme ISO 14062, qui définit l'intégration des aspects environnementaux dans la conception des produits et services,
- enfin, la norme ISO 50 001 pour le management de l'énergie.

L'enjeu majeur de l'utilisation d'une analyse du cycle de vie (ACV) est d'identifier les principales sources d'impacts environnementaux et d'éviter (ou, le cas échéant, d'arbitrer) les déplacements de pollutions liés aux différentes solutions envisagées.

Les résultats prennent la forme d'une série d'impacts potentiels <sup>(3)</sup> (du type « X kilogrammes d'équivalents CO<sub>2</sub> pour l'effet de serre », « Y kg d'équivalents H<sup>+</sup> pour l'acidification »...) et des flux physiques (« Z mégajoules (MJ) d'énergies non renouvelables », « T kg de déchets banals »...). Ils servent notamment à comparer les scénarios entre eux en en prenant en compte tous les paramètres : matières, sous-ensembles, fluides, transports...

### L'application progressive de la démarche d'écoconception

Certains grands groupes pionniers (notamment parmi les acteurs de l'industrie du futur) se sont lancés dans la démarche ACV, mais en général en ne l'appliquant qu'à quelques produits (comme chez Fives, voir l'Encadré 1) ou

#### Encadré 1 : Le cas de Fives <sup>(4)</sup> et de son trieur à bagages d'aéroport

Fives, en tant que coordonnateur de l'initiative « Industrie du futur », a lancé à l'échelle du groupe un programme d'écoconception et défini à cet effet la marque « Engineered Sustainability ® », qui est conforme aux normes ISO 14040 et ISO 14062 sur l'intégration des aspects environnementaux. Cette démarche a été appliquée à son trieur à bagages d'aéroport, dont l'impact environnemental a été réduit de près de 30 % sur l'ensemble des facteurs ACV.

#### Encadré 2 : Les fromageries Bel <sup>(5)</sup>

Avec ses fromages fabriqués en très grande série dans le monde entier, Bel a été confronté à un problème de « frugalité » en eau pour l'une de ses usines du Moyen-Orient. Dans cette usine, Bel produit du fromage à partir de matière laitière déjà transformée, un procédé qui consomme autour de 5/6 litres d'eau par kilo. Sur place, un expert a détaillé toutes les utilisations de l'eau (du recyclage aux divers procédés), et en 18 mois la consommation est passée de 6 à 2 litres au kilo. Le groupe a alors fait travailler ses équipes autour d'un défi « sans eau » consistant à réutiliser l'eau du petit lait à partir de technologies d'osmose inverse pour l'intégrer dans le process de fabrication. Deux sites pilotes ont été créés à cette fin à Sablé-sur-Sarthe et à Tanger, au Maroc (dans une zone de criticité hydrique).

#### Encadré 3 : L'usine Ikea de Lure (Haute-Saône)

Peu coûteux, vite montés, souvent remplacés et fabriqués en très grande série, les meubles IKEA évoquent davantage l'hyperconsommation et le jetable que l'armoire en noyer massif transmise de génération en génération. Et pourtant, la seule usine de fabrication du groupe présente en France a décidé de miser sur la protection de l'environnement et de viser l'indépendance énergétique en 2020. Cette usine spécialisée dans la fabrication de panneaux de particules pour caissons de chambres utilise 55 % de bois recyclé et, pour le bois d'œuvre, elle s'approvisionne à 90 % dans un rayon de 100 km (dans une région très boisée et qui compte de nombreuses usines de meubles de tout standing). Par ailleurs, Ikéa souligne le fait que le bois recyclé est moins lourd, et donc que son transport consomme moins d'énergie.



(2) <http://ecobilan.pwc.fr/fr/point-de-vue/nf-x30-264-eco-conception.html>

(3) L'on parle d'impacts potentiels, car la complexité des phénomènes et de leurs interactions est source d'incertitude dans le calcul réel des impacts sur l'environnement.

(4) <http://intralogistics.fivesgroup.com/news/news-intralogistics/fives-cross-belt-sorter-for-baggage-handling-the-geni-belttm-bh-awarded-the-engineered-sustainability-brand.html>

(5) <http://www.smart-industries.fr/fr/mag/mars-2016/usine-du-futur-sera-frugale>

à quelques problématiques bien identifiées qui pouvaient d'ailleurs résulter de contraintes locales, comme l'innovation frugale pour la gamme Dacia. C'est, par exemple, le cas de l'usine Bel en Syrie (voir l'Encadré 2), qui était confrontée à un problème d'alimentation en eau. Enfin, la démarche peut répondre au souci de s'intégrer dans un territoire (voir l'Encadré 3), comme l'usine Ikea en Haute-Saône.

Mais ce dispositif rigoureux et rationnel est très complexe à appréhender, notamment pour les PME. Aussi l'AFNOR a-t-elle publié en février 2013 une nouvelle norme (la norme XF 30-264 relative à l'écoconception) qui est auto-porteuse et davantage pédagogique. Cette initiative a été relayée par les fédérations professionnelles et sera également soutenue par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (l'Ademe), mais il est encore trop tôt pour pouvoir en mesurer les résultats.

### Le cas particulier de la maîtrise de l'efficacité énergétique

La ressource dont on cherche le plus à maîtriser la consommation est l'énergie, que ce soit au travers de démarches volontaires des entreprises ou d'actions incitatives émanant des pouvoirs publics, et ce, tant dans les pays industrialisés, où elle est abondante, que dans les pays émergents, où elle peut être rare (notamment sous forme d'électricité).

Deux raisons à cela : d'une part, l'énergie, dans toutes ses phases, qui vont de l'extraction à la consommation, en passant par la transformation et le transport, est le premier émetteur de gaz à effet de serre et, d'autre part, plus pragmatiquement, les économies générées sont généralement assez directement appréhendables par le consommateur, que celui-ci soit un citoyen ou une entreprise.

L'Ademe<sup>(6)</sup> considère que l'industrie manufacturière, qui consomme environ 20 % de l'énergie totale et 30 % de l'électricité consommées en France, pourrait à iso-production diminuer cette consommation de 20 % en adoptant des mesures d'efficacité énergétique.

Au sein de l'Union européenne, la France a été particulièrement leader dans l'élaboration de la norme internationale ISO 50 001 sur le système de management de l'énergie. De nombreuses entreprises françaises<sup>(7)</sup> organisées autour des fédérations professionnelles et de centres techniques *ad hoc* se sont positionnées tant sur l'offre d'équipements éco-efficaces pour les entreprises que sur l'accompagnement des industriels dans une démarche globale de management de l'énergie. Des établissements publics (l'Ademe, la Banque publique d'investissement (BPI), la Caisse des dépôts et consignations (CDC), etc.) ont également participé à la mobilisation des acteurs et à la diffusion de ces offres. Enfin, suite à des études prospectives menées notamment par l'Ademe<sup>(8)</sup>, des programmes d'action publics ont été mis en place : soutien à l'innovation pour développer les offres (notamment avec le Programme des investissements d'avenir (PIA) et les pôles de compétitivité), aides à l'acquisition d'équipements éco-efficaces et au déploiement de pro-

grammes d'efficacité énergétique dans les entreprises (certificats d'économies d'énergie (CEE), Prêts verts...). Ainsi l'amidonier Roquette Frères s'est-il allié, en Alsace, au fournisseur local d'électricité pour une co-utilisation originale de la géothermie (voir l'Encadré 4).

#### Encadré 4 : Un cas original : Roquette Frères

Même s'ils sont moins souvent évoqués que les raffineries, la métallurgie ou la chimie, les amidonniers figurent parmi les industriels les plus énérgo-intensifs. Leur maîtrise de la consommation d'énergie est donc particulièrement cruciale. Roquette Frères et Électricité de Strasbourg (ES) se sont donc alliés, avec l'aide de la Chambre de commerce locale, pour mettre en place, à l'usine Roquette de Beinheim, un projet particulièrement ambitieux s'appuyant à la fois sur l'exploitation par ES de la géothermie profonde (l'Alsace est la seule région de France métropolitaine à être propice à ce type de projet) et sur une chaudière biomasse appartenant à l'industriel, ainsi que sur l'utilisation de la chaleur résiduelle de Roquette pour alimenter un réseau de chaleur urbain.

Pour autant, à l'image de la rénovation thermique des bâtiments qui connaît un développement lent en dépit des diverses incitations publiques financières et fiscales, la réalisation de ce potentiel d'efficacité énergétique dans les entreprises tarde à se concrétiser, en dehors de quelques opérations précurseurs bien relayées.

Les obstacles identifiés (notamment par les études évoquées plus haut) sont :

- la complexité de la démarche (notamment pour des PME) et le manque de sensibilisation des entreprises sur les impacts potentiels de leurs activités sur l'environnement,
- le manque d'intérêt économique, notamment parce que les temps de retour sur investissement liés aux économies d'énergie sont longs (ils sont supérieurs à 3 ans), dans un contexte actuel de prix bas des énergies, alors que la situation économique difficile a conduit à privilégier les investissements immédiatement rentables ;
- le manque de sensibilisation aux enjeux environnementaux, qui se traduit notamment à travers le faible niveau de la taxe carbone, ce qui n'incite pas aux économies d'énergie ou à l'utilisation des sources d'énergie dé-carbonées ;
- enfin, la réticence française pour la prise de risque et le changement, qui vaut notamment en matière de changement d'équipements ou de processus industriels.

(6) [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe\\_entreprise\\_web.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe_entreprise_web.pdf)

(7) [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/90128\\_7795-savoir-faire-francais-efficacite-energetique-industrie.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/90128_7795-savoir-faire-francais-efficacite-energetique-industrie.pdf)

(8) [http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/86444\\_totaademe-eneconsultin-efficacite-energetique-dans-lindustrie-verrous-et-besoins-en-rd.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/86444_totaademe-eneconsultin-efficacite-energetique-dans-lindustrie-verrous-et-besoins-en-rd.pdf)

Photo © Frédéric Maigrot/REA



Le projet ÉCOGI (exploitation de la chaleur d'origine géothermale pour l'industrie) prévoit la construction (à Rittershoffen, en Alsace) d'une centrale de production thermique pour alimenter en chaleur l'usine de Roquette Frères située à Beinheim.

« L'amidonnier Roquette Frères s'est allié, en Alsace, au fournisseur local d'électricité pour une co-utilisation originale de la géothermie. »

## Les efforts et les incitations à venir

La maîtrise de l'ensemble des impacts environnementaux sera complexe à mettre en place, surtout en l'absence de contraintes extérieures comme le défaut d'eau ou d'énergie, notamment parce que l'abondance de ces ressources dans les pays industrialisés pouvait être perçue comme étant un facteur différenciant pour compenser le coût élevé du travail <sup>(9)</sup>. Cette situation devrait cependant être amenée à évoluer, d'une part, parce que l'abondance des ressources en eau et en énergie diminue et, d'autre part, parce que la robotisation et la flexibilité également mises en œuvre dans l'usine du futur peuvent aider à une diminution du coût du travail.

Au-delà de la sensibilisation et des incitations financières, deux leviers peuvent (ou pourraient) être actionnés par la puissance publique (ce sont d'ailleurs les mêmes que ceux mobilisés dans le secteur du BTP) : le relèvement de la taxe carbone et le durcissement de la réglementation. Ainsi, le décret n°2016-1138 du 19 août sur la communication d'informations environnementales, qui étend les informations à fournir sur les rejets de gaz à effet de serre aux rejets dus aux produits et services développés, devrait au minimum aider à la prise de conscience de la part des entreprises. Pour autant, dans un contexte actuel difficile pour les entreprises et au vu de la complexité des démarches à engager, les pistes « incitatives », notamment l'exemplarité et le faire-savoir, sont sans doute à privilégier. L'initiative « Usine du futur » devrait, quant à elle, être un bon relais pour promouvoir la frugalité. Une attention toute particulière devra donc être portée aux PME.

Enfin il pourrait être également envisagé un troisième levier consistant à financer des formations/sensibilisations à l'analyse de cycle de vie (ACV) dans les PME industrielles pour éclairer celles-ci sur la problématique de l'écoconception, sur le mode de ce qui a été fait en matière de diffusion du numérique.

(9) D'autres caractéristiques de l'Usine du futur.

# À quoi l'usine du futur ressemblera-t-elle ?

Par Karine GOSSE  
et Michel DANCETTE  
Groupe Fives

L'usine du futur s'inscrit dans une dynamique faite d'évolutions économique, sociétale et environnementale, qui en définissent les contours et les objectifs. Elle devra notamment répondre à de forts enjeux en matière de compétitivité économique des organisations et des territoires et en matière d'évolution des modes de consommation, ainsi qu'à des enjeux sociétaux en termes d'attractivité et d'intégration dans son environnement. Cette évolution est en marche dans tous les secteurs industriels (traditionnels ou non), mais elle est amplifiée actuellement par le développement accéléré d'un grand nombre de technologies, notamment numériques. Au-delà des technologies et des équipements, cette évolution affecte les modèles d'affaires, le travail et les organisations. Fives, en tant que groupe industriel bicentenaire, inscrit ses activités dans cette évolution et participe ainsi pleinement aux réflexions actuelles sur ce sujet.

## L'histoire du groupe Fives Ses activités

Fives, qui conçoit et réalise des usines depuis plus de deux cents ans, naît en 1812, lorsque Napoléon I<sup>er</sup> demande à une petite équipe d'entrepreneurs de réfléchir à l'extraction industrielle de sucre à partir de la betterave en réponse à l'impossibilité pour la France, en raison de sa politique de blocus continental, de s'approvisionner en canne à sucre auprès des colonies britanniques. Parmi ces industriels, se trouve Jean-François Cail, qui sera à l'origine du procédé d'extraction du sucre de betterave : il donnera son nom à la filiale Fives Cail, qui fabrique aujourd'hui encore des équipements pour la production de sucre (tant à partir de betteraves que de cannes à sucre).

Dans ce domaine de la conception et de la construction d'usines, il existe deux catégories d'acteurs : les sociétés technologiques, qui développent et réalisent des machines industrielles, et les intégrateurs, qui assemblent ces machines au sein d'ateliers et d'usines. Fives mène ces deux activités de front : l'entreprise se positionne donc au croisement du développement de technologies de pointe, de la mise au point de procédés industriels et de la conception de systèmes de production complets.

L'activité de fabrication d'équipements et de machines industrielles représente environ 25 % des effectifs du groupe.

Les ateliers de Fives Cryo, par exemple, fabriquent des échangeurs cryogéniques qui servent à la séparation des différents gaz. Composés de centaines de plaques de mé-

tal assemblées à la main, ils sont ensuite traités dans un four où leur brasage est piloté au degré près.

Fives Landis est leader dans la fabrication de rectifieuses de vilebrequins pour l'automobile ; il utilise des équipements qui lui permettent de produire des vilebrequins de 12 mètres de longueur, avec une précision d'un micron !

Fives Intralogistics est, pour sa part, à la pointe du marché des trieurs de paquets automatisés : il dispose d'équipements capables de trier plus de 60 000 paquets à l'heure pour des acteurs de l'e-commerce. Enfin, Fives Lund met au point des prototypes innovants d'équipements pour la réalisation de pièces en matériaux composites (destinés notamment à l'aéronautique).

Le reste (majoritaire) de l'activité du groupe réside donc dans la conception et la construction d'usines « clés en main » pour des secteurs tels que la transformation des matériaux, l'énergie et, depuis une vingtaine d'années, l'industrie manufacturière et l'intra-logistique. Ainsi, Fives est spécialisé dans l'intégration de techniques de combustion : il maîtrise la conception de fours de cimenterie, de fours de réchauffage d'aluminium ou encore de fours verriers.

Cette transversalité permet au groupe Fives de développer des programmes de R&D communs à plusieurs filiales afin de leur permettre de conserver le meilleur niveau technologique nécessaire à la réalisation d'équipements innovants aux performances optimales. Les services R&D emploient 300 personnes et comptent à leur actif plus de

150 innovations brevetées au cours des trois dernières années. Au total, le portefeuille des innovations de Fives se compose de 1 900 brevets avec un effort particulier mené dans le domaine de la performance énergétique et de l'empreinte environnementale des industries de procédé et, plus récemment, l'introduction de technologies numériques toujours plus avancées dans les processus industriels.

Le groupe emploie huit mille trois cents personnes (pour moitié en France et pour l'autre à l'étranger, avec une forte présence aux États-Unis). Ses filiales – de petites structures entrepreneuriales très spécialisées – sont proches de leurs marchés. Elles maîtrisent parfaitement leurs technologies et font preuve de réactivité et d'agilité tout en bénéficiant de l'appui du groupe, ainsi que de synergies développées entre elles autour d'un grand nombre de métiers qui permettent au groupe, notamment, d'accélérer le développement des applications industrielles de sa R&D.

### **L'Observatoire Fives des usines du futur**

Dès 2012, à l'occasion du bicentenaire du groupe, Fives a fondé un cercle de réflexion qu'il a baptisé « Observatoire Fives des usines du futur ».

Celui-ci a pour objectif de favoriser une réflexion positive sur l'industrie et de mieux appréhender les évolutions des usines. Cet observatoire a organisé des événements très variés : interviews d'experts, sondages quantitatifs sur l'image de l'industrie en France, en Chine et aux États-Unis, ou encore une conférence de citoyens qui a permis d'interroger la société civile sur des questions liées à l'acceptation et à l'intégration de l'activité industrielle



## CAHIER DE L'OBSERVATOIRE FIVES DES USINES DU FUTUR

4<sup>e</sup> édition - 2016

L'industrie à la manoeuvre  
pour une économie plus durable

Photo © Fives

dans la société actuelle. Les résultats de cette enquête révèlent notamment que les Français estiment être insuffisamment informés sur les enjeux de l'industrie et sur les projets industriels, ce qui constitue probablement l'un des freins à la réconciliation de la société civile française avec son industrie.

### **De multiples défis à relever pour l'usine du futur**

L'émergence de « l'usine du futur » est le fruit de l'évolution d'une industrie qui doit répondre à de multiples défis :

#### **Compétitivité économique et performance**

La plupart des programmes consacrés à l'usine du futur dans le monde émanent de pays développés qui cherchent à conserver sur leur territoire une production industrielle compétitive. C'est notamment le cas des États-Unis, avec leur *Advanced Manufacturing Program*, de l'Allemagne avec son programme *Industrie 4.0* et, désormais, de la France avec *l'Alliance Industrie du futur*.

Toutefois, les pays émergents commencent eux aussi à faire évoluer leur industrie afin de « monter en gamme » : c'est le cas par exemple de la Chine, avec son programme *Made in China 2025*.

Dans ce cadre, l'usine du futur doit présenter les meilleurs taux d'utilisation et de performance de ses outils de production, ce qui nécessite de s'intéresser à la fois à la machine elle-même, mais aussi à l'interface utilisateur, à l'organisation du travail, à la ligne de production, et plus largement à l'usine dans sa globalité et à son insertion tant dans sa chaîne de valeur que dans son écosystème.

#### **L'évolution des modes de consommation : diversification, ultra-personnalisation et servicialisation**

Avec l'évolution rapide des gammes de produits et la diminution de leur durée de vie, les outils de production doivent être aussi polyvalents et reconfigurables que possible.

Ainsi, par exemple, les usines de production de tôles d'acier, dont la durée d'exploitation est de trente ans, ont une visibilité sur la demande en termes de qualité des aciers qui ne va pas au-delà de trois ans.

Ces outils doivent également permettre de fabriquer simultanément des produits très variés : une même ligne de fabrication doit pouvoir fournir des tôles aussi bien pour l'automobile que pour des carrosseries de lave-vaisselle, et ce en dépit de cycles thermiques très différents. C'est ainsi que Fives vient de construire, pour le constructeur automobile Jaguar, une ligne de production lui permettant d'assembler à la fois des « mini », des 4x4 et des voitures de sport, ce qui a nécessité d'adapter les convoyeurs et de prévoir en bord de ligne l'approvisionnement en flux tendu de toutes les pièces nécessaires.

Ce besoin de reconfigurabilité est décuplé par l'apparition de produits (chaussures de sport, lunettes, mobilier, automobiles, etc...) à la vente offrant de plus en plus d'options, voire correspondant à du « sur-mesure », qui peuvent aujourd'hui être produits à des coûts compétitifs

Photo © Fives



grâce aux progrès technologiques réalisés en matière de robotique et de logistique.

Cette personnalisation des produits – et donc la flexibilité et l'agilité attendues des équipements de production – s'accompagne nécessairement d'un fort développement de l'offre de services à l'industrie par différents acteurs, notamment par les fabricants d'équipements eux-mêmes, qui assortissent désormais leurs produits d'une offre de services en matière d'installation, de maintenance, ou même d'exploitation.

### Deux évolutions sociétales : l'intégration de l'usine dans la société et l'importance croissante de sa performance environnementale

En dépit du phénomène de la délocalisation de sites industriels, certains postes d'ingénieur, de technicien et d'ouvrier ne sont pas pourvus en raison du manque d'attractivité des emplois industriels, lesquels souffrent d'une image très dégradée (héritée du passé) qu'il est impératif de faire évoluer.

Mais au-delà de cette image dévalorisée, l'idée selon laquelle l'automatisation exclurait l'homme a également suscité de nombreuses réflexions et publications, qui tendent à montrer qu'à tout le moins dans la perspective de nouveaux modèles d'affaires et de nouveaux marchés rendus possibles par cette automatisation (croissance de la valeur ajoutée industrielle), l'usine du futur peut et doit permettre de redonner aux hommes toute leur place dans l'usine, et ce, dans les meilleures conditions possibles.

Enfin, cette intégration de l'usine du futur dans la société ne pourra se faire que si elle répond à des enjeux de performance environnementale et que si elle s'inscrit dans les objectifs nationaux définis en matière de transition énergétique.

Ainsi, par exemple, deux marchés sur lesquels le groupe Fives est très présent, ceux du ciment et de l'acier, sont responsables de près de 30 % des émissions industrielles mondiales de gaz à effet de serre <sup>(1)</sup>. L'impact positif d'une réduction de la consommation d'énergie dans ces deux secteurs peut donc être considérable. Devenant plus flexibles, plus petites et plus responsables sur le plan environnemental, les usines vont pouvoir se rapprocher des villes, et réduire ainsi le problème crucial posé par les transports de matériaux et de produits finis (et, de manière générale, par la logistique).

## De nouvelles technologies pour répondre aux enjeux

Les développements technologiques actuels permettent de rebattre complètement les cartes de la compétitivité et d'ouvrir de nouvelles opportunités aux pays développés, à la fois dans des industries émergentes et dans leurs industries plus traditionnelles.

### La révolution numérique

La révolution numérique est une composante essentielle et même fondatrice de l'usine du futur, car elle contribue fortement à apporter des réponses aux enjeux détaillés plus haut. Les capteurs embarqués sur les machines et sur les produits permettent de connaître en temps réel l'état de l'outil de production. Les moyens de calcul et la transmission des données *via* Internet, ainsi que des terminaux mobiles de plus en plus conviviaux, permettent de « virtualiser » l'usine et d'en optimiser la conception, le fonctionnement, l'éventuelle reconfiguration et la maintenance.

Dans l'usine du futur, les machines sont connectées à leur chaîne d'approvisionnement, ce qui permet une mise à jour en permanence de la production.

Mais elles sont aussi connectées entre elles, ce qui assure la gestion en continu de la production de l'usine où elles sont installées, ainsi qu'avec les autres usines du groupe de façon à optimiser les consommations et les maintenances. Et puis, bien entendu, elles sont connectées avec les hommes, ce qui contribue à l'amélioration continue des processus grâce à l'interaction homme/machine et à la capitalisation numérique des savoirs. Ainsi, le numérique permet d'optimiser la performance de systèmes de production intégrés couvrant l'ensemble des processus de l'entreprise et de ses chaînes de valeur, et ce tout au long du cycle de vie de l'usine.

Ainsi, afin d'optimiser les consommations d'énergie et de ressources, les fours de réchauffage Stein Digital Furnace® de Fives (qui sont destinés à réchauffer les tôles d'acier avant leur laminage à chaud) comportent trois cents brûleurs pilotés de façon numérique. L'ordonnement intelligent de l'allumage et de l'extinction de ces brûleurs est optimisé en fonction de la charge thermique, de l'uniformité de température et de l'efficacité de la combustion ; les émissions d'oxydes d'azote en sont ainsi fortement réduites.

Au-delà du pilotage optimisé des équipements individuels grâce à l'exploitation de données, c'est donc également l'ensemble des flux de matières et de produits qui peut être également géré.

Dans le domaine de l'intra-logistique, Fives a développé un système de pilotage de systèmes de tri automatisés (pour les messageries, la grande distribution ou l'e-commerce), le *Warehouse Control System (WCS) Trace®*, lequel permet d'optimiser le parcours des colis et d'infor-

(1) Greenhouse gases emissions from industry, including electricity : World Resources Institute, 2005 data.



Photo © Fives

mer en temps réel de l'avancement de l'activité et de sa productivité.

Les solutions logicielles et l'exploitation de données permettent également un contrôle de qualité et une traçabilité-produit sur l'ensemble d'une ligne de production.

Ainsi, pour assurer le suivi qualité de sa production de tôles d'acier, Fives a développé l'application *Web Eyeon™*, qui offre une visualisation claire et intuitive des données, une analyse rapide des situations et une traçabilité des opérations.

La simulation numérique couplée à l'analyse de données permet finalement d'affiner le pilotage économique.

Ainsi, les usines de canne à sucre produisent à la fois du sucre, de l'éthanol (par fermentation du jus sucré ou des mélasses) et de l'électricité (grâce à la combustion de la bagasse (résidu fibreux résultant de la production de sucre)). Les cours du sucre, de l'éthanol et de l'énergie variant de façon importante dans certains pays, le pilotage numérique permet d'optimiser la production de l'usine au jour le jour, en mettant l'accent soit sur le rendement en sucre, soit sur la production d'éthanol, soit enfin sur l'efficacité énergétique.

### Les nouveaux matériaux

Les « nouveaux » matériaux, qu'il s'agisse de composites ou de nanomatériaux, offrent eux aussi des opportunités à l'usine du futur. Actuellement, les avions sont fabriqués à plus de 50 % en matériaux composites. C'est encore

loin d'être le cas dans l'automobile, un secteur à haute cadence de production, mais les constructeurs y travaillent, conjointement aux concepteurs d'outils de production, avec pour objectif d'alléger les véhicules et donc d'en réduire la consommation de carburant.

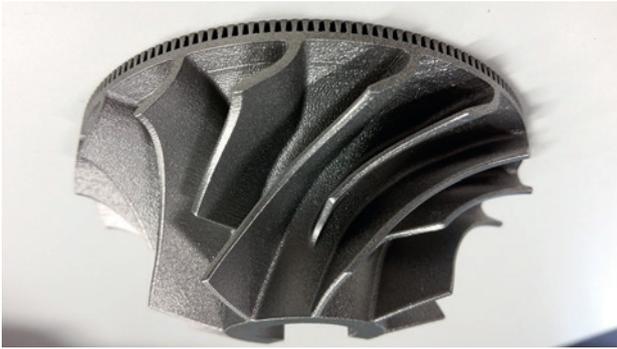
### La fabrication additive

La fabrication additive (ou impression 3D) permet de s'affranchir de nombre des contraintes de l'usinage classique. Ce nouveau procédé de fabrication connaît actuellement un très fort développement. L'objectif actuel est de passer à la fabrication industrielle de pièces en acier, en aluminium ou en titane, qui présenteront des caractéristiques physiques équivalentes à celles obtenues par les techniques de production classiques, mais avec des formes plus complexes, inédites et irréalisables par les moyens classiques par enlèvement de matière.

Les étapes restant à franchir avant d'atteindre cet objectif ne manquent pas, l'enjeu étant de garantir la qualité des pièces produites à haute cadence en générant un minimum de rebuts : cela exigera du *design thinking* et l'optimisation conjointe des pièces et du *manufacturing*, l'automatisation de l'environnement de la machine, un contrôle non destructif en ligne, des recherches sur la composition des poudres destinées à alimenter les « imprimantes 3D métal », l'intégration de ces dernières dans les lignes de production... En France, cette question fait actuellement l'objet d'une concertation entre les acteurs de l'ensemble de la filière, en vue de la publication d'une feuille de route partagée. Sur ce sujet d'une brûlante actualité, Fives et

Michelin ont créé une co-entreprise, Fives-Michelin, qu'ils ont lancée en septembre 2015.

Photo © Michelin



### L'écoconception

L'écoconception est en train de devenir la norme dans le domaine de la fabrication de machines. Ainsi, par exemple, Fives a développé un système de broyage destiné aux cimenteries, qui fonctionne par compression de lit de matière et qui permet d'économiser 30 % de consommation d'énergie par rapport aux méthodes classiques, et ce, sans pratiquement utiliser d'eau ; ce système peut ainsi être installé dans des cimenteries de régions désertiques.

Autre exemple, celui des tôles d'acier à haute limite élastique utilisées dans l'automobile : les tôles sont réchauffées, puis trempées de façon à figer certaines caractéristiques métallurgiques intéressantes. Ces tôles ultralégères, mais tout aussi résistantes que les précédentes, permettent d'économiser 15 % sur la consommation de carburant des véhicules. Cette qualité est obtenue grâce aux nouveaux procédés, mais aussi grâce au contrôle automatique des commandes de lignes de production qui mesurent parfois un kilomètre de long.

Les marges de progrès sont encore grandes dans le génie des procédés, y compris pour des procédés classiques de récupération d'énergie, de recyclage ou d'économie circulaire (impliquant plusieurs usines).

### Les assistances physique et cognitive aux opérateurs

Aujourd'hui, l'usine *des Temps modernes* (le film de Charlie Chaplin) est heureusement révolue. De nombreuses technologies sont actuellement développées pour trouver un juste milieu entre le tout automatique et le tout manuel, et la France est en pointe dans ce domaine.

La cobotique (coopération entre l'homme et le robot) allège la pénibilité du travail et la réalité augmentée permet

de guider l'opérateur dans sa recherche d'informations, dans les gestes à accomplir ou dans la vérification de pièces et dans leur montage. Sur une ligne d'assemblage automobile, par exemple, l'opérateur est assisté par des robots pour faire entrer la planche de bord d'un véhicule dans son habitacle en évitant tout choc qui pourrait l'endommager. Le confort de l'opérateur en est amélioré et le taux de rebuts en est réduit d'autant.

Schmidt Groupe fabrique des panneaux destinés aux cuisines Schmidt et Cuisinella, qui sont complètement personnalisables (emplacement des portes, couleurs, etc.). La découpe des planches est optimisée en fonction des commandes à satisfaire afin d'éviter les chutes (perte de matière première), puis ce sont des robots qui récupèrent les panneaux et préparent les commandes et l'emballage afin que les clients reçoivent leur commande en un temps record. Grâce à cette automatisation, l'entreprise Schmidt a gagné en compétitivité : elle a ainsi développé son chiffre d'affaires et créé des emplois qualifiés.

### Dans l'usine du futur, on continuera à... travailler !

La mise en œuvre de ces nouveaux procédés et de ces nouvelles technologies ne pourra se faire qu'avec le concours de l'homme, dont les qualités en font un indispensable chef d'orchestre de l'usine du futur.

Dans celle-ci, les opérateurs deviennent aussi des superviseurs. Libérés des tâches pénibles ou aidés par des robots pour les réaliser, ils peuvent se consacrer à la vérification de la qualité finale des produits et du bon état de fonctionnement des machines. Entre dans leurs attributions une nouvelle tâche, celle de contribuer à des démarches d'amélioration continue et d'innovation.

Mais, pour cela, les opérateurs/superviseurs doivent acquérir de nouvelles compétences et intégrer de nouvelles méthodes de travail liées au déploiement des outils numériques (connectivité sans fil, terminaux mobiles, visualisation de données 3D, réalité augmentée) et contribuer également à la conception de nouvelles « interfaces utilisateur », notamment dans le domaine de la cobotique.

Le développement de nouvelles techniques de formation, d'auto-apprentissage, de capitalisation des connaissances pour tous les acteurs de l'organisation et de la chaîne hiérarchique est la clé du succès de la mise en œuvre de l'usine du futur et de l'attractivité de notre appareil productif.

# Calcul intensif et simulation numérique

Par Christian SAGUEZ

Président CybeleTech, directeur scientifique Teratec

La généralisation de l'usage des technologies numériques, et tout particulièrement du calcul intensif et de la simulation, a transformé profondément l'ensemble des secteurs de l'industrie et des services. Elle est au cœur des grands enjeux stratégiques de la création de valeur et d'emplois pour notre économie.

Grâce aux technologies maintenant disponibles, des gains importants en termes de compétitivité et de capacités d'innovation sont devenus possibles. La maîtrise de celles-ci est donc une nécessité fondamentale pour notre pays. Conscient de ces éléments, les pouvoirs publics ont mis en place des initiatives importantes qui doivent déboucher sur la disponibilité de puissances de calcul exaflopiques, ainsi que de l'ensemble des logiciels de base et applicatifs indispensables. Par ailleurs, des initiatives européennes – dans lesquelles la France joue un rôle de premier plan – sont lancées.

La France est un des rares pays à disposer de l'ensemble des compétences sur toute la chaîne de valeur de ce secteur stratégique. C'est là une chance unique que notre pays doit saisir.

**D**es avancées majeures ont au cours de ces dernières années transformé radicalement le monde de l'industrie et des services. Parmi celles-ci, la généralisation de l'usage du numérique, avec toutes les ruptures technologiques, sociétales et organisationnelles que cela a entraînées, est probablement une des avancées les plus fondamentales. Plusieurs éléments sont à l'origine de ces ruptures, qui constituent les éléments de base de la compétitivité de notre industrie :

- la disponibilité sous forme numérique de l'ensemble des informations de conception technique avec notamment l'usage généralisé de la maquette numérique, de suivi et de fonctionnement des processus de fabrication et des centres de production, tout au long du cycle de vie en incluant les éléments de suivi, d'aide à la maintenance et la gestion de la fin de vie des produits, ainsi que les informations administratives, financières et commerciales avec la généralisation d'outils de type ERP (*Enterprise Resource Planning*) et CRM (*Customer Relationship Management*) ;
- un accroissement très important des capacités de calcul, avec, d'une part, la généralisation des architectures parallèles et, d'autre part, un accès de plus en plus aisé grâce aux technologies *cloud* et aux nouveaux modèles économiques associés (comme le paiement à l'usage) ;
- le développement de méthodes et d'algorithmes pour le traitement des données et des modèles mathématiques associés ainsi que la disponibilité d'un grand nombre de logiciels de plus en plus simples à utiliser.

## De grands enjeux pour l'industrie et les services

L'usage de plus en plus important des technologies numériques est devenu une nécessité absolue pour tous les secteurs économiques. Cette nécessité apparaît à tous les stades de la vie des produits et à tous les niveaux des entreprises et de leurs relations avec les autres acteurs économiques : simuler pour mieux concevoir, mais aussi pour mieux fabriquer et mieux utiliser.

### **Tout d'abord, les technologies numériques apportent des gains de compétitivité essentiels à tous les stades de la vie d'un produit**

- au stade de la conception en permettant (grâce au prototypage virtuel) un gain de temps important et une réduction significative des coûts d'étude. Aujourd'hui, la disponibilité « dans les temps » d'un produit ou d'une innovation est un gage majeur de prise de marché face à la concurrence mondiale ;
- au stade de la réalisation, d'une part, avec tous les logiciels d'optimisation et de contrôle des différents *process* industriels (notamment dans les grandes industries manufacturières) et, d'autre part, avec les outils de suivi et d'optimisation du fonctionnement de l'usine ;
- au stade du suivi de la vie du produit, les méthodes numériques permettent de concevoir et de prendre en compte les évolutions nécessaires ou souhaitables. Grâce aux moyens de mesure et, de manière générale,

aux données obtenues sur le fonctionnement et l'usage du produit, ces méthodes offrent la possibilité d'une meilleure mise en place des outils de maintenance et garantissent une traçabilité totale du produit. Tous les éléments disponibles au cours de la vie du produit de sa conception jusqu'à son usage permettent également de mieux gérer le processus de fin de vie, en intégrant notamment des éléments relatifs au recyclage.

Tous ces points sont porteurs de gains très significatifs en termes de compétitivité, face à une concurrence internationale de plus en plus exacerbée.

### Un deuxième enjeu, tout aussi important, se situe au niveau des nouvelles capacités d'innovation offertes par la simulation numérique

Grâce aux techniques de modélisation mathématique et de simulation numérique associées aux méthodes récentes d'optimisation, on peut tester, concevoir et mettre sur le marché rapidement et de manière fiable de nouvelles innovations, souvent de rupture. On peut également optimiser la conception et les méthodes de fabrication et d'assemblage du produit, en valider *a priori* les performances et disposer d'un outil d'échange d'informations et de données entre les différents intervenants.

La simulation numérique permet d'analyser et de comparer un grand nombre d'options, d'étudier de nombreux cas d'usage très variés tout en réduisant considérablement le nombre des tests physiques qui sont souvent très coûteux. Cela induit des avantages décisifs en termes de capacité d'innovation, de coût financier et de délais de conception, trois éléments stratégiques pour les entreprises. Ces acquis sont gages d'amélioration, non seulement en termes de performance des produits, mais également en termes de qualité. Pouvoir concevoir et produire un produit de qualité offrant des performances garanties et validées est un élément stratégique déterminant pour une entreprise.

### Un troisième avantage apporté par ces outils numériques se situe au niveau des échanges de données et d'informations, et des possibilités de travail en réseau

Grâce à la numérisation de l'ensemble des informations (descriptif du produit et de ses composants, caractéristiques des matériaux utilisés, techniques de fabrication ou d'assemblage...), chaque entreprise intervenante est capable d'échanger avec tous ses partenaires et sous-traitants. Cela est désormais une obligation pour la réalisation de grands projets, notamment dans l'ingénierie, l'aéronautique ou la construction automobile. Les sociétés qui ne maîtriseront pas ces outils seront exclues de ces projets qui nécessitent la mise en œuvre de tous les outils de l'ingénierie collaborative.

Si ces méthodes et ces outils sont aujourd'hui largement diffusés dans les grands groupes industriels, leur utilisation au niveau des PME et des ETI constitue un enjeu considérable, tout particulièrement en France où l'on ne peut que constater un retard certain sur ce point par rapport à la plupart des grands pays industriels. Ce constat a amené les pouvoirs publics à lancer, dans le cadre des actions du programme d'investissements d'avenir et de

celles de la direction générale des Entreprises (DGE) une grande initiative, SiMSEO, qui vise à promouvoir l'usage de la simulation numérique auprès des PME et des ETI. Placée sous la responsabilité du pôle européen de calcul haute performance TERATEC et de GENCI, cette action est menée en partenariat avec les pôles de compétitivité Systematic et Advancity, ainsi qu'avec le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) et l'Institut de recherche technologique (IRT) SystemX. Ce programme ambitieux, qui a pour objectif d'étendre l'usage de la simulation numérique à 600 entreprises en trois ans, intervient à trois niveaux :

- la sensibilisation/formation à l'usage des technologies de simulation,
- la mise en place d'offres de services sectorielles adaptées aux besoins spécifiques des entreprises : deux premiers secteurs ont déjà été identifiés, l'industrie manufacturière et le bâtiment,
- la création, *via* des plateformes régionales, de prestations de haut niveau auprès d'entreprises souhaitant passer à un stade avancé de l'usage de la simulation numérique.

Des aides financières spécifiques pour les entreprises participant à ce programme ont été mises en place par les pouvoirs publics. L'ensemble de ce programme est décrit en détail sur le site [www.simseo.fr](http://www.simseo.fr)

### Des enjeux technologiques majeurs

Dans ce contexte, il est stratégique pour un pays comme la France d'avoir la maîtrise technologique complète de toute la chaîne de la simulation numérique tant pour assurer son indépendance nationale en la matière que pour favoriser la compétitivité de ses entreprises et pour permettre la création d'emplois et de valeur.

Les principaux enjeux technologiques peuvent se résumer comme suit :

- maîtriser les technologies permettant de disposer, dans les cinq ans à venir, d'architectures parallèles possédant une puissance de calcul exaflopique (milliards de milliards d'opérations par seconde). Les enjeux portent à la fois sur les composants et sur les architectures elles-mêmes : réduire drastiquement les coûts énergétiques, disposer de systèmes de refroidissement adaptés, avoir des systèmes optimaux de gestion des flux de données... À côté de la puissance de calcul elle-même, il est également nécessaire de disposer de systèmes de stockage de données de très grandes capacités et de systèmes de sécurité adaptés. Enfin, il est indispensable de mener en amont des travaux sur les technologies appelées à prendre le relais. Parmi celles-ci, il convient de citer tout particulièrement les calculateurs quantiques ;
- concevoir et développer l'ensemble des couches logicielles « de base » permettant une exploitation maximale du parallélisme qui soit aussi aisée que possible. Ce point comporte notamment les éléments suivants : une gestion optimale des flux de données, des outils d'aide au développement d'applications parallèles incluant la composante « langage de programmation », des outils d'aide à la parallélisation de codes existants, des algo-

rithmes et bibliothèques scientifiques optimisés pour ces nouvelles architectures ;

- mettre au point et développer la nouvelle génération des grands logiciels applicatifs capables d'exploiter de manière optimale ces nouvelles architectures hautement parallèles. Il s'agit là d'un travail considérable qui est susceptible de remettre en cause les positions des grands éditeurs de logiciels et qui ouvre donc des opportunités très intéressantes pour de nouveaux entrants. Ce point, à l'intersection des mathématiques et de l'informatique, nécessite à la fois la conception de nouvelles méthodes numériques et un savoir-faire spécifique permettant une implémentation optimale de celles-ci. Parmi les méthodes, il convient d'insister sur deux points particulièrement importants :
  - d'une part, l'usage de plus en plus important qui est fait de méthodes reposant sur des approches probabilistes, par exemple les méthodes de Monte-Carlo ou des méthodes d'optimisation, telles que les algorithmes génétiques ;
  - d'autre part, le développement très rapide d'outils d'analyse et de traitement de grandes masses de données connus sous le nom générique de HPDA (*High-Performance Data Analytics*). Parmi ceux-ci, les méthodes s'appuyant sur le concept de réseaux neuronaux sont tout particulièrement importantes pour des secteurs tels que le traitement d'images ou pour la modélisation de systèmes complexes.

Tous ces points nécessitent que l'effort de Recherche et Développement soit poursuivi à un niveau important, et ce, tant au plan national qu'au plan européen. La France a la chance d'être un des rares pays au monde à disposer de compétences importantes sur toute la chaîne technologique, tant au niveau des organismes de recherche qu'à celui des industriels offreurs de technologies. Cette analyse a amené les autorités nationales et européennes à lancer des initiatives de grande ampleur pour nous permettre de nous maintenir au meilleur niveau mondial.

Parmi les plus importantes, on peut citer :

- l'association Teratec : elle a été créée en 2005 à l'initiative du CEA et de grands utilisateurs du secteur pour assurer la maîtrise et la promotion du *High Performance Computing* (HPC). Après un peu plus de dix années d'existence, elle regroupe l'ensemble des grands acteurs mondiaux du secteur et permet à la France de jouer un rôle majeur sur la scène internationale, notamment européenne. Grâce à la construction de la première technopole européenne entièrement dédiée au HPC et au HPDA, elle réunit sur un même site – le seul en Europe –, à Bruyères-le-Châtel (dans l'Essonne), le Très grand centre de calcul (TGCC) du CEA et le Campus Teratec, qui regroupe de grands laboratoires industriels et de nombreuses sociétés de technologie. Teratec est également à l'origine du FORUM Teratec qui, autour d'une exposition et de nombreux ateliers technologiques, réunit tous les ans plus de 1 200 participants. À l'occasion de ses dix ans d'existence, Teratec a édité un ouvrage de synthèse sur les grandes orientations technologiques et applicatives, intitulé « *HPC – Les clefs du futur* ».

- dans le cadre de ses plans de la Nouvelle France industrielle, l'État a retenu cette thématique comme un des axes majeurs de son action. Le plan correspondant mis en place repose sur quatre volets : le développement et la maîtrise des technologies de base, les logiciels de base, les logiciels applicatifs et les nouvelles applications et, enfin, la formation. Grâce aux différents appels à projets et aux initiatives financées dans le cadre du programme d'investissements d'avenir (PIA) et par la DGE, ce plan a permis notamment le lancement de grands projets collaboratifs, la mise en place d'un important laboratoire industriel dédié aux matériaux, la création à Orléans du projet de développement AgreenTech Valley dédié aux technologies numériques pour le végétal, et le lancement du programme SiMSEO ;
- au niveau européen, les technologies HPC et HPDA ont été reconnues comme stratégiques au plus haut niveau politique : cela a conduit à la création de la plateforme technologique ETP4HPC (*European Technology Platform for High Performance Computing*) : constituée en 2012 à l'initiative de la France, elle regroupe tous les acteurs industriels européens du domaine (fournisseurs et utilisateurs), ainsi que les grands leaders internationaux. De la même manière, plusieurs États européens (dont la France) travaillent au lancement (qui devrait être annoncé prochainement) d'un Projet important d'intérêt européen (IPCEI), appelé à regrouper d'importants moyens nationaux et européens pour assurer la maîtrise et le développement des technologies nécessaires au calcul intensif et au traitement des données de masse (*Big data*).

À côté de ces points technologiques, il est également important de signaler des évolutions fortes au niveau des modalités d'accès et des modalités économiques associées, telles que :

- le développement du *cloud computing* et la mise en place de plateformes de services associés au nouveau modèle économique du paiement à l'usage (*SaaS*, pour *Software as a Service*) qui rendent accessibles à tous ces capacités sans nécessiter de lourds investissements initiaux (comme cela était le cas auparavant),
- la disponibilité de plus en plus grande de logiciels *open source* très largement diffusés et de grande qualité qui entraîne elle aussi une modification profonde du secteur de l'édition de logiciels.

Ces deux points sont très structurants pour le marché en fort développement de la simulation numérique.

### Une diffusion dans l'ensemble des secteurs économiques

Ces ruptures technologiques influencent de manière considérable tous les secteurs de l'industrie et des services, et de manière générale l'ensemble de l'économie. Aucun secteur industriel ne peut plus aujourd'hui prétendre rester en dehors de cette évolution. Nous présentons ci-après quelques exemples qui illustrent ce phénomène.

#### **Les grands secteurs initiaux**

Historiquement, le premier secteur à avoir été à l'origine du développement du calcul scientifique est le secteur

Photo © Allard/REA



Jean Colombel, vice président Life Sciences chez Dassault Systemes, visualise l'intérieur du cœur virtuel en 3D d'un patient , dans le cadre du projet Living Heart qui permet le diagnostic personnalisé des maladies cardiaques.

« La simulation numérique est amenée à jouer un rôle majeur dans le secteur de la santé, notamment avec l'explosion des données disponibles. »

des grandes industries manufacturières : aéronautique, automobile, énergie, ingénierie. Il est donc logique qu'aujourd'hui la simulation numérique soit intensivement utilisée dans ces secteurs. À titre d'exemple, on peut citer, dans le secteur automobile, tous les calculs simulant le crash d'un véhicule, les calculs aérodynamiques pour le comportement sur route des véhicules, mais aussi tous les calculs acoustiques permettant un meilleur confort de conduite. L'usage de ces technologies a permis de réduire considérablement le temps de conception d'un nouveau véhicule, tout en améliorant ses performances.

L'aéronautique, elle aussi, utilise massivement toutes les possibilités offertes par ces technologies numériques tant pour la conception et le pilotage de l'avion lui-même que pour la conception des réacteurs (calculs de structure et comportement des matériaux, écoulement des fluides et thermique, électromagnétisme...) ; les exemples d'applications sont nombreux.

Deux autres grands secteurs exploitent massivement les capacités de la simulation numérique et du calcul intensif. Il s'agit :

- de l'énergie (et, tout particulièrement, l'énergie nucléaire), qui est à l'origine de très nombreux codes largement diffusés. Il faut, bien entendu, mentionner le très grand

programme de simulation du CEA-DAM (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives – Direction des Applications militaires), qui est dans une très large mesure à l'origine de la redynamisation du secteur en France et de l'excellent positionnement des industriels français dans ce secteur,

- de l'industrie pétrolière, tant au niveau de la recherche de nouveaux gisements qu'à celui de leur exploitation. Ce domaine est un des secteurs qui dispose des capacités de calcul parmi les plus importantes, et l'exploitation des possibilités offertes par le *Big data* a encore accru l'usage par ce secteur des puissances de calcul.

### Les nouveaux secteurs

Après ses applications dans les secteurs indiqués ci-dessus, la simulation numérique s'est diffusée dans l'ensemble des secteurs économiques, devenant un élément stratégique pour la politique industrielle des grands pays. À titre d'exemples, nous présentons ci-après deux secteurs dans lesquels ces technologies seront amenées à jouer un rôle majeur :

- le secteur de la santé, notamment avec l'explosion des données disponibles, est un domaine où ces technologies seront de plus en plus stratégiques. Parmi les exemples d'usage, on peut citer : la génomique et la pro-

téomique, avec comme premier objectif la recherche de nouvelles molécules et l'étude des nouveaux traitements associés, la médecine personnalisée, l'imagerie médicale et la chirurgie assistée, la conception de nouvelles prothèses... ;

- le secteur de l'agriculture, à tous les niveaux de la chaîne de production : sélection variétale, aide à la conduite culturale, prédiction de rendements, transformation des matières premières... Ces applications sont devenues un enjeu majeur pour le secteur, notamment face aux exigences en termes de productivité, de respect des contraintes environnementales et de gestion des ressources naturelles.

Mais ce ne sont là que deux exemples parmi bien d'autres : on pourrait aussi citer le secteur du bâtiment, avec le développement du *Building Information Modeling* (BIM), le secteur du multimédia et de l'image de synthèse, le secteur du commerce...

Bien entendu, le calcul numérique joue aussi un rôle considérable dans tous les secteurs de la recherche scientifique : changement climatique, domaine des hautes énergies, astronomie...

## Conclusion

La simulation numérique est aujourd'hui un secteur stratégique majeur pour le développement économique de la France tant en termes de compétitivité des entreprises qu'en termes de création de valeur et d'emplois. La France dispose de nombreux atouts pour lui permettre de jouer un rôle de tout premier plan dans ce domaine en très fort développement. Elle doit se saisir au mieux de ces nouvelles opportunités. C'est une nécessité. Mais c'est aussi, et surtout, une chance unique pour notre pays.

# L'usine cyberphysique : usine connectée, simulée et reconfigurable

Par Christophe de MAISTRE  
Président de Siemens France

Simulée, connectée, modulable, l'usine cyberphysique est un ensemble industriel en devenir qui repose sur l'articulation dynamique des mondes réel et virtuel. Elle constitue un horizon prometteur pour l'industrie : outre les gains de productivité qu'elle permet de réaliser, on assiste à une véritable refonte du processus de production industrielle, à un renouveau des enjeux en matière de formation, à des perspectives de relocalisation d'emplois industriels, ainsi qu'à l'apparition de nouveaux défis liés à la cybersécurité. Acteur de l'innovation depuis sa création, Siemens contribue activement à l'écriture de cette nouvelle page industrielle. Si les acteurs privés jouent un rôle majeur dans l'avènement de l'industrie du futur, dont l'usine cyberphysique est l'une des illustrations, l'implication des pouvoirs publics est indispensable.

Des considérations hygiénistes aux évolutions provoquées par la mécanisation, l'automatisation et, aujourd'hui, la digitalisation, l'industrie nourrit bien des espoirs mêlés de craintes. À rebours des représentations empreintes de pessimisme, l'« industrie du futur » (encore dénommée industrie 4.0 ou cyberindustrie) représente avant tout un horizon prometteur pour la production industrielle.

L'usine a pendant longtemps été d'abord une réalité strictement matérielle : lieu de production en série fonctionnant grâce à la main-d'œuvre humaine, à des machines et à différentes sources d'énergie.

Dans « cyberindustrie », le préfixe « cyber » rappelle pour sa part la croissance accélérée de l'utilisation d'Internet et de l'informatique. Dans un sens plus restreint, il peut faire uniquement écho aux enjeux de sécurité industrielle. Le concept d'usine cyberphysique fait donc sens au regard de l'irruption de l'informatique et des technologies de la communication dans la sphère industrielle.

Usine simulée, connectée, modulable, son fonctionnement repose sur une articulation constante, dynamique et intelligente entre le monde virtuel et le monde réel. Si elle reste encore dans une large mesure un objectif industriel à atteindre, l'usine cyberphysique soulève d'ores et déjà de nombreuses interrogations relatives notamment à la place de l'humain en son sein. En outre, si la digitalisation est porteuse d'opportunités pour la réindustrialisation d'une région ou d'un pays, elle s'accompagne aussi de nouveaux risques. De plus en plus connectée, l'usine est en effet exposée aux cybermenaces. Les enjeux en matière de cybersécurité sont dès lors au cœur de l'usine cyberphysique.

Depuis sa fondation, en 1847, et l'invention de son télégraphe à index électrique, Siemens n'a cessé d'être acteur de l'innovation. Au XXI<sup>e</sup> siècle, une nouvelle page industrielle est en train de s'écrire : Siemens y contribue en cherchant, à travers ses activités, à bâtir l'usine de demain, qui pourrait être « cyberphysique ».

## Connectée, flexible et simulée, l'usine cyberphysique offre un champ des possibles prometteur pour l'industrie

Après les énergies hydrauliques et fossiles (I<sup>ère</sup> révolution industrielle), l'électrification et la production de masse (II<sup>ème</sup> révolution industrielle), la mécanisation et l'automatisation (III<sup>ème</sup> révolution industrielle), la digitalisation bouleverse à son tour la production industrielle. La fabrication additive (ou impression 3D), l'Internet des objets/machines et la collecte puis l'analyse des *Big data*, combinés à l'utilisation de l'outil informatique et de l'Internet haut débit, sont autant d'éléments clés de l'industrie du futur.

## **Les révolutions industrielles successives se sont accompagnées de gains de productivité, la révolution digitale ne fera pas exception**

Elle devrait considérablement moderniser l'industrie en la rendant plus productive, plus flexible et moins énergivore. La mise en réseau des acteurs – fournisseurs, sites de production et clients – et l'échange rapide d'informations entre eux constituent de premiers apports de la digitalisation. Autre changement majeur : toutes les étapes du cycle de vie du produit, depuis sa conception jusqu'à sa maintenance en passant par sa production, pourront être numérisées. Très concrètement, au lieu de créer de

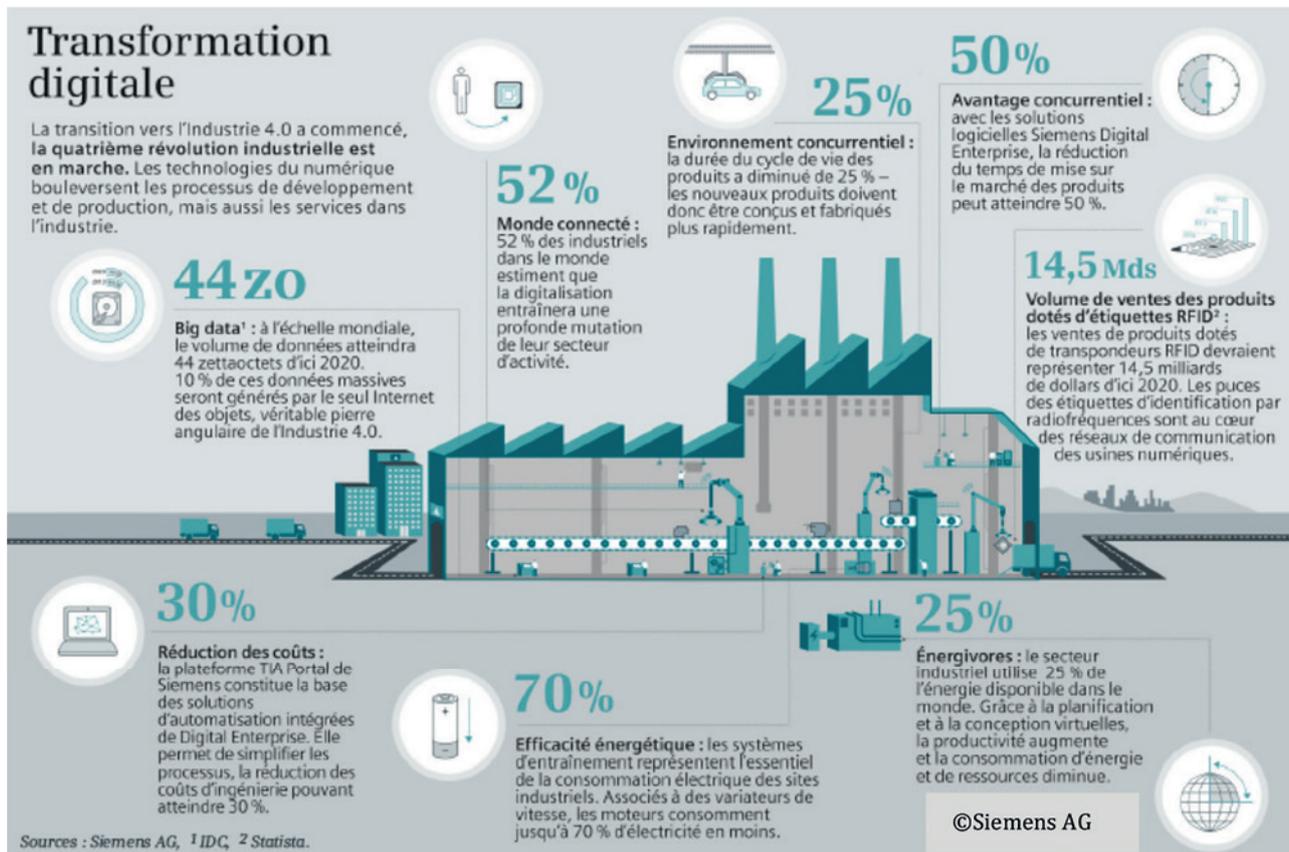


Photo © Siemens AG

multiples prototypes coûteux (en temps et en argent), on pourra concevoir, simuler et optimiser virtuellement de nouveaux produits grâce à des logiciels de type PLM (*Product Life Cycle Management*). Ces évolutions permettront de réduire le temps de mise sur le marché de nouveaux produits, tout en améliorant la qualité.

### **In fine, c'est le paradigme industriel dans son ensemble qui évolue profondément**

Grâce à une transmission quasi instantanée de données entre acteurs et à une forte diminution des délais de mise sur le marché des nouveaux produits, la fabrication à la demande se substitue très largement à la constitution de stocks tampons. Outre sa rapidité renforcée, la production est optimisée et est en parfaite adéquation avec les demandes des clients. En effet, une production de masse sur-mesure se substitue à une logique productiviste uniforme. Autrement dit, les entreprises industrielles peuvent décliner le produit, le personnaliser, tout en conservant une ligne de production unique. On assiste alors à l'émergence de nouveaux *business models* dans lesquels les cloisonnements « BtoB/BtoC » et « industrie/services » sont amenés à s'estomper progressivement. Une autre possibilité se dessine, offerte par le développement des systèmes cyberphysiques : celle du « *plug and produce* », c'est-à-dire d'une production flexible basée sur des unités de production modulaires numérisées.

Les différentes fonctions d'une usine (presse, soudage, peinture, etc.) seront numérisées. Ces blocs cyberphysiques (c'est-à-dire conçus virtuellement, mais reliés au

### **Encadré 1 : Focus : Elektronikwerk Amberg (EWA) une digital factory efficace**

Située en Allemagne, cette usine Siemens s'est résolument engagée dans la voie de la digitalisation, sans que ses effectifs aient varié au cours des vingt-cinq dernières années. Largement automatisée – les machines réalisent 75 % de la création de valeur – la production (à Amberg) utilise toute la gamme logicielle de Siemens (PLM, simulation...) et des contrôleurs programmables Simatic.

Fleuron du groupe Siemens, l'EWA a non seulement multiplié son volume de production par huit, mais a aussi amélioré considérablement sa qualité, avec un taux de perte presque nul (0,0012 %). Fort de ce succès, le groupe a créé une usine jumelle en Chine, à Chengdu.

monde réel grâce à Internet) peuvent ensuite être modifiés, assemblés et dupliqués dans tous les sites de production similaires. Enfin, la physionomie de l'usine et les métiers industriels changeront profondément (voir *infra*).

Ainsi, l'usine « Giovanni Agnelli », située dans la banlieue de Turin, illustre la mue digitale de la production industrielle et les gains de productivité que celle-ci engendre. La gamme des logiciels industriels Siemens permet à Maserati de concevoir, de simuler et de tester virtuellement son modèle Ghibi, de limiter les erreurs et d'identifier les gains de productivité, avant d'en lancer la production.

Par exemple, la plateforme Teamcenter centralise les données de toutes les équipes travaillant sur le projet. Cela permet non seulement de gagner du temps dans l'analyse, mais aussi de limiter les risques d'erreurs liées au manque de communication. Ce choix du « digital » a permis à Maserati de réduire les coûts induits par le prototypage, de réduire son délai de mise sur le marché à 16 mois, d'améliorer sa productivité sans rogner sur la qualité de son produit (trois fois plus de véhicules sont produits) et de personnaliser une production de masse pour mieux satisfaire ses clients (en proposant 27 versions, 13 coloris et 203 configurations) <sup>(1)</sup>.

**Ces évolutions ne concerneront pas de manière uniforme l'ensemble des acteurs industriels, mais elles constituent un réel atout pour la réindustrialisation**

Certains secteurs – comme l'automobile et l'aéronautique – constituent un terrain privilégié pour l'épanouissement de ces technologies. Par ailleurs, chaque brique technologique (impression 3D, simulation, etc.) ne sera pas utilisée partout. La mutation de l'appareil productif pourrait donc être généralisée, mais à des degrés divers. Il faut surtout garder à l'esprit que la désindustrialisation n'est pas une fatalité : dans un pays particulièrement touché par ce phénomène comme la France (où la part de l'industrie dans le PIB est passée de 35 % en 1970 à 11 % aujourd'hui) et dans un contexte concurrentiel accru, l'opportunité que représente la digitalisation doit être saisie. Y sensibiliser les différents acteurs nous paraît indispensable.

**Au sein de l'usine cyberphysique, les enjeux en matière de formation et d'emploi évoluent**

**L'automatisation et l'essor du numérique sont souvent perçus comme une menace pour l'emploi industriel : si la destruction de certains emplois paraît inévitable, ce jugement doit néanmoins être nuancé**

D'une part, ce phénomène de destruction d'emplois est difficile à quantifier et, d'autre part, de nouveaux emplois seront créés en parallèle. Selon le cabinet Roland Berger, le nombre d'emplois industriels en Europe de l'Ouest devrait augmenter de 6 % entre 2015 et 2035 <sup>(2)</sup>. Il est par ailleurs erroné de penser que l'univers numérique se suffira à lui-même. Les savoirs et les savoir-faire liés à l'exercice d'un métier resteront indispensables. L'articulation constante entre les mondes virtuel et réel garantit la fiabilité du jumeau numérique. Ainsi, à Chalampé (voir l'Encadré 2), la réplique virtuelle de l'usine Solvay était mise à jour régulièrement afin de s'assurer qu'elle constituait bien un double fidèle du site réel et de garantir la migration des systèmes pendant les arrêts de production, à savoir une fois tous les trois ans.

(1) <http://www.siemens.com/stories/cc/en/driven-by-data/>

(2) Cabinet Roland Berger, Industrie du futur : nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique, séminaire Alliance pour l'Industrie du futur, 13 avril 2016.



Conception virtualisée du nouveau modèle Ghibli de Maserati.

### Encadré 2 : Focus : le jumeau virtuel de l'usine de Solvay à Chalampé (Alsace)

Spécialisé dans la fabrication du polyamide 6.6, le site industriel Solvay/Butachimie à Chalampé devait remplacer l'intégralité de son système de contrôle-commande devenu obsolète.

Cette migration vers un nouveau système présentait au moins deux difficultés liées à la dangerosité du site pétrochimique et au fonctionnement de l'usine (qui ne s'arrête que trois semaines tous les trois ans).

Grâce à l'outil de simulation SIMIT de Siemens, un jumeau virtuel des ateliers de production a été créé, permettant de simuler la migration afin de fiabiliser sa mise en œuvre.

### À rebours de craintes souvent exprimées, la transformation digitale de l'industrie pourrait constituer un levier de compétitivité favorable à l'emploi industriel

Entre 1980 et 2007, le nombre des emplois industriels a chuté de 36 % en France, passant de 5,3 à 3,4 millions. En près de 30 ans, la part de l'industrie dans l'emploi total a reculé de 11 points (passant de 24 à 13 %) <sup>(3)</sup>.

La digitalisation pourrait permettre d'enrayer cette tendance à la baisse. En effet, la digitalisation de la sphère industrielle repose sur l'utilisation de technologies de pointe, qui nécessitent une main-d'œuvre qualifiée (ouvriers, techniciens et ingénieurs). Ce besoin qualitatif amoindrit la compétitivité-coût des pays où la main-d'œuvre est peu chère. La digitalisation devient un vecteur d'*Onshoring*, autrement dit de relocalisation de la production et de l'emploi industriel dans des pays développés, comme la France.

### L'incertitude réside en réalité dans l'ampleur de ces phénomènes contradictoires et dans la capacité des pouvoirs publics et des entreprises à tirer leur épingle du jeu en anticipant et en intégrant ces changements au système éducatif et à la formation continue des salariés

L'adaptation de l'offre de formations aux enjeux industriels passe par des partenariats.

Siemens coopère depuis plusieurs années avec l'Éducation nationale à travers le déploiement d'un programme de certification (une centaine d'établissements sont concernés) et l'adaptation des formations bac+2 aux enjeux de la digitalisation.

En concertation avec les acteurs industriels, ces formations évoluent. Ainsi, le BTS Conception et réalisation de systèmes automatiques (CRSA) a été enrichi de modules portant sur la simulation.

Par ailleurs, un accord quadriennal a été signé entre l'Académie de Toulouse et Siemens, en septembre 2015. Les établissements de la région proposant les BTS Électrotechnique et CRSA ont été équipés d'une plateforme dédiée à la gestion des automatismes indus-

triels et, en parallèle, le processus de certification a été mis en place. Un cercle vertueux se dessine : les filières techniques sont revalorisées ; les élèves acquièrent des compétences adéquates et les industriels disposent d'un vivier de compétences.

### Le jumeau virtuel et la réalité augmentée présentent un véritable intérêt pour la formation des salariés

La maintenance prédictive et à distance est l'une des illustrations de cette articulation du virtuel et du réel. Ainsi, l'analyse des données émanant de l'objet connecté (une turbine à gaz, par exemple) permet d'en détecter les risques de défaillance et d'anticiper la nécessité d'une opération de maintenance. En outre, grâce à des outils comme la solution logicielle COMOS, les opérateurs peuvent s'entraîner en amont sur une duplication virtuelle de l'usine. Cette préparation garantit une prise en main efficace et améliore leur capacité d'intervention.

La réalité augmentée est un autre outil permettant d'améliorer les aptitudes du salarié. Par exemple, un constructeur automobile pourrait avoir recours à cette technologie pour optimiser l'application d'une peinture sur une portière. Dans le monde virtuel, une portière et un pistolet à peinture – relié au pistolet réel utilisé par l'ouvrier – sont numérisés. Grâce à des capteurs, les gestes de l'ouvrier, muni d'un casque de réalité augmentée, sont enregistrés, analysés et ensuite comparés à des indicateurs de performance.

### L'usine cyberphysique est aussi une usine mieux protégée contre les cyberattaques

#### La cybersécurité apparaît comme un élément indissociable de l'usine cyberphysique

De fait, l'utilisation des réseaux de communication modernes, l'interconnexion croissante des machines (entre elles et entre elles et le monde réel) et la production de *Big data* rendent l'usine plus vulnérable. Ces dernières années, les systèmes industriels sont apparus comme des cibles privilégiées pour des cyberattaques. Pourtant, ce risque est encore souvent sous-évalué, en raison notamment de la difficulté à détecter les cyberattaques et à évaluer leur impact, mais aussi d'une sensibilisation parfois insuffisante des individus aux cybermenaces.

#### Face à des risques protéiformes – déstabilisation (défiguration, déni de service), espionnage (vol de données), sabotage (effacement de données, destruction des équipements physiques) –, les entreprises doivent mettre en place un système de sécurité industrielle adéquat et en faire une des composantes de leur culture d'entreprise

Dans la mise en place de cette politique de sécurité, il est nécessaire de respecter trois étapes : tout d'abord, effectuer un diagnostic préalable des menaces et des

3) DEMMOU (Lilas), « Le Recul de l'emploi industriel en France de 1980 à 2007 : quelle est la réalité ? », Lettre du Trésor-Eco, n°77, septembre 2010, p. 1.



Photo © Siemens AG

Le reconstitution virtuelle d'une usine grâce à la solution logicielle COMOS.

### Encadré 3 : Focus : Siemens, acteur majeur de la cybersécurité

Le sabotage du programme nucléaire iranien par le malware « Stuxnet » en 2010 est l'une des illustrations les plus emblématiques de la vulnérabilité des systèmes industriels. Cette attaque a catalysé la prise de conscience de l'importance des cybermenaces. Lancé dès 2011, le projet « Industrial Security » a permis à Siemens de devenir l'une des références en matière de cybersécurité. Siemens est en effet le premier à avoir commercialisé des équipements certifiés par l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI). L'automate programmable (Simatic S7-1500) – certifié et qualifié – et le commutateur industriel Ethernet Scalance XM400 (*switch*) sont les gages d'un haut niveau de sécurité.

risques, puis mettre en place des mesures de protection – protection du site industriel, renforcement de la sécurité des équipements, diffusion de bonnes pratiques – et, enfin, disposer d'un système de détection et d'alerte en cas de cyberattaque. Surtout, il faut garantir l'efficacité du système de protection dans le temps, face à une menace évolutive.

### Mais, pour que l'usine cyberphysique devienne réalité, d'importants défis doivent encore être relevés

#### L'avènement d'une usine cyberphysique se heurte encore à des défis technologiques

Or, dans un champ aussi concurrentiel que le numérique, les primo-innovants bénéficient d'un avantage durable. Il est donc indispensable d'investir massivement le champ

du « digital » non seulement au niveau national, mais également au niveau européen.

La France dispose d'un potentiel indéniable qui s'incarne au travers non seulement de grandes entreprises pionnières, mais aussi d'un tissu de PME ayant investi dans ce levier de croissance. Mais si ce tissu industriel existe, il convient aussi de le renforcer en accordant une attention particulière aux PME/ETI. Siemens s'efforce de développer cette approche, en France, dans ses relations avec ses fournisseurs, mais aussi à travers son engagement au sein de l'association Pacte-PME.

À l'échelle européenne, l'« Industrie du futur » – ou, selon la terminologie en cours outre-Rhin, l'« Industrie 4.0 » – constitue un nouveau champ de coopération de l'axe franco-allemand. Ainsi, le rapprochement entre Siemens et Atos a permis de constituer un acteur numérique européen de premier plan. Il convient de poursuivre le développement de cette épine dorsale numérique franco-allemande, sur la base notamment des travaux menés conjointement par le Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle commande et des services associés (Gimélec) et par son homologue allemand, le ZVEI (*Zentralverband Elektrotechnik-und Elektronikindustrie*).

### Enfin, si la prise de risque inhérente à la logique entrepreneuriale doit conduire les entreprises à entrer résolument dans l'ère de l'industrie du futur, celles-ci auront besoin d'un cadre réglementaire qui leur soit favorable pour mener à bien cette transformation

Aux côtés des initiatives privées, l'engagement des pouvoirs publics est également indispensable. Des initiatives vont déjà dans ce sens, comme la création de l'association de l'Alliance Industrie du futur, dont Siemens est un membre actif, dans le cadre du projet Industrie du futur

que le gouvernement français a lancé en avril 2015. Mais il importe de simplifier la réglementation, dont l'extrême complexité pénalise essentiellement les PME. L'évolution du cadre législatif implique également d'identifier à l'échelle européenne les défis posés par la digitalisation.

### **Bibliographie**

Cabinet Roland Berger, *Industrie 4.0 : nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique*, Séminaire Alliance pour l'Industrie du futur, avril 2016.

DEMMOU (Lilas), « Le Recul de l'emploi industriel en France de 1980 à 2007 : quelle est la réalité ? », *Lettre du Trésor-Eco*, n°77, septembre 2010, 8 pages.

SIEMENS France, direction de la Communication, *L'Essentiel*, sous la direction de Frederick Jeske-Schönhoven (directeur de la publication) et de Valérie Rassel (rédacteur en chef), juin 2016, 76 pages.

Liens Internet :

<http://www.siemens.com/stories/cc/en/driven-by-data/>

<http://w5.siemens.com/france/web/fr/ad/news/press/releases/pages/anssi-simatic-s7-1500.aspx>

<http://w5.siemens.com/france/web/fr/ad/news/press/releases/pages/anssi-ethernet-scalance-xm400.aspx>

# La robotique

Par Jean-Paul LAUMOND

Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS), Toulouse

En s'appuyant sur les progrès réalisés en matière de mécatronique et de calcul, la robotique met au point des fonctions sensorimotrices toujours plus évoluées qui dotent les machines d'une capacité d'adaptation à leur environnement toujours plus grande.

Jusqu'à présent, le système de production industriel s'organisait autour de la machine ; la machine était calibrée en fonction de son environnement et ne tolérait que peu de variations de celui-ci. Aujourd'hui, elle s'intègre plus facilement dans un environnement existant.

Plus élaborée, elle nécessite plus d'expertise pour sa programmation, avec pour conséquence la suppression d'emplois peu qualifiés, pénibles et répétitifs, au profit d'emplois de maintenance et de supervision.

Le robot est une machine, et en tant que telle, et comme il en a toujours été, il participe à la transformation des savoir-faire et à la disparition de certains d'entre eux.

La robotique constitue une discipline scientifique à part entière, dont les enjeux interrogent le mode d'organisation de nos sociétés. Elle doit être pensée comme telle et son développement doit être résolument soutenu par une recherche publique de qualité, qui en aborde toutes les dimensions aussi bien scientifiques et techniques, qu'économiques et sociologiques.

## Qu'en est-il vraiment des robots ?

Au-delà des délires transhumanistes, des postures néo-luddites et des impostures laissant penser que des robots pourraient être dotés d'empathie (des délires, des postures ou des impostures qui sont nourris par l'attitude ambiguë de certains professionnels des nouvelles technologies et que les médias relayent largement), il apparaît important de « démythifier le robot »<sup>(1)</sup> en précisant la nature des évolutions technologiques qui le caractérisent, pour pouvoir comprendre la place qu'il occupe aujourd'hui dans notre société, et celle qui lui sera réservée à l'avenir.

Le robot s'inscrit dans l'histoire des machines : c'est une machine qui bouge et dont les mouvements sont contrôlés par un ordinateur. Il se distingue tout à la fois de l'automate, dont les mouvements sont mécaniquement déterminés, et de l'ordinateur, qui manipule des informations, mais ne bouge pas.

Le développement conjoint de l'électronique et du traitement numérique du signal ont rendu possible l'élaboration de boucles sensorimotrices permettant aux machines d'adapter leurs mouvements en fonction du contexte : le robot intègre ainsi une forme d'homéostasie, qui trouve son origine dans la cybernétique des années 1950 et dans sa concrétisation au cours des années 1960, avec l'apparition des premiers robots industriels. C'est à partir de cette capacité (plus ou moins évoluée) d'adaptation du mouvement que se définit le champ d'action de la machine.

Le robot bouge pour agir. Il est confronté à la physique du monde réel : un robot manipulateur doit pouvoir saisir un objet fragile sans le casser ou un récipient sans en renverser le contenu ; un robot « bipède », quant à lui, doit garder son équilibre en se déplaçant.

Manipulation et déplacement sont les deux composantes de l'action du robot.

C'est d'abord la maîtrise du mouvement des robots manipulateurs qui a permis le développement de la robotique industrielle.

C'est ensuite la maîtrise des déplacements de robots mobiles à roues qui a permis, dès les années 1970, d'envisager les grands programmes d'exploration planétaire.

Aujourd'hui, c'est la maîtrise conjointe de ces deux fonctions motrices qui permet l'émergence de nouvelles machines capables tout à la fois de se déplacer et de manipuler des objets.

Les champs d'application de la robotique s'élargissent. La machine n'est plus condamnée à se mouvoir en site propre, comme c'est actuellement le cas pour les robots de soudure dans l'industrie automobile ou les chariots filoguidés dans les entrepôts de logistique.

L'espace dans lequel le robot industriel évolue rencontre

(1) Expression utilisée par Gilbert Simondon dans ses entretiens sur la mécanologie en 1968 (*Revue de synthèse*, tome 130, 6<sup>ème</sup> série, n°1, 2009, pp. 103-132).

celui de l'homme, et l'interaction physique entre l'homme et la machine ouvre de nouvelles possibilités. Les exosquelettes et les robots d'assistance sont télé-opérés physiquement : par leur capacité à répondre aux mouvements de l'homme, ils permettent de l'assister dans le transport et la manipulation de charges lourdes.

Bien entendu, la question du partage de l'espace entre l'homme et la machine lors d'actions simultanées est dominée par la question de la sécurité. Celle-ci nécessite l'apparition de nouvelles normes <sup>(2)</sup>. Aujourd'hui, le partage de l'espace n'est possible qu'à la condition que les moteurs de la machine ne dépassent pas une certaine puissance. La maîtrise en termes de sécurité des mouvements réalisés par une machine puissante constitue un enjeu des recherches actuelles en robotique. Ses applications futures en dépendent.

Placée dans le contexte de l'industrie du futur, la robotique ouvre des perspectives nouvelles. Le robot d'assistance physique (appelé *cobot*, dans le milieu industriel) permet d'ores et déjà (nous l'avons vu, avec les exosquelettes) de prendre en charge une partie de l'énergie nécessaire à la réalisation d'une tâche. Il assiste l'opérateur sans le remplacer et réduit pour celui-ci les risques de troubles musculo-squelettiques.

Dans les deux composantes que sont le déplacement et la manipulation, la maîtrise du mouvement par la machine permet à celle-ci de faire preuve d'une plus grande adaptabilité : son intégration dans la chaîne de production est facilitée par une programmation de plus en plus évoluée.

En robotique industrielle, il s'agit de définir très précisément la trajectoire que l'organe terminal du robot doit suivre pour souder, peindre ou assembler des composants.

Programmer un robot, cela consiste à transformer la trajectoire dans l'espace physique de son organe terminal exprimée en un ensemble d'ordres donnés aux différents moteurs qui constituent la chaîne de transmission du mouvement.

La programmation peut s'effectuer par apprentissage : un opérateur bouge l'organe terminal du robot suivant la tâche à réaliser : les effets du mouvement sur les différents degrés de liberté du robot sont enregistrés afin d'être transformés en commandes adressées aux moteurs ; le mouvement peut dès lors être répété automatiquement à l'infini.

Les progrès réalisés en matière de traitement numérique de l'information permettent aujourd'hui une programmation d'un niveau d'abstraction plus poussé. La transformation qui permet de passer de la tâche exprimée dans l'espace physique en consignes à appliquer aux moteurs est elle-même automatisée : elle est réalisée au moyen de l'exécution d'algorithmes de calcul permettant la résolution des équations qui établissent le lien entre l'espace physique de la tâche et l'espace de commande du robot. La programmation par apprentissage se trouve ainsi remplacée par une programmation numérique de plus haut niveau d'abstraction.

La programmation est dès lors beaucoup plus simple, mais elle nécessite aussi plus d'expertise. En effet, l'action de l'opérateur sur le robot n'est plus physique ; elle s'opère à distance, à partir d'un poste de programmation, et requiert une qualification spécifique.

Ce niveau de programmation est plus abstrait. Il autorise en particulier le traitement automatique de données provenant de capteurs permettant d'avoir une parfaite estimation de l'état du système, autorisant de ce fait une plus grande adaptation aux aléas de l'environnement. Du point de vue de l'emploi, il a pour conséquence d'accroître le niveau de qualification nécessaire à la programmation des robots.

La capacité d'adaptation de la machine augmentant, son champ d'action s'élargit, et ce d'autant plus que la fonction de déplacement se trouve couplée à la fonction de manipulation. Le robot n'est plus un robot à poste fixe. Il peut se déplacer. Jusqu'alors, le système de production s'organisait autour de la machine : la machine était calibrée dans son environnement et ne tolérait que peu de variations de celui-ci. Aujourd'hui, elle s'intègre plus facilement à un environnement existant. Elle a la capacité de remplacer l'opérateur dans la réalisation de tâches répétitives (comme l'assemblage de composants électroniques), sans qu'il soit besoin de réorganiser la chaîne d'assemblage elle-même.

Ce qui est valable pour l'industrie manufacturière des biens de grande consommation, l'est aussi pour la production industrielle de composants de grande taille : ainsi, Airbus étudie aujourd'hui la possibilité d'automatiser les opérations de rivetage sur le fuselage de ses avions.

Les conséquences de l'automatisation en matière d'emploi sont sujettes à controverses. Les études montrent une « extrême dispersion des analyses prospectives » <sup>(3)</sup>. Elles vont de la modélisation d'un cercle vertueux de l'automatisation (ainsi, l'Allemagne arrive à maintenir un taux d'emploi industriel plus élevé qu'en France, alors même que son taux de robotisation est cinq fois plus élevé) à sa contestation radicale prévoyant la disparition de dizaines de millions d'emplois au cours des trente prochaines années.

Il est difficile de trancher entre ces deux visions extrêmes. L'emploi industriel diminue et va continuer à diminuer tout en faisant appel à des niveaux de qualification toujours plus élevés ; en contrepartie, le nombre des emplois dans le secteur des services augmente, suivant un principe de vases communicants. Il reste qu'il est difficile de parier sur l'atteinte d'un équilibre, dans la mesure où l'automatisation issue non pas directement de la robotique, mais des technologies de l'information et de la communication, a elle aussi un impact sur ce secteur.

Un robot est une machine : en tant que tel et comme il en a toujours été, il participe à la transformation de sa-

(2) Voir la récente norme ISO/TS 15066 :

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:15066:ed-1:v1:en>

(3) « Automatisation, emploi et travail », Les synthèses de La Fabrique de l'industrie, décembre 2015 : <http://www.la-fabrique.fr/wp-content/uploads/2016/01/S1-Automatisation-emploi-et-travail.pdf>

voir-faire et à la disparition de certains d'entre eux. De manière générale, le robot contribue à la relation qu'entretient l'homme avec le monde réel. Si la finalité de cette relation échappe à la machine, elle ne doit pas nous échapper et doit être pensée comme un élément de notre culture. Il est fondamental de comprendre que la robotique ne se résume pas à de simples développements techniques issus des « nouvelles technologies » ayant pour finalité d'améliorer des systèmes de production ou de créer artificiellement de nouveaux besoins. Elle constitue une discipline scientifique à part entière, dont les enjeux interrogent le mode d'organisation de nos sociétés.

Elle doit être résolument soutenue par une recherche publique qui doit en aborder toutes les dimensions (scientifiques, techniques, économiques et sociologiques) ; elle ne doit en aucun cas être laissée aux seules initiatives de quelques grands groupes industriels. En ce sens, la France a su, dès l'origine, promouvoir une recherche fondamentale publique en matière de robotique, tout en menant de front des programmes de recherche appliquée en partenariat avec l'industrie.

## Un atout pour la France, sa recherche en robotique

La robotique industrielle naît au début des années 1960, avec l'intégration du premier manipulateur programmable dans les chaînes de montage de General Motors.

À la même époque, en France, le Commissariat à l'énergie atomique étudie la possibilité de commander à distance un bras manipulateur chargé d'explorer des zones irradiées de centrales nucléaires et d'y réaliser des interventions.

Dans le courant des années 1970, la Régie nationale des usines Renault (RNUR) s'engage, avec le soutien de l'État et la participation de laboratoires de recherche publique, dans la conception et la fabrication de robots au sein de sa branche machines-outils. Sa filiale ACMA produit une centaine de robots en 1980 et le nombre des robots de la RNUR passe de 31 à 220 en l'espace de cinq ans, de 1977 à 1982 <sup>(4)</sup>.

Dans le même temps, le CNRS, s'appuyant sur cette dynamique, lance le programme Automatique et robotique avancées (ARA) basé sur un partenariat public-privé et doté de plusieurs millions de francs. Ce programme donne une impulsion déterminante qui sera à l'origine de la structuration de la recherche fondamentale en robotique, et ce, alors même que la fin des années 1980 voit les industriels français se désengager de la production de robots (ainsi, ACMA sera vendu au fabricant italien COMAU).

Dans les années 1990, un groupement réunissant le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) et l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA) développent un robot d'exploration planétaire en collaboration avec le Centre national d'études spatiales (CNES).

Seize ans après le programme ARA, est créé (toujours à l'initiative du CNRS) le programme ROBEA auquel participent 250 équipes de recherche regroupées dans une centaine de laboratoires.

L'année 2007 est marquée par la création du groupement de recherche en robotique, le GDR Robotique <sup>(5)</sup>, qui regroupe aujourd'hui plus de 1 300 chercheurs.

En 2012, Robotex <sup>(6)</sup>, un réseau national de plateformes expérimentales de robotique, financé dans le cadre des Investissements d'avenir, regroupe 15 laboratoires autour de cinq thématiques allant de la robotique industrielle à la robotique humanoïde, en passant par la robotique terrestre et aérienne, la robotique médicale et la microrobotique.

Les équipes du CNRS et d'INRIA développent une recherche généraliste en partenariat avec des universités et de grandes écoles. La recherche en robotique est également organisée par domaine par les Arts et Métiers (robotique industrielle), le CEA (robotique d'intervention et exosquelettes), l'IFREMER (robotique marine et sous-marine), l'IFSTTAR (véhicules automatisés et transports), l'INSERM (robotique médicale), l'IRSTEA (robotique agricole) et l'ONERA (robotique aérienne).

La France se trouve dans une situation paradoxale : absente d'une production de robots industriels dominée principalement par le Japon, l'Allemagne et la Suède et par ailleurs faiblement équipée (5 fois moins que l'Allemagne), elle mène une recherche fondamentale de qualité couvrant de larges spectres applicatifs. Lors du dernier congrès de robotique organisé par la société IEEE (Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens) à Stockholm, en mai dernier, il apparaît que la France occupe la troisième place par le nombre de ses articles (ex æquo avec l'Italie et le Japon, et derrière les États-Unis et l'Allemagne).

Un deuxième paradoxe de notre pays tient à la difficulté de pérenniser sur le territoire les succès de nos partenariats public-privé.

Ainsi, nous avons vu comment Renault a abandonné la fabrication de robots industriels, alors même que la firme avait contribué à la naissance des réseaux de recherche en robotique. Les raisons de cet abandon sont en grande partie d'ordre technologique : Renault avait fait le pari de rester sur le créneau des actionneurs hydrauliques à commande analogique, faciles à programmer par apprentissage, alors que les moteurs électriques (à l'époque plus coûteux) autorisaient une commande numérique certes plus complexe (car nécessitant le recours à des langages de programmation), mais qui allait s'avérer *in fine* la clé du succès des grands constructeurs de robots industriels.

Plus près de nous dans le temps, l'exemple d'Aldebaran Robotics (racheté par la société japonaise Softbank

(4) CORIAT (B.), « La robotique à la Régie Renault », Revue d'économie industrielle, n°24, 1983.

(5) <http://www.gdr-robotique.org/>

(6) <http://equipex-robotex.fr/>



Photo © Ludovic/REA

Présentation des robots et produits interactifs de Cap Robotique.

« Le succès des robots NAO et Pepper démontre la qualité du savoir-faire français en matière d'intégration robotique. »

en 2012) est également emblématique de ce paradoxe. Même si l'on peut s'interroger sur l'évolution du marché de la robotique personnelle (en 2015, celui-ci représentait 11 % du marché de la robotique), le succès des robots NAO et Pepper démontre la qualité du savoir-faire français en matière d'intégration robotique.

Conçu par Aldebaran, le robot humanoïde ROMEO est une plateforme nationale de recherche fédérant une quinzaine de partenaires (laboratoires académiques et PME) autour de thématiques diversifiées incluant la conception mécanique, la mécatronique, la commande, la programmation, la vision artificielle, la perception multisensorielle, les communications verbale et non verbale, la planification de mouvements et l'intelligence artificielle. Si ROMEO est très loin de concurrencer le robot ATLAS (de Boston Dynamics) en termes de performances physiques, il constitue néanmoins une plateforme de recherche unique de par son ambition d'intégrer les différentes composantes d'un robot humanoïde complet qui soit capable d'actions et de communication, en interaction avec l'homme.

À défaut pour la France d'être présente sur le marché de la robotique industrielle, cette capacité d'intégration est un atout de sa recherche en robotique, un atout qui fait le succès de plusieurs PME françaises des domaines de

la logistique, des transports, de la robotique médicale et paramédicale et de la robotique agricole (avec des spécialités, telles que les drones, la robotique parallèle ou la robotique à câbles).

Quand on sait que le coût d'une cellule robotisée installée sur une ligne de production est dans une très large mesure déterminé par le coût de l'intégration du robot et non par le coût du robot lui-même, la recherche française est à même, dans le contexte de l'industrie du futur, d'y occuper une place de choix grâce à sa capacité à maîtriser les systèmes robotiques dans leur totalité, comme en témoigne sa participation active aux projets européens Euroc <sup>(7)</sup>, Factory-in-a-Day <sup>(8)</sup> ou Comanoid <sup>(9)</sup>. Ce dernier projet est à l'origine d'un accord de partenariat (signé au printemps 2016) entre Airbus Group, le CNRS et l'institut japonais AIST en vue de réalisation d'une étude des potentialités de la robotique humanoïde dans l'industrie aéronautique.

7) <http://www.euroc-project.eu/>

(8) [http://cordis.europa.eu/project/rcn/109377\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/109377_en.html)

(9) <http://www.ambafrance-jp.org/Lancement-du-projet-H2020-COMANOID>

# Tour d'horizon des politiques d'« Industrie du futur »

Par Thibaut BIDEY-MAYER

Chef de projet, La Fabrique de l'industrie

Nous proposons ici un panorama des politiques mises en place à travers le monde en faveur de l'industrie du futur. L'intérêt de ce tour d'horizon est non pas de classer les pays étudiés en fonction de leur niveau d'avancement dans cette transition, mais de nous donner à voir la diversité d'approches adaptées à des contextes économiques et politiques bien particuliers. Il est d'ailleurs intéressant de remarquer qu'en dépit de profils très différents, la plupart des programmes mis en place se rejoignent autour de trois thématiques : le développement de l'offre technologique nationale, le soutien à la modernisation du tissu industriel et l'adaptation des compétences des salariés.

Ce panorama nous permettra ensuite de positionner la France dans ce paysage et de dresser un état des lieux du programme « Industrie du futur » déployé par le gouvernement depuis 2013. Il montre que la France a une véritable carte à jouer, mais cela suppose qu'elle définisse ses propres priorités et mobilise ses indéniables atouts spécifiques afin de pouvoir bénéficier au mieux de cette transformation du tissu industriel.

Le secteur industriel n'échappe pas à la révolution numérique. Le concept d'industrie du futur évoque des usines connectées rendues flexibles et intelligentes grâce à la mise en réseau des machines, des produits et des individus.

Cette mise en réseau conduit les industriels à reconsidérer non seulement leurs stratégies et leurs modèles d'affaires, mais aussi les modes d'organisation de leur production et du travail dans leurs usines. Le perfectionnement des processus industriels grâce au numérique vise à soutenir la compétitivité et à répondre à des exigences sociétales toujours plus fortes notamment en matière de sobriété énergétique et d'amélioration des conditions de travail.

Cette digitalisation de l'industrie appelle une réponse de la part des pouvoirs publics, et ce, pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, elle suppose que les entreprises industrielles réalisent d'importants investissements : le cabinet de conseil PricewaterhouseCoopers en estime le montant à 907 milliards de dollars par an au niveau mondial. Elles doivent donc être accompagnées, si l'on veut que cette transition se réalise le plus rapidement possible.

Ensuite, les potentialités offertes par les nouvelles technologies dans le domaine des équipements de production font à la fois évoluer l'offre de nombreux spécialistes et émerger de nouvelles activités. Un effort de la recherche, tant publique que privée, est donc nécessaire pour se positionner sur ces marchés porteurs.

Enfin, l'irruption de ces nouvelles technologies de production au sein des usines interroge sur l'évolution des modalités du travail et des compétences requises, et donc sur celle des adaptations nécessaires des systèmes de formation initiale et de formation continue.

La plupart des programmes publics mis en place à travers le monde ont été structurés autour de ces trois enjeux.

## L'Allemagne engage la bataille pour la sauvegarde de son leadership

De nombreux pays se sont engagés dans la voie de l'industrie du futur. Mais l'Allemagne a été la première à avoir formalisé une politique explicitement dédiée à cet enjeu. Cela ne doit rien au hasard et son programme *Industrie 4.0* affiche un objectif très clair : sauvegarder son leadership dans la production de biens d'équipements industriels, qui constitue un des piliers de la puissance industrielle outre-Rhin.

Au tournant des années 2000, l'Allemagne a pris conscience du fait qu'avec l'arrivée du numérique, différents concurrents commençaient à lui contester sa suprématie sur ce marché, qu'il s'agisse de concurrents historiques ou de nouveaux prétendants venus notamment d'Asie.

Un premier démonstrateur a ainsi été lancé dès 2005 : sous l'impulsion du Centre de recherche allemand pour

l'intelligence artificielle (DFKI), la plateforme technologique SmartFactoryKL a entamé un programme de recherche consistant à transposer des technologies numériques de pointe à une ligne de production afin d'en accroître l'efficacité et la flexibilité. Un prototype a été dévoilé dès 2007, mais ce n'est que six années plus tard que fut présenté le premier « système cyber-physique » (CPS) appliqué à l'industrie.

La recherche autour de ces systèmes de production mariant industrie mécanique traditionnelle et numérique représente le cœur de la stratégie allemande en matière d'usine du futur. Le programme *Industrie 4.0* (qui a été présenté par le gouvernement fédéral lors de l'édition 2011 de la Foire de Hanovre) consiste en effet à organiser des programmes de R&D autour de ces technologies en associant les acteurs de la recherche académique, les Instituts Fraunhofer, les grands groupes concernés (Bosch, SAP, Siemens...) et les champions industriels du *Mittelstand* (Festo, Kuka...). Comme souvent, la force de l'Allemagne réside dans sa capacité à fédérer l'ensemble des parties prenantes autour d'un objectif. Cela a permis à l'Allemagne d'imposer le projet *Industrie 4.0* comme une véritable marque, et ce, au bénéfice de ses champions industriels nationaux. Ce concept a depuis lors essaimé à travers le monde et a marqué le coup d'envoi d'une véritable course mondiale.

### Une concurrence féroce venue d'Asie

La *Manufacturing Industry Innovation Strategy 3.0*, lancée en 2014 par le gouvernement coréen, est directement inspirée du programme allemand *Industrie 4.0*. Aux côtés du Japon et de la Chine, la Corée du Sud est le pays asiatique le mieux placé dans cette compétition. Ses grands conglomérats historiques – les *chaebols* – qui, à l'image de Hyundai, Samsung ou LG, développent des activités à la fois dans la robotique industrielle et dans le numérique, représentent son atout maître. Après avoir largement contribué à l'essor du pays, ces conglomérats sont idéalement placés pour aborder le tournant de la numérisation de l'industrie. Le gouvernement coréen s'est résolument investi dans le soutien au développement de l'offre technologique. Un plan de financement massif de la recherche portant sur les « technologies 4.0 » a d'ailleurs été adopté : parmi les dix axes de recherche retenus, on y retrouve plus particulièrement des technologies liées au numérique, telles que le *Big data* et l'Internet des objets.

L'autre point fort de la Corée du Sud réside dans le degré d'automatisation exceptionnel de ses entreprises : selon l'*International Federation of Robotics*, son industrie disposait en 2013 de 437 robots pour 10 000 employés, contre 323 au Japon, 282 en Allemagne et seulement 125 en France. Avec près des deux tiers de sa production positionnés sur du milieu de gamme ou sur du haut de gamme, l'on comprend mieux que l'industrie manufacturière coréenne soit l'une des plus compétitives au monde. Ne se contentant pas de ces bonnes performances, la Corée du Sud s'est fixé pour objectif de soutenir l'investissement des industriels dans ces nouvelles technologies de

production. Elle ambitionne ainsi de faire passer de 500 à 10 000 le nombre de ses usines intelligentes d'ici à la fin de la décennie et d'aider quelque 100 000 PME à améliorer leur efficacité productive.

La Chine présente un profil sensiblement différent de celui de la Corée du Sud. Elle est en effet encore loin d'avoir atteint le niveau technologique des leaders de l'*Industrie 4.0*, et son tissu industriel est encore largement dominé par des entreprises peu robotisées spécialisées dans des activités intensives en main-d'œuvre.

Lancé en 2015, le programme *Made in China 2025* mobilise donc des moyens financiers colossaux pour accélérer la modernisation des usines chinoises et la montée en gamme de la production industrielle chinoise. Au-delà de l'amélioration de la compétitivité, les investissements réalisés par la Chine dans les robots ont pour objectif de répondre à un déficit de main-d'œuvre anticipé dans les années à venir, conséquence directe de sa politique de l'enfant unique mais également des nouvelles aspirations de la jeune génération chinoise, qui ne se satisfait plus de la dureté des conditions de travail proposées par l'indus-



Photo © Stéphane Audras/REA

Stand Kuka au Congrès Entreprises du Futur à Lyon.

« Le cas le plus emblématique des achats chinois est celui de l'entreprise allemande Kuka pour plus de quatre milliards d'euros, qui a suscité de grands débats en Allemagne »



Foire industrielle de Hanovre, avril 2015.

« Le programme *Industrie 4.0* présenté par le gouvernement fédéral lors de l'édition 2011 de la foire de Hanovre consiste à organiser des programmes de R&D en associant les acteurs de la recherche académique, les instituts Fraunhofer, les grands groupes (Bosch, SAP, Siemens...) ainsi que les champions industriels du *Mittelstand* (Festo, Kuka...). »

trie <sup>(1)</sup>. La Chine représente ainsi un marché gigantesque pour les spécialistes de la robotique industrielle : ce sont près de 75 000 robots qui y ont été vendus en 2015 (soit plus du quart de la demande mondiale) et ce chiffre devrait encore doubler d'ici à 2018 <sup>(2)</sup>.

En parallèle à ces efforts de modernisation, la Chine cherche à améliorer son positionnement dans la production de biens d'équipements industriels afin de tirer parti des investissements réalisés par son secteur industriel. En effet, seul un robot sur cinq installés en Chine est pour l'instant produit par des entreprises locales. Le deuxième volet de la stratégie chinoise passe donc par un renforcement des efforts de recherche sur les TIC et sur les systèmes cyber-physiques et par un soutien accordé aux champions nationaux de la robotique, mais aussi par une active politique de rachats de spécialistes étrangers. Le cas le plus emblématique a été sans doute le rachat par la Chine du fleuron de l'industrie allemande, le groupe Kuka, pour plus de quatre milliards d'euros (un rachat qui a suscité de grands débats en Allemagne). Malgré ses multiples tentatives, le gouvernement d'Angela Merkel n'est pas parvenu à stopper la transaction, ce qui a soulevé de nombreuses inquiétudes sur l'avenir des 12 000 salariés employés par le groupe Kuka outre-Rhin, mais aussi, et surtout, sur les importants transferts de technologies qui pourraient en résulter.

## Les États-Unis et le Royaume-Uni renforcent leur recherche publique

Du côté des pays anglo-saxons, par tradition moins interventionniste, les actions en faveur de l'industrie du futur se limitent le plus souvent à une réorientation des moyens de la recherche publique vers les technologies clés pour cette transition. Au Royaume-Uni, par exemple, la principale initiative liée à l'industrie du futur est le programme *Catapult*, en particulier le *High Value Manufacturing Catapult* (HVMC) qui en constitue l'axe le plus important <sup>(3)</sup>. Inspiré des Instituts Fraunhofer, ce réseau national britannique de centres de recherche s'inscrit dans une stratégie d'amélioration de l'écosystème d'innovation et vise à renforcer les liens entre les organismes de recherche et les entreprises industrielles. Le HVMC est composé de sept centres de recherche existants, répartis sur l'ensemble du territoire britannique et développant des activités dans les

(1) DAS (M.) & N'DIAYE (P.), « La fin du travail bon marché. La baisse de la population chinoise d'âge actif aura des conséquences importantes pour le pays et le reste du monde », *Fonds monétaire international, Finances & Développement*, vol. 50, n°2, juin, 2013.

(2) Source : International Federation of Robotics.

(3) Plusieurs autres axes de ce programme peuvent être rattachés plus ou moins directement au smart manufacturing, comme le Digital Catapult ou le Compound Semiconductor Applications Catapult.

domaines de la fabrication additive, de l'automatisation et des nouveaux matériaux.

Le principe est le même aux États-Unis : le *National Network for Manufacturing Innovation* (NNMI) est un programme qui a été lancé en 2013 par l'administration du président Barack Obama en réponse à un rapport publié deux ans plus tôt mettant les pouvoirs publics en garde contre une concurrence grandissante qui menaçait l'industrie américaine des hautes technologies <sup>(4)</sup>. Neuf instituts de recherche ont d'ores et déjà vu le jour sur un objectif de quinze, et ce en dépit de l'opposition de la majorité républicaine du Congrès (cette dernière avait initialement réussi à freiner la mise en œuvre de ce projet représentant un investissement public de près d'un milliard de dollars).

Tous les pays reconnaissent qu'ils sont confrontés au défi de l'adaptation des compétences de leurs salariés aux évolutions technologiques, mais cela ne débouche pas forcément sur des actions concrètes.

Aux États-Unis (et plus encore au Royaume-Uni), ce point fait l'objet d'une attention particulière. Les instituts de recherche ont fortement investi le champ de la formation des salariés et nombreux sont ceux qui ont créé leur propre centre de formation, à l'image de l'*Advanced Manufacturing Research Centre* (AMRC) de l'Université de Sheffield.

Dans sa réforme de son système éducatif, le gouvernement britannique a également fait la part belle à la fabrication additive (de nombreuses écoles se sont dotées d'imprimantes 3D) et aux technologies numériques, instituant dès l'école primaire des cours de programmation informatique.

De son côté, *America Makes*, le premier centre du NNMI spécialisé dans la fabrication additive, s'est par exemple engagé dans un partenariat avec *Underwriters Laboratories Inc. (UL)*. Ce rapprochement permet aux 140 industriels membres d'*America Makes* non seulement de bénéficier des formations existantes proposées par *UL*, mais aussi de développer des cursus personnalisés en fonction de leurs besoins propres.

## Quelle place pour la France ?

Si l'on s'intéresse, maintenant, à la France, il apparaît assez clairement que l'enjeu principal pour ses entreprises est de moderniser un appareil de production vieillissant.

Le sous-investissement chronique dont souffre l'industrie française depuis plusieurs années est un problème bien identifié. Il se traduit dans les chiffres de la robotisation, un domaine dans lequel la France affiche un retard important (avec seulement 30 000 robots installés contre 180 000 en Allemagne).

Le constat est le même en matière de numérisation. La majorité des entreprises françaises se cantonnent à un usage basique des technologies numériques : elles ne les utilisent que très peu pour améliorer le fonctionnement des ateliers de production ou pour optimiser la relation avec leurs clients. De nombreux dispositifs d'aide au financement sont proposés, dans le cadre du programme

« Industrie du futur », que ce soit par Bpifrance ou par le Programme des investissements d'avenir. Par ailleurs, des dispositions fiscales avantageuses favorables à l'investissement productif ont été décidées par le gouvernement français.

Mais si l'action publique de la France se concentre sur cet impératif de la modernisation, elle ne fait pas pour autant abstraction de la question du développement de son offre technologique. Bien qu'elle ne soit pas en capacité de rivaliser avec celle des leaders de l'*Industrie 4.0* que sont l'Allemagne ou la Corée du Sud, la France a tout de même des atouts à faire valoir sur certaines technologies essentielles pour l'industrie du futur. C'est le cas par exemple du *Big data*, de l'Internet des objets et de la cyber-sécurité. La France est d'ailleurs un des leaders mondiaux de la cyber-sécurité grâce à ses grands groupes qui, à l'image d'Airbus ou de Thales, développent depuis longtemps des technologies extrêmement sophistiquées destinées au secteur de la défense. L'enjeu pour eux est de parvenir à décliner leur offre haut de gamme en des applications qui soient davantage « grand public ».

Les questions de l'évolution du travail et de la nécessaire adaptation des compétences des salariés, pourtant jugées cruciales par les différents experts et observateurs, ont plus de mal à trouver leur place en France.

En effet, en France, le débat reste surtout centré sur la question de l'impact quantitatif de l'automatisation sur l'emploi industriel. Cela constitue certes une problématique importante qui interroge notamment la capacité de notre système de formation à gérer la reconversion des travailleurs qui subissent les transformations du système productif. Le cas de l'Allemagne nous montre que l'implication de l'ensemble des parties prenantes et, en particulier, le dialogue en amont avec les organisations syndicales, est une des conditions pour faire avancer la réflexion.

Ainsi, associé depuis ses débuts aux travaux de la *Platform Industrie 4.0*, le principal syndicat ouvrier allemand de la métallurgie *IG Metall* a opté pour un positionnement constructif (tout en restant vigilant) face aux changements intervenant dans chaque entreprise, plutôt que de refuser coûte que coûte les évolutions techniques au risque de passer à côté d'une opportunité pouvant s'avérer décisive.

L'industrie du futur constitue en effet une formidable opportunité de renouer avec une dynamique industrielle positive. Elle doit pour cela être mise au service de la montée en gamme du secteur concerné grâce à l'amélioration des processus de production et le développement d'une offre de produits plus innovants, davantage différenciés et de meilleure qualité, les seuls qui soient capables de rivaliser avec une concurrence désormais globalisée.

(4) *President's Council of Advisors on Science and Technology, « Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing », Office of Science and Technology Policy, juin 2011.*

# Industrie 4.0 : comment caractériser cette quatrième révolution industrielle et ses enjeux ?

Par Dorothee KOHLER  
et Jean-Daniel WEISZ  
KOHLER Consulting & Coaching

« Industrie 4.0 » est la réponse allemande à la menace que fait peser l'irruption du numérique sur les chaînes de valeur industrielles. Il s'agit d'une ambition technologique consistant à produire des séries de taille 1 à des coûts équivalents à ceux de la production de masse en introduisant des systèmes de production cyber-physiques dans l'usine.

Mais cette révolution reste dans une large mesure invisible car elle passe par des codes et des algorithmes.

Elle vise avant tout l'apprentissage de nouveaux processus de conception et de fabrication collectifs. C'est la compétitivité relationnelle qui est au cœur de l'Industrie 4.0, matérialisée par de nouveaux modes d'interaction entre les acteurs économiques et leurs clients, et ce, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la chaîne de valeur.

Cette capacité à expérimenter ensemble ne touche pas seulement la dimension technologique. Elle concerne également la définition de nouveaux modèles d'affaires en lien avec l'émergence de plateformes de services industriels. C'est bien un changement de type 2 (au sens où l'entend Gregory Bateson) qui s'opère sous nos yeux – un changement dans lequel la transversalité entre filières et entre disciplines devient un enjeu central pour les acteurs de cette révolution numérique.

Les Allemands désignent l'Industrie 4.0 comme la « quatrième révolution industrielle ». Elle est ainsi remplacée d'emblée dans l'enchaînement logique d'un récit chronologique.

Au départ, l'Industrie 4.0 peut être comprise comme une ambition purement technologique : produire des séries de taille 1<sup>(1)</sup> à des coûts comparables à ceux de la production de masse en introduisant des systèmes de production cyber-physiques dans l'usine.

Dans les faits, il s'agit d'une stratégie de défense du leadership industriel allemand, doublée d'une stratégie de conquête de nouveaux marchés.

Sa dimension stratégique peut être lue rétrospectivement. L'édition 2011 de la Foire de Hanovre signe le coup d'envoi de l'Industrie 4.0 autour de la construction d'une offre allemande d'équipements industriels et de services s'appuyant sur l'intégration des systèmes cyber-physiques (SCP)<sup>(2)</sup> dans la production. L'édition 2015 de cette foire a réorienté cette révolution numérique vers le développement de nouveaux modèles d'affaires autour de l'inter-

net des services exploitant les données générées par les équipements et par les clients.

Dans un ouvrage que nous avons consacré à l'Industrie 4.0<sup>(3)</sup>, nous soulignons que celle-ci peut être interprétée comme un changement de paradigme industriel avec, à la clé, la nécessité pour l'ensemble des acteurs de conduire des apprentissages d'un type nouveau.

(1) L'enjeu pour l'industrie est de répondre en temps réel à une demande de biens personnalisés et donc de produire des lots de petite taille, voire des biens individualisés, ce qui implique une très grande flexibilité et une forte modularité des équipements industriels.

(2) Un système cyber-physique de production est formé par un ou plusieurs systèmes embarqués dans des équipements industriels, systèmes qui communiquent les uns avec les autres. La commande et la régulation du système de production ne passe plus par une entité centrale, mais se trouve décentralisée au niveau des interactions entre l'ensemble des systèmes cyber-physiques.

(3) KOHLER (Dorothee) et WEISZ (Jean-Daniel), Industrie 4.0. Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand, Paris, La Documentation Française, 2016, 176 p.

## Une menace sur la maîtrise des chaînes de valeur

L'intérêt de la désintermédiation introduite par l'Industrie 4.0 est d'intervenir dans des interstices de la chaîne de valeur, où sont logées des rentes de situation à faible valeur ajoutée. Elle y substitue des algorithmes qui vont directement mettre en contact une offre et une demande potentielle – *via* l'exploitation des données d'usage. Il se produit ainsi un fantastique transfert de création de valeur de l'amont vers l'aval de la chaîne de valeur. Au-delà du seul exemple de la maintenance prédictive <sup>(4)</sup>, le spectre des services potentiels est immense, avec des opérateurs de services basés dans le *Cloud*, qui proposent, grâce aux outils du *big data*, la résolution en temps réel de problèmes (plus ou moins complexes) de gestion et d'optimisation industrielles <sup>(5)</sup>.

Les industriels allemands craignent qu'à l'aune d'autres secteurs (comme l'édition ou l'hôtellerie), les géants de l'Internet n'imposent une relation exclusive avec les clients finaux au détriment des industriels B2C (*business to customer*) et B2B (*business to business*). Contrôlant l'accès aux données d'usage et aux interfaces guidant le choix des consommateurs, les géants de l'Internet seraient dès lors en position de force pour capter une part importante des marges opérationnelles « partout où l'on peut dématérialiser ou ré-intermédiaire » <sup>(6)</sup>. Ce mouvement est déjà en cours dans le secteur de la maintenance industrielle, où des opérateurs de plateformes numériques cherchent à capter la relation entre les fabricants d'équipements et leurs clients.

Qui dit intermédiation suppose l'utilisation de données directement issues de la production. Il ne s'agit plus seulement de vendre une machine ou un produit, mais aussi de vendre un service calibré à partir de données fournies par l'utilisateur lui-même. L'utilisateur passe ainsi du statut de consommateur passif à celui de client-entrepreneur en prise directe avec le fabricant durant aussi bien la phase de conception du produit que celle de suivi de la fabrication, de la livraison puis de la maintenance. A travers le flux de données dans les deux sens entre fabricant et client-utilisateur, le lien est désormais continu.

En Allemagne où l'industrie mécanique constitue la colonne vertébrale du système productif, ces évolutions conduisent à des innovations de rupture, à des risques de disruption dans la chaîne de valeur ou à un basculement de création de valeur de la fabrication vers les services. Elles sont de nature à faire vaciller un colosse aux pieds d'acier. La prise de conscience aigüe de ce danger par L'État fédéral allemand a provoqué dès 2006 une remise en cause de la stratégie de développement des hautes technologies. Créer les conditions d'une hybridation entre industries mécaniques et technologies de l'information et de la communication est devenu un enjeu de préservation du leadership industriel allemand.

## Une révolution invisible ?

Dès 2009, la diffusion du numérique dans l'industrie est abordée comme un changement de paradigme économique et social. La rationalisation des flux de production

et l'automatisation demeurent un impératif, néanmoins la compétition sur les coûts au cœur de la révolution 3.0 touche à ses limites. Le défi à relever implique plusieurs changements majeurs : la capacité à fabriquer des biens personnalisés qui suppose de passer d'une commande numérique centralisée à un pilotage décentralisé de la production, et la conception de services permettant de se différencier. Ces enjeux demandent de maîtriser tous les niveaux d'interaction en temps réel : opérateur, machine, produit et client.

Le mouvement de transformation impulsé à l'échelle nationale paraît aujourd'hui d'une ampleur saisissante. Pourtant, les transformations induites par le « 4.0 » ne sont pas forcément visibles. En effet, elles sont faites de codes et d'algorithmes qui permettent de mettre en place des systèmes de production cyber-physiques.

Si nous nous plaçons devant le démonstrateur allemand de l'émblématique Smart Factory de Kaiserslautern, exposé à la Foire de Hanovre, qu'observons-nous ? Il s'agit d'installations modulaires fonctionnant en mode *plug and work* <sup>(7)</sup>. Un produit est fabriqué par passages successifs sur des modules conçus par des fabricants différents, voire concurrents (Bosch Rexroth, IBM, Cisco, Festo, Pilz, Phoenix Contact, Harting, Lappkabel...).

Tous ces modules sont dotés de composantes capables de décrypter en temps réel les informations transmises par le produit à partir d'une puce RFID contenant les spécificités de sa fabrication et adaptant le réglage des machines en conséquence.

Le démonstrateur n'a en soi rien de spectaculaire, ni de secret. Chacun peut prendre des photos.

Le spectaculaire réside dans l'interopérabilité de ces machines construites par différents fabricants. C'est l'expérimentation collective en amont de la fabrication du produit qui a permis d'agréger ces expertises souvent concurrentes.

Ce n'est donc pas ce qui est produit qui est spectaculaire, mais la manière dont il est produit grâce à l'apprentissage de processus collectifs de conception et de fabrication.

Nous sommes frappés par le nombre des acteurs impliqués dans ce projet de démonstrateur. « Expérimenter ensemble » est un mot d'ordre qui a su trouver des traductions très concrètes parmi les industriels, les chercheurs, les universitaires et les organisations syndicales.

Le démonstrateur apporte la preuve d'un partage de ressources et d'une nouvelle conception du processus d'innovation qui fait tomber les murs entre les différentes en-

(4) Acatech, "Smart Service Welt. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt", Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft, mars 2015, p. 58.

(5) PwC, "Industrie 4.0. Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution", octobre 2014, p. 25.

(6) Bpifrance, « Le Lab », Le numérique déroutant, 2015, pp. 23-26.

(7) Cette expression signifie qu'à l'image d'une clé USB reconnue automatiquement par l'ordinateur, un nouveau module de fabrication est automatiquement reconnu lorsqu'il est connecté à une chaîne de production, et que celle-ci s'adapte en conséquence.

Photo © Dorothee Kohler



Le démonstrateur Smart Factory KL à la Foire de Hanovre en 2015.

treprises, décloisonne les savoir-faire et amène à révisiter les conditions de propriété industrielle. Le démonstrateur illustre la capacité à créer un leadership collectif en s'appuyant sur les métiers des différentes parties prenantes.

Le développement de ces collectifs réunissant donneurs d'ordres, fournisseurs et éditeurs de logiciels et la mutualisation des tests mécaniques bénéficiant notamment de l'appui des Instituts Fraunhofer sont parmi les réalisations qui nous ont le plus frappés au cours de notre travail de terrain en Allemagne.

### L'émergence de nouveaux collectifs d'expérimentation industrielle

La quatrième révolution industrielle vient aujourd'hui rebattre les cartes des déterminants de la compétitivité. Au-delà de la compétitivité coût et de la compétitivité hors-prix, elle permet l'émergence d'une troisième forme de compétitivité : la compétitivité relationnelle.

Cette compétitivité relationnelle est fondée sur des modes d'interaction spécifiques entre acteurs économiques, et ce, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la chaîne de valeur : relations avec les concurrents, avec les fournisseurs, avec les communautés de clients, relations avec des partenaires de développement (des entreprises autres, des instituts de recherche, des universités, des start-up...). L'écosystème ne fait plus partie des aménités : il est dorénavant considéré comme une des composantes clés de la chaîne de création de valeur.

Ainsi, face aux coûts et aux délais nécessaires pour internaliser des compétences dans les TIC, de nombreux chefs d'entreprise optent pour une nouvelle stratégie de

partenariat – qui les amène parfois à faire d'un concurrent, un allié !

Pour numériser son offre, une PME spécialisée dans les équipements de logistique interne va s'allier à une ETI spécialisée dans la connectique. D'autres décident de construire leur propre start-up, à l'image de l'entreprise Trumpf, connue pour ses machines de découpe laser. Lancée fin 2015, la plateforme d'applications industrielles Axoom est une émanation de Trumpf. Elle a vocation à offrir un bouquet d'applications industrielles provenant d'opérateurs concurrents. Elle propose une solution servicielle complète à des clients industriels. L'injonction « expérimenter ensemble » ne se limite donc pas aux seuls démonstrateurs technologiques, elle investit également le champ des nouveaux modèles d'affaires.

Au cours des 60 interviews que nous avons menées en Allemagne en 2015, l'ensemble de nos interlocuteurs ont ainsi insisté sur les enjeux suivants :

- normer le champ des nouveaux métiers hybrides entre le monde de l'intelligence humaine et celui de l'intelligence artificielle et définir une nouvelle organisation du travail,
- attirer les meilleurs talents dans les TIC,
- définir rapidement de nouvelles normes et de nouveaux standards en prenant en compte les enjeux de cybersécurité,
- accepter la vulnérabilité de modèles d'affaires centraires,
- enfin, nouer des alliances stratégiques entre pays, entre branches et entre entreprises de différentes tailles.

Ce dernier enjeu est crucial : les entreprises du *Mittelstand* anticipent déjà la montée en puissance de cette compé-

titivité relationnelle : selon une étude de 2015, elles estiment que l'Industrie 4.0 les amènera à coopérer d'ici 5 à 10 ans avec plus de 70 nouveaux partenaires <sup>(8)</sup> !

Ce n'est donc pas le moindre des paradoxes de cette révolution numérique que d'imposer un renforcement des coopérations, des relations et des interactions humaines – alors même que les outils numériques cherchent précisément à supprimer les intermédiaires !

### L'usine LEGO : nouvelles réalités industrielles

Dans les démonstrateurs 4.0, le produit et ses paramètres contenus dans une puce RFID définissent le scénario industriel à jouer. Le produit se fabrique à la fois dans l'espace physique et dans l'espace électronique.

Un prérequis pour la mise en place de SCP dans la production est la compatibilité et l'interopérabilité des systèmes qui imposent la définition de standards de communication communs entre machines.

Une fois interconnectés, les systèmes communiquent les uns avec les autres et sont en mesure de s'autoréguler en l'absence de toute commande centrale.

L'usine devient une entité flexible dont les lignes de production sont agencées en fonction des spécificités des

commandes grâce à des fonctions de *plug and work* ou de *plug and produce* (ajouts ou retrait de modules).

Enfin, un modèle virtuel de l'usine sert non seulement à tester les différentes configurations des modules de la chaîne de production, mais aussi à simuler l'ensemble du processus de production et à piloter le cycle de vie du produit. Cela permet, avant même d'avoir enclenché la production, d'optimiser les différentes variables jugées critiques (consommation d'énergie, ergonomie, résistance des matériaux,...).

L'entreprise allemande Trumpf, un fabricant de machines-outils qui participe depuis le début aux travaux de la Plateforme Industrie 4.0 <sup>(9)</sup>, a schématisé les étapes du passage de l'Industrie 1.0 à l'Industrie 4.0, lesquelles sont illustrées dans le tableau 1.

(8) BMWi, "Industrie 4.0. Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm", AUTONOMIK für Industrie 4.0, 2015, 56 p.

(9) Créée en 2013 suite aux recommandations du groupe de travail sur l'Industrie 4.0, la première plateforme Industrie 4.0 était pilotée par les trois fédérations professionnelles VDMA (industrie mécanique), ZVEI (industries électriques et électrotechniques) et Bitkom (TIC) et composée de 6 groupes de travail (normes et standards, modèles d'affaires, cybersécurité, avenir du travail, cadre juridique et innovation).

L'industrie 4.0 vue par l'entreprise Trumpf

	Hier Industrie 1.0 et 2.0	Aujourd'hui Industrie 3.0	Demain Industrie 4.0
Supersystème	<p><b>Communication analogique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marchés nationaux</li> <li>- Gros calculateurs</li> </ul>	<p><b>Internet et Intranet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marchés à l'export</li> <li>- PC</li> </ul>	<p><b>Internet des objets</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marchés localisés</li> <li>- Mobile &amp; Cloud Computing</li> </ul>
Système	<p><b>Néo-taylorisme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Production avec stocks</li> <li>- Tâche d'exécution</li> <li>- Organisation avec contremaître</li> </ul>	<p><b>Lean Production</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Production <i>just in time</i></li> <li>- Orientation <i>process</i></li> <li>- Team-Organisation</li> </ul>	<p><b>Smart Factory</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Production individualisée</li> <li>- Production résiliente</li> <li>- Réalité augmentée pour l'opérateur</li> </ul>
Sous-système	<p><b>Mécanisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Machines conventionnelles</li> <li>- Plans de travail</li> <li>- Planches à dessin</li> <li>- Volants de commande</li> </ul>	<p><b>Automatisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Machine-outil à commande numérique</li> <li>- ERP/MES</li> <li>- 3D-CAD/CAD-CAM</li> <li>- Pupitre de commande</li> </ul>	<p><b>Virtualisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Social Machines</i></li> <li>- <i>Virtual Production</i></li> <li>- <i>Smart Products</i></li> <li>- Systèmes mobiles de communication</li> </ul>

Tableau 1 : L'industrie 4.0 vue par l'entreprise Trumpf.

Source : ©Société Trumpf dans le rapport final sur Industrie 4.0, octobre 2012, p. 12. Traduction de KOHLER C&C.

Contrairement à certaines croyances, l'industrie 4.0 ne correspond pas à une extension du champ d'application du *lean manufacturing*. Elle propose une autre manière d'organiser le temps et l'espace de la production et du travail. Il s'agit moins d'une rationalisation plus poussée des tâches d'exécution que d'une adaptabilité des chaînes de production à la série de taille 1 et d'une synchronisation en temps réel des *process* de production et de la *supply chain* sans compter la capacité à capturer et exploiter dans le même temps les flux de données d'usage. Elle implique la conception de nouvelles interactions qui architecturent dorénavant toute la chaîne de valeur en partant du client.

La transmission instantanée d'informations devenant la clef de voûte de tout le système, on peut imaginer que là où l'emportait la capacité analytique à segmenter, à hiérarchiser et à réduire la complexité, ce seront dorénavant les compétences de résolution de problèmes en temps réel à une échelle très fine, l'aptitude à faire converger les savoir-faire de différents métiers et à coupler les dimensions réelles et virtuelles qui primeront.

La rationalisation des flux cède ainsi la place à une interconnexion entre les flux et aux interactions entre les machines, les produits et les hommes.

L'utilisation de *smartphones* pour gérer à distance la production, le suivi de chaque pièce *via* des systèmes de géolocalisation et la diffusion des techniques de réalité augmentée dans les opérations de production ou de *supply chain* démultiplient l'espace industriel au-delà des emprises physiques de l'entreprise. Cela pose la question clé de la réorganisation du travail dans l'entreprise physique et virtuelle et de l'évolution du contrat de travail, des compétences métier, de l'apprentissage, des processus de décision et de contrôle et des modes de régulation entre les différentes parties prenantes. En Allemagne, l'État, les syndicats et les industriels en ont fait un thème à part entière au sein de la Plateforme Industrie 4.0, sous l'intitulé : « Avenir du travail » (*Zukunft der Arbeit*)<sup>(10)</sup>.

En matière de recherche, il serait pertinent de développer une approche qui combine l'analyse de l'impact du numérique sur l'espace urbain et celle de son impact sur l'espace industriel. Les thèses développées par Antoine Picon sur la ville numérique (*smart city*) donnent de précieuses clés de lecture, qui peuvent être transposées à l'espace industriel : « On passe progressivement d'une ville de flux et de réseaux à une ville d'occurrences, de situations et de scénarios [...]. Dans la ville numérique, on peut enregistrer de plus en plus de traces de ce qui arrive. À partir de cela, on peut se représenter des situations plus globales, construire des modèles et extrapoler des scénarios [...]. Les *big data* sont d'ailleurs généralement constitués de quantités massives d'enregistrements de traces ou de choses qui se sont passées [...]. On a donc la possibilité de construire des modèles : c'est là le grand vertige des *big data*... »<sup>(11)</sup>.

Nous pouvons faire l'hypothèse qu'une entreprise centenaire dont la vie est rythmée et absorbée par des exercices budgétaires, le lancement de campagnes de réduction de coûts, des vagues répétées d'*outsourcing* de fonctions

considérées comme ne faisant pas partie du cœur de métier (« *non-core* »), avec une innovation réduite, une faible intensité de design, une veille concurrentielle ponctuelle et une relation client distendue sera fortement menacée dans ce nouvel environnement. La performance de l'entreprise va de plus en plus dépendre de la qualité des interactions avec les différentes communautés de clients, de la capacité à anticiper les disruptions et à redéfinir le positionnement de son modèle d'affaires.

## Industrie 4.0 : un changement de paradigme industriel

De nouveaux régimes de pouvoir s'inscrivent dans les espaces industriels et politiques : celui des GAFAs (Google, Apple, Facebook et Amazon), celui des *global players*, celui de plateformes disruptives et, enfin, celui de nouvelles communautés qui bénéficient pleinement et instantanément des effets de réseau.

L'exemple allemand a l'intérêt de montrer que la transformation numérique ne consiste pas en des opérations d'innovation incrémentale sur l'outil de production. Il ne s'agit pas de changer une propriété de l'installation concernée ou de se focaliser encore plus sur des outils de type ERP (*Enterprise Resource Planning*) ou MES (*Manufacturing Execution System*) dont on attend qu'ils apportent la clé à tous les problèmes de gestion synchronisée des flux dans l'entreprise.

C'est la structure du système, à savoir l'architecture de sa chaîne de valeur et son *business model* qui sont questionnés.

La distinction faite par les théoriciens de l'École de Palo Alto entre changement de type 1 et changement de type 2 nous semble très éclairante pour caractériser l'approche allemande<sup>(12)</sup>.

Les changements de type 1 se traduisent par des adaptations et des efforts déployés dans le but de maintenir l'équilibre du système existant en respectant les normes en vigueur. L'excellence opérationnelle, le *lean management* et le *lean manufacturing* entrent dans ce cadre.

Un changement de type 2 modifie, quant à lui, le système lui-même. Il implique une transformation des règles du jeu, des processus, des modes de régulation et des organisations, et il provoque de ce fait des interactions de nature différente. Il aboutit à un changement de normes au niveau du système, il implique de nouvelles mentalités et de nouveaux comportements. Cela signe l'émergence d'un nouveau paradigme.

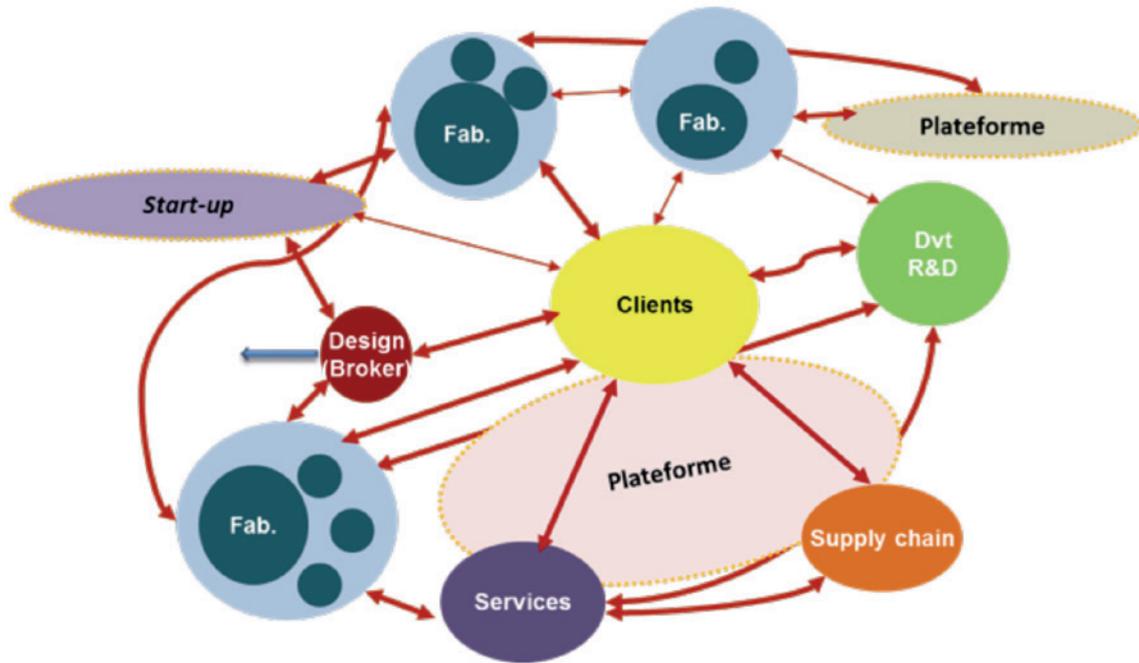
(10) KOHLER (Dorothee) et WEISZ (Jean-Daniel), Industrie 4.0. Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand, Paris, La Documentation Française, 2016, pp. 65-84.

(11) PICON (Antoine), conférence « Le numérique changera-t-il la ville ? », 2015 :

[http://www.club-ville-amenagement.org/\\_upload/ressources/productions/5a7/2015/cr\\_cva\\_\\_5a7\\_numerique\\_a.picon\\_241115.pdf](http://www.club-ville-amenagement.org/_upload/ressources/productions/5a7/2015/cr_cva__5a7_numerique_a.picon_241115.pdf)

(12) WATZLAWICK (Paul), WEAHLAND (John) & FISCH (Richard), Changements. Paradoxes et psychothérapie, Paris, Éditions du Seuil, 1975, p. 28.

Quelle sera, demain, la constellation organisationnelle de mon *business model* ?



Conception : © Dorothee Kohler et Jean-Daniel Weisz 2016 - KOHLER Consulting & Coaching, d'après : © Kagermann (H.), *Impuls – Zukunftsbild Industrie 4.0*, BITKOM Kick-Off « Industrie 4.0 », Berlin, 9 janvier 2013.

Contrairement aux révolutions industrielles précédentes, le caractère proprement révolutionnaire de l'industrie 4.0 ne provient pas d'une rupture technologique, mais davantage de l'ajout d'une brique technologique transversale qui interconnecte et synchronise les différents systèmes de production les uns avec les autres, quelle que soit leur localisation géographique. C'est la raison pour laquelle cette révolution est, par essence, systémique, voire interactionnelle. C'est un nouveau langage qui s'invente entre les machines, entre les hommes et les machines, entre les produits, entre les services et les machines.

Dès lors, c'est le ciment même de l'organisation qui est remis en question. Certaines fonctions qui concernent le *design* et les tâches de conception ou de production peuvent être confiées à des partenaires. A titre d'exemple, dans la construction automobile, les portières des Audi A6 fabriquées à Neckarsulm sont démontées des caisses de ces véhicules et sont envoyées à quelques kilomètres de là pour être équipées par un opérateur logistique (DHL, en l'occurrence) avant de revenir pour être refixées sur la voiture en bout de chaîne. Le constructeur Audi profite des compétences logistiques de DHL pour l'approvisionnement des multiples pièces à installer sur les portières, mais il bénéficie également du différentiel favorable que lui procure sur le plan salarial l'application de la convention collective de la logistique.

L'usine intégrée peut ainsi être éclatée en de multiples sites de plus petite taille, qui sont reliés en temps réel avec l'usine-mère. D'autres activités sont confiées à des acteurs de plateformes. Une activité de maintenance, par

exemple, restera-t-elle internalisée dans l'entreprise ou bien sera-t-elle confiée à une plateforme permettant de gérer ses machines en réseau grâce à des applications dédiées et de faire appel à des techniciens de maintenance *freelance* ?

Au-delà du seul périmètre de l'entreprise, les chaînes de valeur de chaque entité tendent à s'interconnecter les unes avec les autres. Le client peut ainsi suivre en temps réel, chez son fournisseur, l'état d'avancement de la production des pièces qui lui sont destinées.

Ce monde de l'industrie 4.0 apparaît encore à certains comme un rêve, une vision proche de la science-fiction qui tranche avec celle française de l'Industrie du futur, qui est, quant à elle, davantage centrée sur des projets nationaux impulsés et pilotés par de grands groupes et sur le monde foisonnant des objets connectés bénéficiant du dynamisme des start-up françaises.

Les Allemands assument une vision davantage industria-lo-futuriste qui est en cohérence avec les caractéristiques de leur système productif et avec les défis de sa transformation numérique.

Dès lors, organiser la transversalité entre filières en s'affranchissant tant des limites physiques des machines que des limites conceptuelles entre disciplines devient un enjeu central pour les acteurs de cette quatrième révolution industrielle.

Les changements de l'Industrie 4.0, qui sont de type 2, nous imposent de changer notre vision du monde et d'impulser une transformation à la fois sociétale et culturelle.

# Le plan français « Industrie du futur »

Par Pascal FAURE

Directeur Général de la Direction Générale des Entreprises

et Philippe DARMAYAN

Arcelor-Mittal, Président de l'Alliance Industrie du futur

L'intérêt de la numérisation de l'industrie fait désormais consensus. C'est une condition nécessaire de survie et de reconquête de l'industrie française, c'est un impératif pour sa compétitivité, pour développer l'emploi par une activité économique forte, innovante et capable de se mesurer avec les plus grandes économies mondiales.

L'enjeu est désormais de faire en sorte que l'ensemble des secteurs de l'industrie et des services, grâce à leur diversité, notamment au sein du tissu des PME/ETI, et grâce à la qualité de leurs compétences, puisse intégrer cette numérisation en profondeur, afin d'en tirer tous les bénéfices. Le programme français Industrie du futur vise à mettre en œuvre cette ambition. Il a fêté son premier anniversaire à l'Élysée le 23 mai dernier. Zoom sur un programme phare de la politique industrielle française.

## Un grand défi pour redresser l'industrie

Depuis 15 ans, la situation de l'industrie française s'est fortement dégradée : le poids de l'industrie manufacturière dans le PIB national s'est réduit de 20 % en 1980 à 11,3 % en 2014, tandis que l'Allemagne caracolait à 22,6 %, proportion quasi stable. La production industrielle reste inférieure de 11 % à celle de 2008, avant la crise. Tandis que l'investissement productif stagnait jusqu'au CICE, induisant une obsolescence progressive du parc industriel (l'âge moyen des équipements industriels est de 19 ans en France contre 9 ans en Allemagne), l'emploi industriel s'est replié de 330.000 postes depuis 2008 et la part de marché de la France à l'export s'est réduite à 12 % de l'export de l'UE (16 % en 1995).

Des plans de redressement ont bien sûr été menés. Le pacte de responsabilité a notamment permis d'alléger les charges pour les entreprises et de développer l'investissement, conduisant ainsi au progrès de certains indicateurs de compétitivité : coût du travail stabilisé, taux de marge de l'industrie à 36,5 % au premier trimestre de 2016 contre 32 % en 2013, effort de recherche comparable en intensité à celui des entreprises allemandes ...

## De nouvelles réponses à apporter à l'industrie

Pourtant, si ces efforts en termes de compétitivité-coût sont essentiels, ils ne sont pas apparus suffisants au regard des transformations extrêmement fortes actuellement à l'œuvre dans l'industrie, qu'il s'agisse de demande ou d'offre. Pour la demande, l'émergence du numérique, l'évolution vers une économie plus sobre en ressources, l'urbanisation, la

mondialisation, le vieillissement ont en effet modifié profondément les attentes des consommateurs.

Pour l'offre industrielle, la maturité désormais de certaines technologies numériques est une véritable opportunité. Ces technologies sont susceptibles d'agir comme des leviers de transformation particulièrement efficaces pour répondre aux défis posés. La fabrication additive libère la créativité de concepteurs de pièces, l'internet des objets permet aux machines de l'usine de dialoguer entre elles, la cobotique diminue la pénibilité des tâches, la réalité virtuelle forme les opérateurs à des situations nouvelles ...

Les défis sociétaux à relever et les nouvelles technologies issues du numérique entraînent de fait de profonds bouleversements des filières industrielles : en intensifiant la concurrence, en faisant de l'innovation et de l'adaptabilité des facteurs clés de performance, en créant via des plateformes des économies d'échelle et des effets réseau à un niveau jusqu'ici inconnu, et en révolutionnant les métiers, ces transformations exigent des réponses collectives qui ne se situent pas simplement dans l'ajustement du paramétrage macro-économique.

## L'Industrie du futur, au croisement du double défi du rebond industriel et de la transformation numérique

Ce double défi de la lutte contre le déclin industriel et de la transformation numérique a donc conduit de nombreux pays à prendre des initiatives structurantes pour répondre à ces enjeux. Les implications sociétales, réglementaires ou diplomatiques étant particulièrement prégnantes, ce sont les Etats eux-mêmes qui, dans de nombreux cas, ont pris l'initiative, main dans la main avec les industriels.

La France s'est lancée dès 2013. Plus ou moins au même moment, l'Allemagne (avec le programme Industrie 4.0), l'Italie, le Royaume-Uni, le Japon, la Chine ou les États-Unis se sont tous emparés de la question. Preuve d'un engouement non feint, la question a même été à l'ordre du jour du dernier G20 qui s'est tenu à Hangzhou le 4 septembre 2016.

Pour tous ces pays, il était devenu évident que des industries fortes, modernisées et exportatrices pouvaient faire bénéficier à leurs économies souvent moroses d'un effet d'entraînement appréciable. Ainsi, pesant à peine 12 % de l'emploi français, l'industrie française assure en effet 50 % de la productivité nationale et représente 74 % de l'export. En outre ses innovations, notamment numériques, percolent elles-mêmes sur les services et l'amélioration souhaitable de leur productivité. Ces effets de levier montrent combien il était devenu essentiel de se remobiliser autour des grands défis d'avenir.

### **Un plan Industrie du futur qui s'est structuré progressivement : numériser, former, normer, internationaliser**

Le plan français Usine du futur est donc né au mois de septembre 2013 avec l'ambition d'unir les forces productives autour d'une politique industrielle centrée sur le potentiel permis par les nouvelles technologies.

Ce plan était alors le 34<sup>ème</sup> plan parmi les 34 plans de la Nouvelle France Industrielle. Contrairement aux autres plans centrés sur des objets (TGV du futur, dispositifs médicaux, satellite à propulsion électrique, textiles intelligents...), le plan Usine du futur était un plan un peu particulier : il avait vocation à être extrêmement transversal et à irriguer l'ensemble des secteurs industriels.

Si ce programme Usine du futur était principalement centré sur la modernisation des sites de production, il est apparu assez rapidement qu'il était indispensable d'intégrer une forte dimension numérique dans les travaux et de mieux s'adresser aux PME.

C'est le sens de la phase 2 du programme, avec le lancement, sous l'impulsion du ministre de l'économie, de l'industrie et du numérique, du plan Industrie du futur par le Président de la République le 14 avril 2015 qui capitalisait sur les acquis du plan Usine du Futur. Ce nouveau programme, dont l'objectif est « *d'amener chaque entreprise à moderniser son outil industriel et à transformer son modèle d'affaires par le numérique* », a notamment permis de mieux ancrer les sujets de la formation, de la normalisation et de l'international dans la démarche. Ces trois enjeux sont des enjeux essentiels et leur ancrage dans la démarche Industrie du futur était devenu indispensable.

### **Une démarche innovante dans le travail partenarial**

Le programme Industrie du futur est en tant que tel une démarche innovante dans son fonctionnement. Le programme se veut un programme ouvert, qui se concrétise par la création de l'Alliance Industrie du Futur, fondée par les acteurs industriels eux-mêmes.

Cette association régie par la loi de 1901 réunit tous les acteurs souhaitant s'engager dans cette démarche collective : industriels, syndicats, fédérations, organisations professionnelles, centres de recherche technologique (CEA, CETIM) et académiques (Arts et Métiers Paristech et Institut Mines-Télécom) ... L'Alliance s'élargit d'ailleurs chaque jour à de nouveaux acteurs et associe également le Conseil National de l'Industrie, les pôles de compétitivité et les organisations syndicales à ses travaux.

Ce caractère collectif du programme est un critère de réussite essentiel pour passer à l'échelle, démultiplier les efforts sur les territoires et aboutir au succès du projet Industrie du futur. Mais l'Alliance reste une structure légère qui n'a pas vocation à se substituer à ses membres : elle doit d'abord leur permettre de se retrouver, de se coordonner et de mettre des moyens en commun. L'Alliance est ainsi un vecteur puissant pour concilier les attentes des uns et des autres et dégager des consensus opérationnels, qui sont attendus sur le terrain.

L'Etat et les Conseils régionaux jouent également un rôle actif au sein du programme Industrie du futur. Le ministre préside d'ailleurs un comité de pilotage plusieurs fois par an pour évaluer l'avancement du projet et en fixer les principales orientations.

Le lien étroit qui a été tissé entre la sphère publique et la sphère privée, comme en témoigne la co-rédaction de cet article, peut paraître surprenant. Après tout, pourquoi les entreprises auraient-elles besoin de l'Etat et des collectivités pour franchir le pas du numérique ? Pourtant, le rôle de la sphère publique est essentiel : qu'il s'agisse de normalisation, de formation, de partenariats internationaux, d'aides à la R&D, il est apparu indispensable que l'Etat, ses opérateurs et les collectivités se familiarisent avec les besoins des entreprises pour apporter la meilleure réponse possible.

Le plan français Industrie du futur est ainsi l'un des rares exemples de projet collectif associant Etat, Conseils régionaux, partenaires sociaux, acteurs économiques et universitaires. L'enthousiasme des acteurs est impressionnant et ne se dément pas. Le thème de l'Industrie du futur, bien qu'a priori perçu comme très large – sinon très vague – reçoit un accueil très favorable des entrepreneurs et des pouvoirs publics qui perçoivent très bien le besoin de la remise en cause.

### **Un projet complexe qui associe cinq dimensions**

Le projet Industrie du futur a été globalement structuré autour de cinq piliers, lesquels se déclinent ensuite, comme nous allons le voir, en chantiers opérationnels très concrets et en travaux collectifs sur les priorités identifiées.

Les deux premiers piliers du projet sont les piliers historiques du projet Usine du futur : la R&D, grâce à la mise en œuvre d'importants moyens, et le déploiement régional, en lien avec les programmes déployés par les Conseils régionaux.

Trois autres piliers n'étaient pas vraiment intégrés au sein de la démarche Usine du futur (même s'ils n'étaient pas absents du dispositif) et ont fortement gagné en ampleur

et en résonance en étant inscrits formellement dans la seconde phase. Il s'agit des ressources humaines, de la coopération internationale et de la communication.

### Le développement de l'offre technologique

La création d'une offre française de l'Industrie du futur et sa diffusion dans l'ensemble du tissu économique est le premier pilier du programme. Il s'agit de rester à la frontière technologique des industries du futur et de valoriser les technologies appropriées dans l'ensemble du tissu économique.

Sept champs technologiques ont été privilégiés en cohérence avec leur impact sur le monde économique. Il s'agit de la fabrication additive, de la robotique, de la numérisation des chaînes de production, des technologies de monitoring, des nouveaux matériaux, des co-technologies (cobotique, réalité augmentée ...) et de l'efficacité énergétique.

Cela se concrétise d'abord par le soutien à des projets industriels par le biais d'appels à projets mobilisant de l'aide publique (notamment au sein du programme d'investissements d'avenir (PIA), dont les outils ont été adaptés aux enjeux de l'industrie du futur). Ainsi, 240 projets de R&D ont été lancés depuis 2013 et 100 M€ d'aide publique ont été dégagés dans le cadre du récent appel à projets « Industrie du futur ». La plateforme Factory Lab portée à Saclay par le CEA avec des industriels comme DCNS, Safran ou Peugeot est un exemple de projet soutenu dans ce cadre : basée autour de démonstrateurs, la plateforme permettra l'expérimentation de technologies de procédés industriels par des grands groupes, des PME ou des laboratoires académiques.

Cela passe également par une action au niveau du collectif : rassembler l'ensemble des acteurs présents dans les domaines prioritaires pour établir une feuille de route de développement (programme de R&D, normalisation, référentiel de compétences et de formations) et une cartographie de l'offre française. D'ici à fin 2016, la feuille de route sur la fabrication additive devrait ainsi avoir abouti ainsi qu'un premier catalogue de l'offre française, fruits d'un important travail collectif.

### L'organisation d'une diffusion large aux PME et ETI dans les régions

L'objectif du plan Industrie du futur est que toute entreprise en France puisse être accompagnée de façon personnalisée dans sa modernisation et sa transformation. C'est le second pilier du projet.

Des programmes ont été mis en place depuis mai 2015 dans la totalité des régions avec pour objectif d'accompagner 2 000 PMI et ETI d'ici fin 2016, sur la base d'un budget global de 200 M€ (objectif atteint en avance dès l'été 2016). Les entreprises concernées bénéficient de diagnostics personnalisés réalisés par des experts de l'Industrie du futur et financés principalement par les Conseils régionaux. Cet accompagnement, enrichi par les apports techniques et méthodologiques de l'Alliance et des services de l'Etat (DIRECCTE), permet aux chefs d'entreprises de mieux connaître les technologies dispo-

nibles, d'identifier les verrous (humain, organisation, compétences, financement) limitant l'accès à ces innovations et de repenser leur modèle économique.

Les projets issus de ces diagnostics peuvent bénéficier de prêts de Bpifrance et des dispositifs fiscaux d'aide à l'investissement. 719 M€ de prêts Industrie du futur ont déjà été distribués en septembre 2016 sur une enveloppe disponible de 2,5 Md€. Par ailleurs la mesure de suramortissement fiscal des dépenses liées à l'investissement apporte aux entreprises une réduction fiscale d'environ 13 % de la valeur des investissements productifs réalisés depuis avril 2015.

150 exemples concrets de déploiement de l'Industrie du futur figurent sur le site Internet de l'Alliance Industrie du futur. De même l'Alliance accorde un label aux projets les plus réussis. Communiquer ces cas concrets est en effet fondamental pour illustrer le changement et permettre aux chefs d'entreprise de se projeter concrètement dans leur projet de transformation.

### L'évolution des situations de travail et leur impact sur la formation des salariés

Assurer la montée en compétence des salariés de l'industrie vers les nouveaux métiers est le troisième pilier du programme Industrie du futur. L'objectif est de construire une vision prospective dans une démarche collective avec les partenaires sociaux, les organismes de formation et les acteurs de terrain <sup>(1)</sup>.

La formation aux nouveaux métiers constitue en effet la première condition du succès de l'Industrie du Futur. Elle accompagne la présence accrue du numérique et de la robotisation dans l'entreprise et cela concerne autant la formation initiale que la formation continue. C'est un enjeu essentiel dans le programme français, en lien notamment avec les partenaires sociaux.

Concrètement, en mars 2016 a été lancé pour 18 mois un projet « Osons l'Industrie » à l'initiative du Conseil National de l'Industrie et de l'Alliance. Ce projet vise à analyser différents types de projets de transformation, en déduire les conséquences sur l'organisation et les compétences requises, et élaborer des recommandations pour faire évoluer les référentiels de formation. L'objectif est également d'élaborer un portail Internet pour informer les élèves et leurs familles sur les métiers, les formations et les besoins de recrutement de l'industrie du futur.

Plus généralement, pour mettre en place sans tarder dans les territoires une offre de formation qui réponde à temps aux besoins de compétences du tissu industriel, il est essentiel de partager une vision de l'avenir de l'industrie et de ses besoins de compétences avec les acteurs du système éducatif et de la formation continue. Le projet Industrie du futur permet de tels échanges.

(1) Voir l'article d'Isabelle Martin dans les *Annales des Mines* de mai 2016, « Former pour l'inconnu », [http://www.annales.org/ri/2016/ri\\_mai\\_2016.html](http://www.annales.org/ri/2016/ri_mai_2016.html).

## Le renforcement de la coopération européenne et internationale

Le quatrième pilier concerne la coopération internationale. L'objectif est de nouer des partenariats stratégiques aux niveaux européen et international.

La plupart des pays industrialisés et la Commission Européenne ont lancé des programmes pour promouvoir les nouvelles technologies dans l'industrie. Le projet français Industrie du Futur a donc vocation à s'interfacer avec ces projets pour initier des coopérations avec d'autres pays.

Il s'agit également de mettre en place des alliances stratégiques sur les thématiques de la normalisation, afin de mieux représenter les intérêts français au sein des initiatives européennes ou mondiales. La normalisation est en effet un enjeu clé de l'industrie du futur, qui porte en elle la nécessaire interopérabilité des machines : les instances actuelles de normalisations, qu'il s'agisse du niveau français ou du niveau international (y compris européen), sont en général assez cloisonnées par secteurs industriels et peinent à traiter la transversalité portée par l'Industrie du futur.

Concrètement, des travaux sont menés avec 4 pays : États-Unis, Chine, Royaume-Uni et Allemagne. Des « ambassadeurs » issus des entreprises françaises de l'Alliance ont été définis pour promouvoir des travaux bilatéraux sur l'Industrie du futur.

C'est avec l'Allemagne que la coopération est la plus aboutie, ce qui est compréhensible lorsque l'on sait que la plateforme française a été largement conçue en miroir de son homologue allemand. Le partenariat s'est concrétisé par différentes réunions bilatérales au plus haut niveau et la formalisation le 25 avril 2016 d'un partenariat entre les plateformes « Industrie du futur » et « Industrie 4.0 ». Un plan d'actions commun a été préparé, portant notamment sur une stratégie commune en matière de normalisation et sur un rapprochement entre l'Institut Mines Télécom et la Technische Universität München sur la base d'une académie franco-allemande pour l'Industrie du futur.

## La promotion d'une Industrie du futur à la française

Enfin, la communication est essentielle. L'objectif est de valoriser les travaux menés dans les quatre premiers piliers et de faire connaître l'excellence de l'Industrie du futur à la française. L'intérêt de l'Alliance est ainsi évident : il s'agit de s'unir pour amplifier la notoriété de la marque France à l'international et porter une communication cohérente.

Au-delà d'efforts quotidiens pour diffuser un corpus d'informations extrêmement riches (citons en particulier le guide l'Industrie du futur <sup>(2)</sup>), cette communication s'est notamment cristallisée autour de la marque Creative France Industry qui a été lancée à la foire de Hanovre au printemps dernier en présence des ministres français et allemand. Par ailleurs, le premier salon de l'Industrie du futur aura lieu à Villepinte du 6 au 9 décembre 2016 sur près de 80 000 m<sup>2</sup> : cet événement d'ampleur internationale aura pour objectif d'être le fer de lance de l'Industrie du futur à la française.

## D'importants défis restent à venir pour les prochaines étapes

Poursuivre ces ambitions, les concrétiser par de nouveaux résultats tangibles, les amplifier en associant de nouveaux partenaires à la dynamique sont les principaux défis à venir. Si l'Alliance représentait à sa création environ un million de salariés en comptant les ressortissants de ses adhérents, il reste du chemin à parcourir pour toucher les trois millions de salariés de l'industrie et même au-delà.

Après un an de fonctionnement en mode Industrie du futur, des compléments d'action apparaissent nécessaires pour accélérer les transferts d'expérience d'une entreprise à l'autre. Il conviendra notamment de mieux définir et de partager largement des scénarios-types de création de valeur dans les différents domaines de la vie de l'entreprise.

La réflexion par filière ou par métier devra également être encouragée à l'avenir. Les technologies nouvelles prennent des modalités d'application particulièrement différentes d'une filière à l'autre (par exemple : l'automobile vs l'agro-alimentaire) et nous avons constaté qu'un dialogue entre pairs était une excellente manière de répondre aux attentes spécifiques des industries utilisatrices.

Plus largement, il s'agira de vaincre les réticences des uns et des autres à se lancer dans l'aventure numérique, en intensifiant les échanges d'expérience entre entreprises et en répondant aux craintes soulevées, notamment en matière de sécurité des systèmes d'information.

Il conviendra aussi de se doter d'outils plus précis pour mesurer finement la diffusion de l'Industrie du futur dans le tissu économique. Les indicateurs actuels se limitent à des indicateurs de moyens et peinent à décrire quantitativement les résultats globaux du programme Industrie du futur. Comme tout pilotage de politique publique, la problématique de l'évaluation est cruciale, mais le caractère diffus de la transformation numérique rend difficile la production d'indicateurs fiables.

Enfin, il conviendra bien sûr que ces actions soient complétées par de nouvelles mesures structurelles favorisant l'attractivité industrielle de la France au regard de ces nouveaux défis : soutenir les investissements sous-jacents, améliorer la formation professionnelle, poursuivre l'adaptation du droit (notamment du travail) à ces nouveaux enjeux ...

Cette démarche nourrit de grandes ambitions collectives, des PME aux grands groupes, des salariés aux pouvoirs publics. Réussir ce plan demandera du temps, de la continuité dans l'action et une forte volonté. 2017 sera probablement une échéance importante pour le programme Industrie du futur. Nous espérons que le consensus dégagé autour de ce programme, celui d'une France dotée d'une activité économique forte, innovante et capable de se mesurer avec les plus grandes économies mondiales, permettra d'assurer sa pérennité et son amplification.

(2) <http://industriedufutur.fim.net/#consulter>

# Comment promouvoir la modernisation des PME ?

Par François PELLERIN

Animateur du projet « Usine du futur », région Nouvelle-Aquitaine

Les PMI françaises ont accumulé un retard considérable par rapport à celles de nos voisins non seulement en termes de technologie (vieillesse de l'outil de production, faible taux de robotisation, d'automatisation et de transformation numérique), mais aussi en termes d'organisation industrielle et de management. Le déploiement par les régions d'une politique massive de soutien est donc apparu indispensable. L'objectif de cette politique est d'accompagner les PMI dans leur transformation, mais aussi de développer un écosystème régional qui y soit favorable. Deux ans et demi après son lancement, 290 PME et ETI bénéficient déjà d'un accompagnement dans le cadre du programme Usine du futur mis en place par la région Nouvelle-Aquitaine : nous exposons, dans cet article, les premières leçons qui ont pu être tirées de cette aventure.

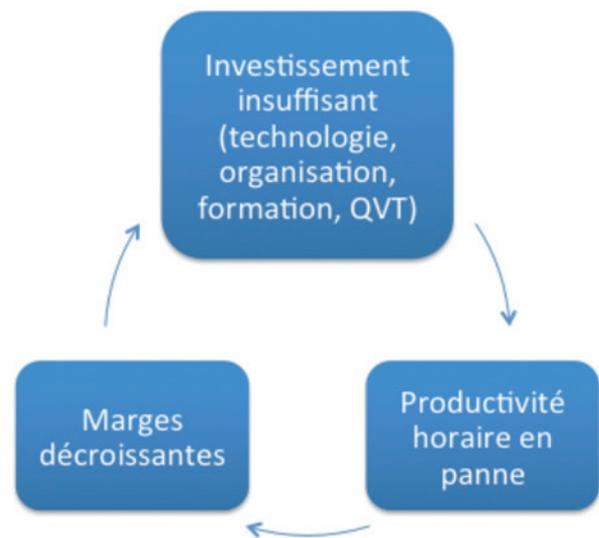
**U**sine du futur, Industrie du futur, Industrie 4.0, *Factory of the Future* : la presse regorge de ces nouveaux concepts. Il s'agit ici de déployer l'usine numérique et connectée de demain, avec la promesse d'une production agile, flexible et économe en énergie.

Parmi toutes les dénominations précitées, nous avons adopté celle d'« Usine du futur » pour sa connotation territoriale, incarnée et concrètement localisée, et aussi parce qu'elle prend pleinement en compte la place éminente qu'y occupe l'Homme.

## L'état des lieux en 2012 et la mise en place du Plan Usine du futur Aquitain

À l'automne 2012, le rapport Gallois <sup>(1)</sup> fait un diagnostic (largement partagé) sur la compétitivité de l'industrie française, et en particulier de ses PMI et ETI : celles-ci sont prises en tenaille entre les pays à forte montée en gamme et les pays émergents à bas coûts. L'érosion de leurs marges ne leur a pas permis d'investir massivement dans l'innovation, la rénovation de leur outil de production et la formation de leur personnel... Or, ce sont là les clés de la reconstitution, à terme, de leurs marges. Un cercle vicieux est donc à l'œuvre qu'il nous faut rompre.

L'approche du gouvernement, à la suite de la présentation de ce rapport, est centrée sur la restauration des marges des entreprises grâce à un crédit d'impôt (le Crédit d'impôt pour la compétitivité et l'emploi - CICE) de 20 milliards d'euros. L'objectif est en effet de permettre de relancer l'investissement, la formation, l'amélioration de la qualité, l'embauche, la recherche et l'innovation <sup>(2)</sup>.



Le cercle vicieux de l'insuffisance de l'investissement dans l'industrie.

Pour inciter les entreprises industrielles à utiliser ces nouvelles marges de manœuvre afin d'investir, il est apparu nécessaire de compléter ce dispositif par un plan d'action en faveur de l'accroissement de la productivité. Alain Rousset, alors président de la région Aquitaine et de

(1) « Pacte pour la compétitivité de l'industrie française », rapport de Louis Gallois, 5 novembre 2012.

(2) « Pacte national pour la croissance, la compétitivité et l'emploi », Premier ministre, 6 novembre 2012.

l'Association des régions de France (ARF), en est à l'initiative en proposant à l'État d'exercer un effet de levier à l'aide d'un ou plusieurs fonds constitués de crédits d'État, de crédits régionaux et de crédits européens.

Deux types d'actions sont ainsi proposés :

- des investissements de court et moyen terme (de 1 à 5 ans) destinés en priorité aux PME et aux ETI industrielles pour les aider à remettre à niveau leur outil industriel,
- des programmes de recherche (de 5 à 10 ans) sur l'Usine du futur.

C'est ainsi qu'est né, à l'automne 2013, le 34<sup>ème</sup> plan de la Nouvelle France Industrielle : il s'agit d'un plan transverse que complètent 33 autres plans verticaux (par filière).

### L'accompagnement des PMI en Nouvelle-Aquitaine

Dès février 2014, la région Aquitaine procède à la sélection d'un cabinet de consultants pour l'accompagner dans sa démarche et lance des appels à manifestation d'intérêt (AMI) à destination des PME et des ETI industrielles régionales.

Les entreprises sélectionnées commencent par procéder à un pré-diagnostic (de 3 à 4 jours), qui couvre :

- leur outil de production,
- leur organisation industrielle,
- leurs conditions de travail, leur management et leur environnement.

Un plan d'action est établi autour de ces trois axes. L'entreprise est alors accompagnée financièrement par la Région en matière de conseil, de formation, d'investissement et d'aide à l'embauche.

À la mi-2016, 290 entreprises avaient intégré cette démarche (80 % de PME et 20 % d'ETI). La moitié d'entre elles avaient moins de 50 salariés et affichaient un chiffre d'affaires inférieur à 10 millions d'euros. Tous les secteurs d'activité présents dans la région sont représentés. Les principaux d'entre eux sont la mécanique, l'aéronautique, l'agroalimentaire, l'électronique, le bois-papier, la chimie et les matériaux.

### Un panorama permettant de préparer la phase suivante

L'agrégation de l'ensemble des 110 premiers pré-diagnostic a permis de dégager un constat des points à améliorer et d'en déduire des lignes d'action pour la phase suivante du programme :

- dans le domaine technologique, les besoins prioritaires sont : la robotique, la fabrication additive (impression 3D), les outils numériques pour la production (ERP, PLM, MES, virtualisation, outils de simulation), ainsi que les contrôles non destructifs. Des parcours thématiques sont en cours de mise en place avec le concours de l'Alliance pour l'Industrie du futur pour soutenir les entreprises dans leur appropriation de ces technologies.
- en ce qui concerne l'organisation industrielle, d'importants progrès peuvent être réalisés : en effet, 90% des

entreprises sont en flux poussé, et les deux tiers des entreprises peuvent gagner au moins 30 % sur leurs cycles de fabrication, ce qui représente simultanément une diminution de 20 % des stocks et en cours, une réduction de la surface de stockage de 15 à 20 %, de 10 à 20 % de gains de productivité, dont près de 10 % grâce à la réduction du coût de la non qualité. Une action massive en matière de conseil et de formation est en cours de déploiement pour accompagner ces chantiers.

- en ce qui concerne le management, on observe une carence dans le management opérationnel et dans l'utilisation des méthodes visuelles de pilotage participatif. L'encadrement de premier niveau doit être soutenu et formé pour qu'il puisse assurer son rôle de soutien aux équipes, d'animation de l'amélioration continue (*kaizen*) et la liaison avec la direction.

### Les enjeux technologiques pour les PME

Les robots traditionnels sont lourds et coûteux. De plus, ils doivent être « enfermés » dans des cages pour réduire les risques de blessures pour les opérateurs. Ils sont surtout utilisés pour des productions en grande série, par exemple dans l'automobile. Ils sont peu nombreux en Nouvelle-Aquitaine.

Une nouvelle génération de robots collaboratifs, les cobots, est en train de faire son apparition. Bien moins coûteux, ils sont adaptés de surcroît au travail avec les hommes. Ils sont en effet bardés de capteurs et de systèmes de retour de force pour leur permettre d'assurer la sécurité des personnes travaillant avec eux. Ils sont aussi très facilement programmables. Enfin, leur légèreté leur permet d'être déplacés à l'intérieur des espaces de travail. L'ensemble de ces caractéristiques font des cobots la solution idéale pour les PME : assurant de la petite robotique ou une aide à la manipulation de charges lourdes, ils sont très polyvalents.

La fabrication additive arrive à l'ère de sa maturité. Si les espoirs de sa diffusion rapide dans le grand public ne se sont pas concrétisés, ses applications industrielles sont par contre en plein développement. Cette technologie permet de réaliser des pièces de formes complexes (comportant notamment des cavités internes) en une seule opération. Elle permet en outre de réaliser de substantielles économies de matière. Pour en tirer pleinement parti, il faut toutefois reconcevoir la pièce à fabriquer en l'adaptant au procédé et mettre au point les contrôles non destructifs permettant de s'assurer de la bonne santé métallurgique des pièces réalisées grâce à ce nouveau procédé.

La dématérialisation des procédures de fabrication (tablettes, lunettes connectées, réalité augmentée) est elle aussi en plein développement. Des solutions ont été déployées dans nombre de grands groupes et l'adoption de ces technologies par les PME va suivre.

Le cœur de l'usine 4.0 sera la chaîne logicielle ERP/PLM/MES (*Enterprise Resource Planning/Product LifeCycle Management/Manufacturing Execution System*). La plupart des PME sont aujourd'hui équipées d'un ERP. La

mise sur le marché de solutions intégrant la chaîne complète qui soient à la fois plus simples à mettre en œuvre et moins coûteuses, est un enjeu important.

L'adoption de la simulation du processus de production de l'usine, des objets connectés et du *Big data* par les PME se fera elle aussi, mais plus lentement.

## Enjeux managériaux et organisationnels

Dans les années 1990 et 2000, une version tronquée du *Lean (Management)* a été déployée *top down* en France.

Des gains rapides ont été recherchés, mais sans prendre en compte la nécessaire appropriation de cette gestion par les équipes. Dès lors, on a parfois vu le projet se résumer à un chronométrage des opérateurs, induisant du même coup pour eux des troubles musculo-squelettiques (TMS).

Le résultat a été catastrophique en termes d'engagement des équipes et les gains de productivité initialement réalisés ont été vite perdus.

Le déploiement du *Lean* a repris depuis la fin des années 2000, mais dans de bien meilleures conditions, notamment en prenant pleinement en compte le nécessaire respect des personnes <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup> et en s'appuyant (dans les expériences les plus réussies) sur des équipes autonomes <sup>(5)</sup>. Les gains économiques ont dès lors été à la fois considérables et durables. En effet, le cœur de la démarche est l'amélioration continue par la base (*kaizen*) et le succès est maximal lorsque ce sont les équipes qui prennent elles-mêmes leurs décisions, en toute autonomie. On a alors des améliorations plus pertinentes (car décidées au plus près du terrain) et celles-ci sont mieux appliquées. En effet, « les individus ne s'engagent entièrement que dans des actions dont ils ont pu déterminer les objectifs de façon autonome » (Antonin Léonard et Asmaa Guedira, in *Société collaborative : la fin des hiérarchies* <sup>(6)</sup>).

L'enjeu est donc de transformer la culture d'entreprise pour que les opérateurs s'approprient le progrès réalisé en continu avec le soutien actif de l'encadrement. Mais les salariés ont été imprégnés de culture taylorienne, un modèle dans lequel c'est l'encadrant qui est censé détenir le savoir. Or, le savoir sur le métier est détenu par la base. Le changement de culture, pour la base comme pour l'encadrement, est donc profond et ne pourra se faire que grâce à une action de formation et d'appropriation sur la longue durée.

La nécessaire autonomie des équipes (assouplissement *vertical* de la chaîne hiérarchique) doit s'accompagner d'un large partage de l'information pour permettre aux équipes de prendre les meilleures décisions en toute connaissance de cause. Il faut donc aussi décloisonner l'entreprise *horizontalement*, en faisant disparaître les « silos ».

## Développer un écosystème régional

Pour garantir un développement efficace des PME, il ne suffit pas de les accompagner individuellement et collectivement dans leur passage à l'Usine du futur. Il faut aussi les placer dans un environnement favorable.

La montée en puissance technologique des PME nécessite de favoriser le développement d'une offre régionale de solutions permettant non seulement de rendre celles-ci plus visibles et accessibles, mais aussi de conserver localement une part significative de la valeur ajoutée créée par l'investissement des PME réalisé en local. Cela peut passer par l'aide à la création d'entreprises innovantes ou l'implantation en région d'entreprises qui commercialisent des briques technologiques permettant de créer l'usine numérique et connectée.

Ce plan de déploiement de l'offre de solutions s'accompagne de la mise en place de plateformes permettant aux entreprises conduisant des projets de développement d'accéder aux nouvelles technologies (cobotique, fabrication additive, numérique...).

Enfin, la mobilisation des compétences universitaires sur le thème de l'Usine du futur dans les grandes régions françaises est en cours : elle vise à promouvoir le montage de projets de recherche collaborative et de démonstrateurs, en coopération avec les industriels, et à développer la formation initiale et continue en matière de technologies de l'Usine du futur, de *Lean Management*, de conditions de travail, d'ergonomie et de management.

## Conclusion

L'Usine du futur est certes un objectif à atteindre. Mais nous la concevons surtout comme un processus, comme un projet qui doit nous conduire à l'usine numérique et connectée. En effet, la cible à atteindre est lointaine. À l'aune du projet allemand *Industrie 4.0* (le 1.0 correspondrait à l'apparition de la machine à vapeur, le 2.0 à celle de l'électricité, le 3.0 à l'automatisation classique et le 4.0 au numérique), les PME et ETI de nos régions en sont, en moyenne, au stade « 2.5 » : en effet, peu d'entre elles sont automatisées. Le but du Plan Usine du futur est de les accompagner étape par étape vers l'usine de demain.

Le travail sur les aspects technologiques ne doit pas masquer l'importance capitale des aspects organisationnels et de management. Le risque est en effet de perdre les gains de productivité réalisés grâce à la technologie par manque d'engagement des salariés. Pour réussir, il faut sortir du Taylorisme et redonner de l'autonomie aux équipes. Passer du paradigme « C'est le chef qui sait » à « c'est la base qui sait ». C'est la condition indispensable à la mise en place d'un système d'amélioration continue efficace. Il s'agit d'un profond changement culturel.

(3) ROCHE (Cécile), *Le Lean en questions : vingt questions sur le chemin du Lean*, L'Harmattan, mars 2016, 224 pages.

(4) *Lean Management ou les vertus de l'amélioration continue*.

(5) LAGRANGE (Nicolas), « Comment Michelin « libère » ses cols bleus », in *Liaisons Sociales Magazine*, 21 octobre 2015.

(6) Société collaborative : la fin des hiérarchies, sous la direction de Diana Filippova, coll. « Ouishare », Éditions Rue de l'Échiquier, mai 2015, 128 pages.

« Si tu veux construire un bateau, ne rassemble pas tes hommes pour leur donner des ordres, mais fais naître dans leur cœur le désir de la mer » Antoine de Saint-Exupéry

L'objectif est de prolonger ce mouvement dans l'ensemble de la grande région Nouvelle-Aquitaine autour de la modernisation de l'outil industriel et des méthodes de management, en entraînant une masse critique d'ETI et de PME industrielles et en mettant à leur disposition des ressources (plateformes, programmes de recherche et de formation) devant leur permettre de monter en perfor-

mance industrielle et en compétences. L'objectif est d'accompagner 600 entreprises dans la réalisation du Plan Usine du futur en région Nouvelle-Aquitaine d'ici à 2020.

Nous avons fait de la reprise de l'investissement dans l'outil de production, l'organisation et le management notre priorité. Mais, tout en poursuivant nos efforts dans ces domaines, il nous faut maintenant engager une deuxième phase, celle de la redéfinition de la relation client et de la refonte des modèles d'affaires.

# La transformation numérique des filières industrielles, un facteur-clef de leur compétitivité et de leur survie. La nécessité de disposer de standards d'échange et de plateformes collaboratives numériques.

Par Pierre FAURE

directeur e-Business, *Customer Relationship Management (CRM)* et *Knowledge Management (KM)* de Dassault-Aviation, Boost Industrie

La transformation numérique des filières industrielles est devenue vitale, en tant que levier essentiel non seulement de leur compétitivité, mais aussi de leur survie.

C'est pourquoi plusieurs d'entre elles ont engagé avec l'Association AFNeT des projets stratégiques de transformation numérique reposant sur des standards internationaux et sur des plateformes collaboratives numériques, suivant en cela l'exemple de l'aéronautique et de son *hub* BoostAeroSpace qu'utilisent des milliers d'entreprises.

L'ambition est de « jouer collectif » pour gagner ensemble et d'entraîner l'ensemble des entreprises de ces « communautés de destin » (notamment les PME) dans la révolution numérique.

Ces projets permettent aux filières industrielles de renforcer leur compétitivité, car le numérique offre de formidables opportunités et des « *business models* » de rupture à ceux qui savent les exploiter et est, au contraire, source de graves dangers pour ceux qui en seraient incapables.

Ces projets permettent aussi de mieux résister aux nouveaux acteurs disruptifs qui « ubérisent » l'économie, qui prennent le pouvoir grâce au numérique au travers de la relation client et qui, progressivement, remettent en question l'amont de la chaîne de la valeur.

## Les filières industrielles performantes et innovantes seront celles qui feront des échanges numériques entre leurs entreprises un atout majeur de leur compétitivité

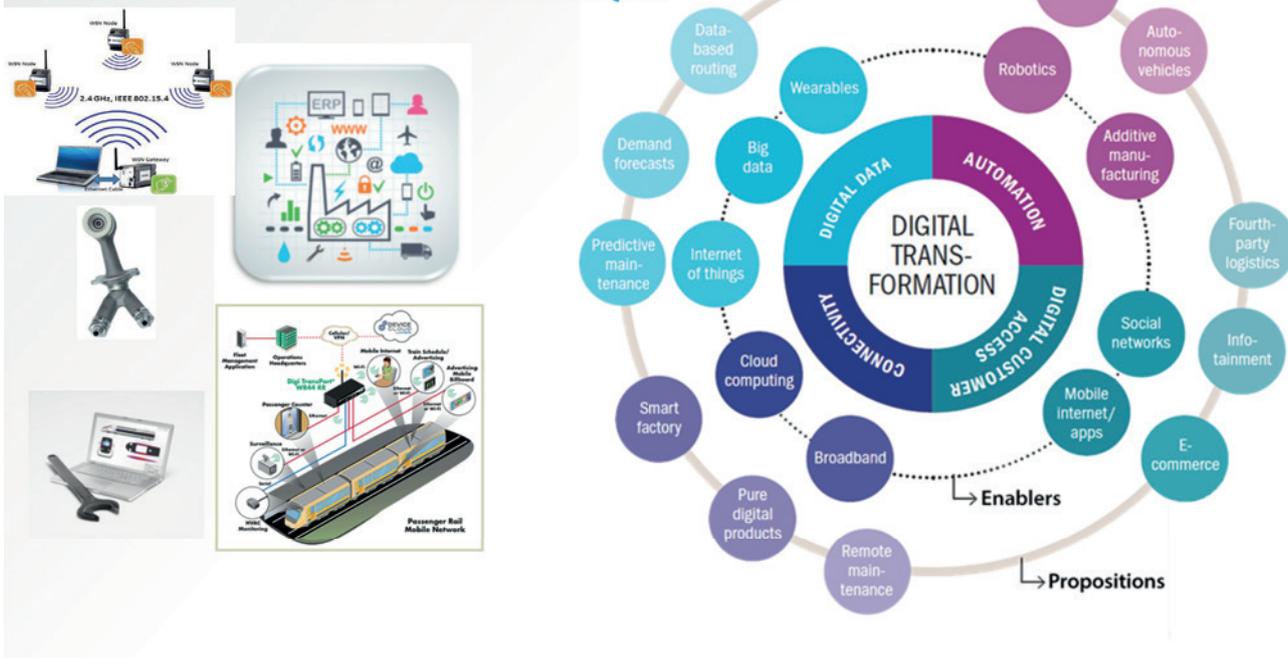
La transformation numérique des entreprises et des filières industrielles est devenue vitale en tant que levier essentiel non seulement de leur compétitivité, mais aussi de leur survie.

Toutes les grandes entreprises sont engagées dans une transformation numérique. Mais leurs réalisations individuelles ne sont généralement pas interopérables, et elles

peinent à impliquer leurs fournisseurs. Il faut donc que ce soit la filière elle-même qui crée les conditions d'une fluidité et d'une automatisation des échanges d'informations entre ses acteurs et qui aide les PME à entrer dans la révolution numérique.

L'enjeu est de taille, car, généralement, les entreprises majeures de notre industrie ne représentent que 25 à 30 % de la valeur des produits et services qu'elles commercialisent. Les 3/4 restants dépendent de la chaîne des fournisseurs qui y contribuent. Ces fournisseurs doivent pouvoir fonctionner en « entreprises étendues » grâce à un « système nerveux partagé » : c'est ce réseau d'échange d'informations qui doit être orchestré.

## CHAQUE ENTREPRISE ORGANISE SA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE



**AUGMENTER LE NIVEAU D'AUTOMATISATION :** AMÉLIORATION DES PROCESSUS ET DE LA PRODUCTIVITÉ  
**GÉNÉRALISER LA NUMÉRISATION:** RÉDUCTION DES COÛTS DES TRANSACTIONS ET DES ÉCHANGES  
**RÉORGANISER LA CHAÎNE DE VALEUR:** DÉSINTERMÉDIATION/RÉINTERMÉDIATION-NOUVEAUX MODÈLES ÉCONOMIQUES

Figure 1 : Les transformations numériques des entreprises sont nombreuses et hétérogènes. Source : AFNeT

## SANS STANDARD ET SOLUTION COMMUNE, PAS DE TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DES FILIÈRES

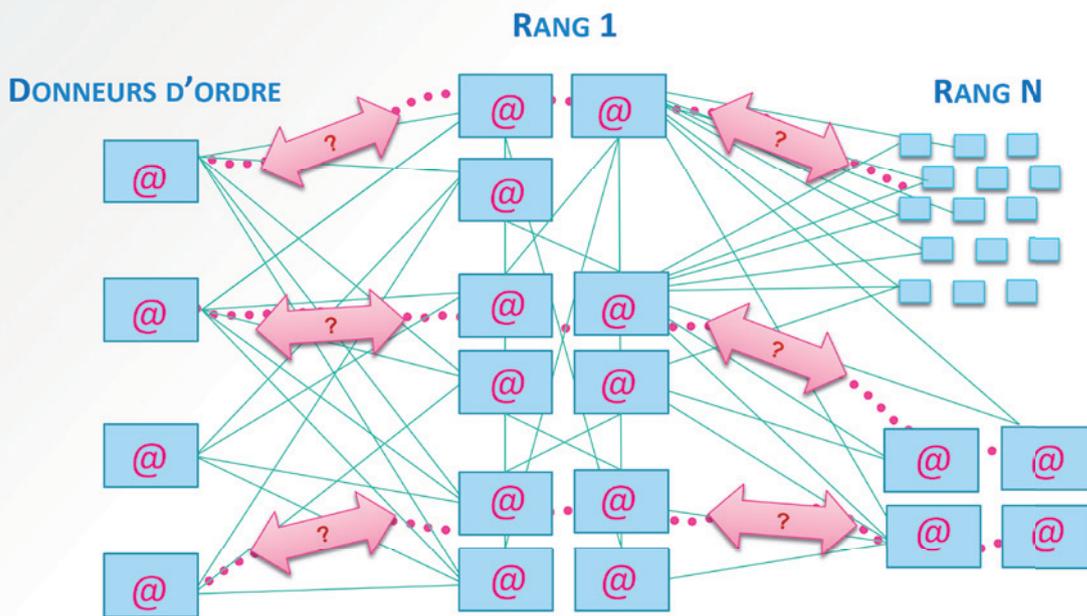


Figure 2 : Les transformations numériques des entreprises doivent être coordonnées. Source AFNeT

## LA MULTIPLICITÉ DES SOLUTIONS D'ÉCHANGE RÉDUIT LA PERFORMANCE ÉCONOMIQUE

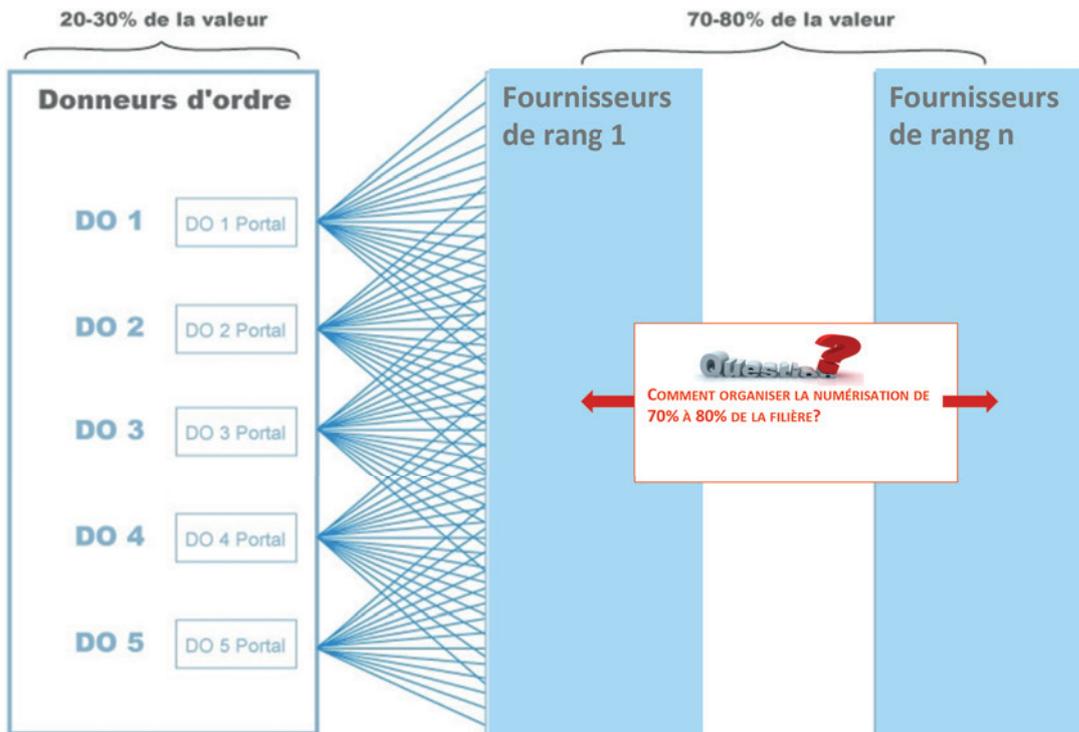


Figure 3 : Portails privés hétérogènes : pas d'harmonisation des processus, solutions numériques hétérogènes, impossibilité pour les fournisseurs de rang 1 de les utiliser dans leurs relations avec leurs propres fournisseurs. Source : AFNeT

À l'échelle d'une filière, chaque grand client donneur d'ordres cherche à intégrer ses fournisseurs dans ce concept d'entreprise étendue pour en faire un facteur de compétitivité à son profit. Cette démarche est totalement justifiée. Toutefois, les solutions numériques choisies se multipliant, les fournisseurs doivent prévoir un mode d'échange de données par client, ce qui multiplie pour eux les coûts.

« Alors que l'on recevait (par fax) toutes les commandes, il faudra adapter notre système d'information au portail Internet de chacun de nos clients : le progrès numérique risque d'être une régression économique ! ».

Cette régression potentielle est encore amplifiée pour les secteurs de l'électronique, de la mécanique et de la plastrurgie, qui sont inter-filières.

De plus, les fournisseurs des grands donneurs d'ordres n'ont généralement pas les moyens de numériser leurs échanges avec leurs propres fournisseurs.

Les processus, les solutions numériques et les formats de données retenus pour les échanges d'informations entre les acteurs des filières doivent donc être standardisés pour permettre une performance industrielle collective : cet effort de standardisation est un socle commun et ne doit pas être contrarié par les efforts de différenciation déployés par des entreprises concurrentes entre elles.

### L'exemple du secteur aérospatial et de sa plateforme BoostAeroSpace

Comme dans la plupart des filières industrielles, de 70 à 80 % de la valeur des aéronefs vendus par Airbus ou Dassault Aviation sont réalisés par leurs fournisseurs, la compétitivité de l'aéronautique doit donc être conçue dans une perspective d'entreprise étendue.

C'est pour cela que les présidents directeurs généraux d'Airbus, de Dassault Aviation, de Safran et de Thales ont créé en 2011 le *hub* BoostAeroSpace, qui a permis de structurer en profondeur l'industrie aéronautique et de dynamiser sa compétitivité en standardisant les processus numériques dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (*Supply Chain*), des donneurs d'ordres jusqu'aux PME sous-traitantes.

BoostAeroSpace est une plateforme collaborative mutualisée, qui fournit, via Internet, trois services sécurisés présentant une haute valeur ajoutée et reposant sur trois standards internationaux :

- **AirDesign**, utilisé pour les échanges techniques (Maquette Numérique, ...), fourni par Dassault Systèmes, qui a pour ambition de remplacer nos plateaux virtuels de conception ;
- **AirCollab**, qui est utilisé pour les projets de collaboration interindustriels ;

# BOOSTAEROSPACE, UN PORTAIL UNIQUE QUI PERMET L'INTÉGRATION NUMÉRIQUE DE LA FILIÈRE



Continuité numérique des donneurs d'ordre au rang n

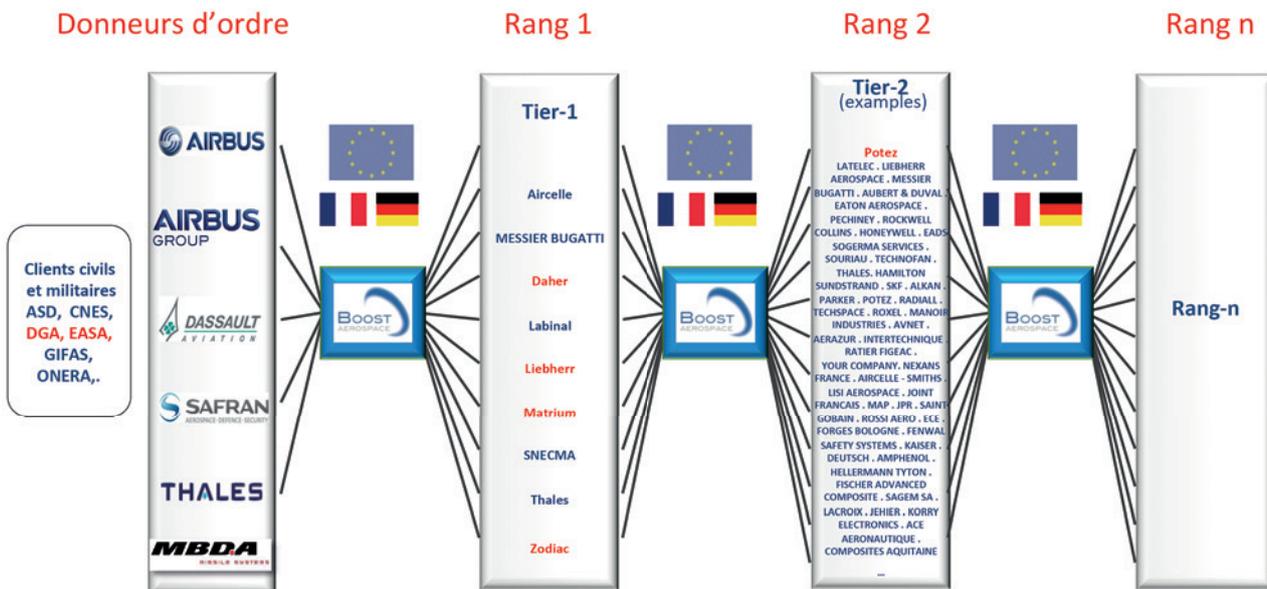


Figure 4 : La plateforme BoostAeroSpace est conçue pour permettre à tous les acteurs de la filière aéronautique d'échanger leurs informations en utilisant le même outil. Source : AFNeT

## LES SERVICES SÉCURISÉS À VALEUR AJOUTÉE PROPOSÉS COUVRENT LES PRINCIPAUX BESOINS DE L'ENTREPRISE ÉTENDUE

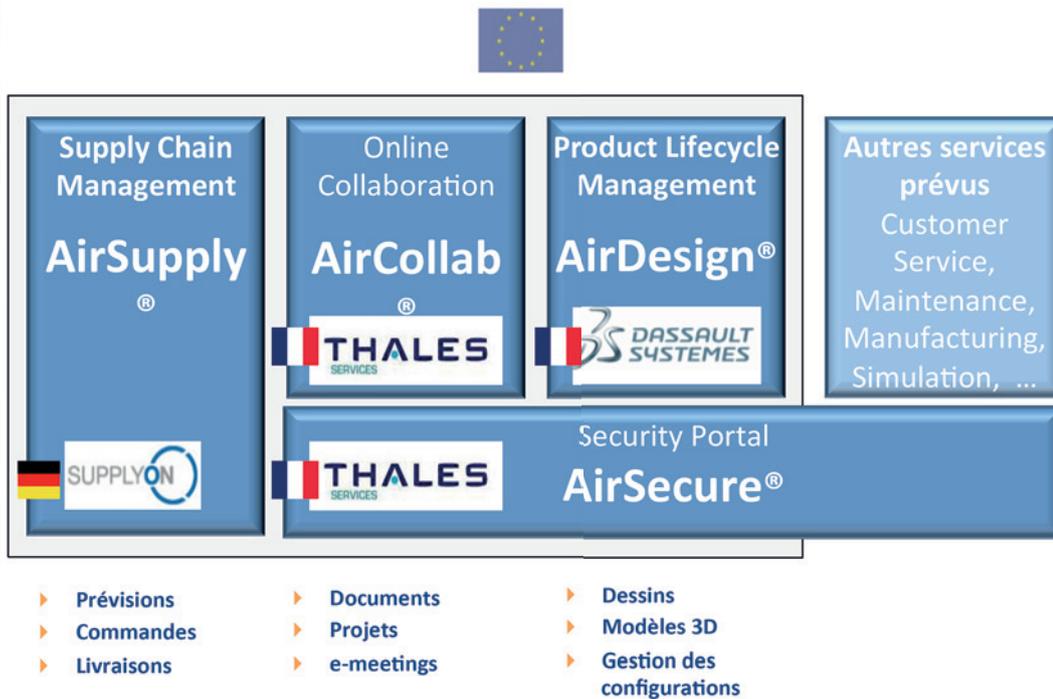


Figure 5 : La plateforme BoostAeroSpace couvre trois domaines principaux, qui ont été confiés à trois opérateurs complémentaires entre eux. Source : AFNeT

- **AirSupply**, utilisé pour les échanges logistiques (plans d’approvisionnement, commandes , ...) adopté par des milliers d’industriels, qui remplace les Portails Fournisseurs.

Ces services reposent sur les meilleures pratiques internationales, et sont fournis par des prestataires de services européens spécialisés.

D’autres services sont en préparation, notamment **AirServices** pour la relation clients.

La gouvernance en est assurée par une société *ad hoc*, qui a été créée par les cinq fondateurs précités.

Le *hub* BoostAeroSpace est opérationnel depuis fin 2011 et plus de 2 000 entreprises y sont déjà connectées. Notre objectif est de parvenir en quelques années à la connexion de l’ensemble de notre industrie et de permettre ainsi l’intégration numérique de la quasi totalité de notre *supply chain*.

Trois bénéfices principaux sont visés :

- la réduction des cycles et des coûts grâce à l’utilisation des mêmes services par les principaux donneurs d’ordres européens, en remplacement des portails privés existants qui présentent une forte hétérogénéité,
- pour nos fournisseurs, des gains de compétitivité identiques à ceux réalisés par les cinq fondateurs, puisqu’ils pourront eux aussi utiliser ces services dans leurs relations avec leurs propres fournisseurs, ce qui créera une

continuité numérique des donneurs d’ordre aux PME

- l’innovation : nos fournisseurs vont en effet pouvoir monter en gamme dans la chaîne de valeur par leur maîtrise de processus complexes, et pourront ainsi compenser (grâce à une plus grande valeur ajoutée) des coûts de main-d’œuvre supérieurs à ceux des pays émergents.

Cette expérience de plus de cinq ans a déjà permis d’identifier plusieurs facteurs de succès :

- une implication majeure des PDG est indispensable à la réussite du projet, car la coopération numérique est devenue un levier majeur de facilitation des coopérations industrielles, dans tous les domaines (conception, achats, relation client, ...), et demande de procéder à des arbitrages en haut lieu,
- la nécessité d’une gouvernance de la filière pour :
  - établir une feuille de route numérique partagée par la communauté de destin ;
  - partager les coûts et équilibrer les gains entre tous les échelons de la chaîne ;
  - faciliter l’accès au *hub* pour les PME (et compléter celui-ci par des solutions semi-automatiques peu onéreuses) ;
  - devenir un partenaire de poids et éviter ainsi une trop grande dépendance vis-à-vis des fournisseurs de solutions ;
  - sélectionner et contrôler les formats d’échange appliqués par la filière ;

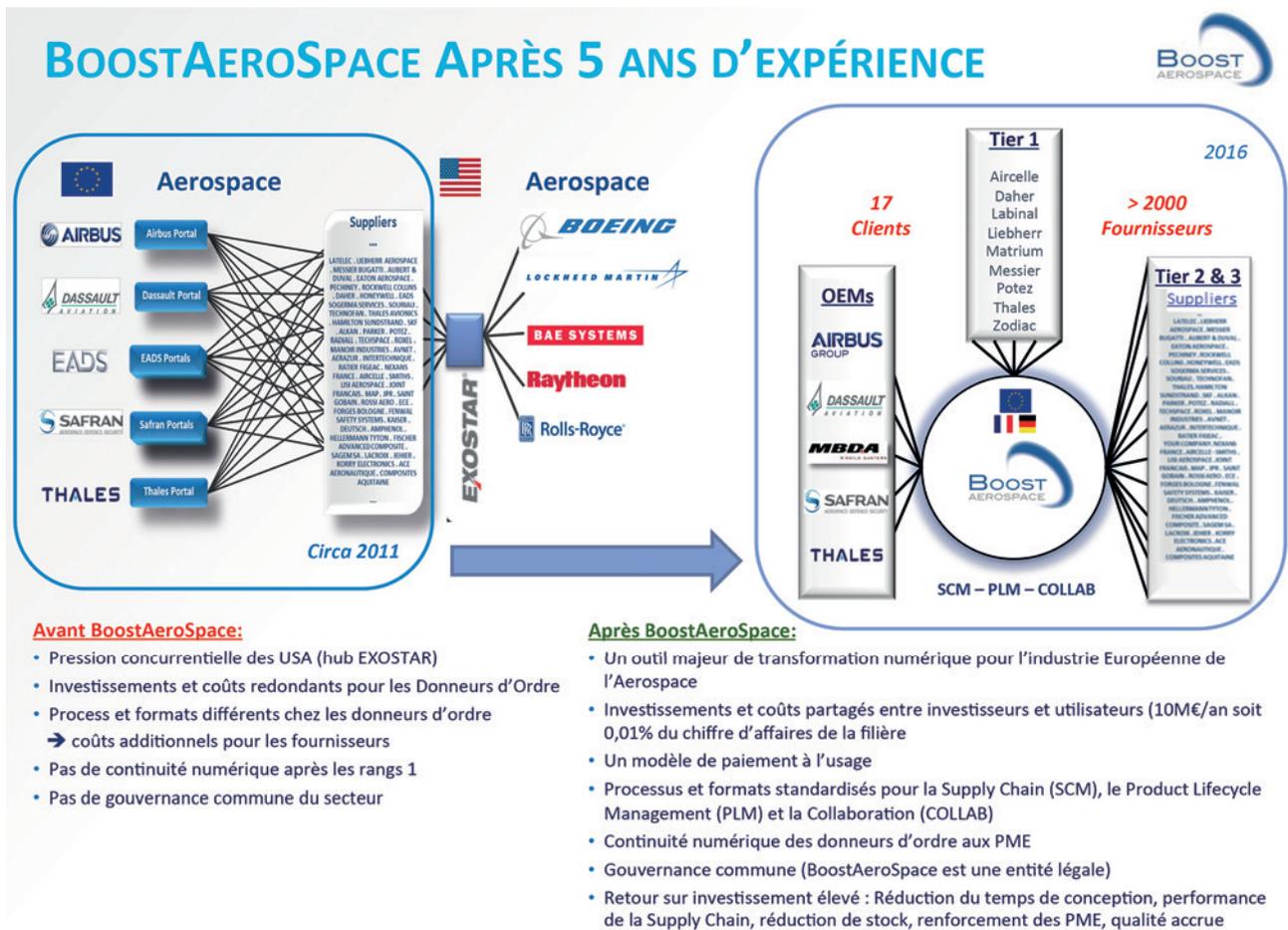


Figure 6 : La plateforme BoostAeroSpace, un bilan très satisfaisant. Source : AFNeT

- organiser la coopération numérique (entre groupes d'utilisateurs, entre représentants par domaine, entre instances d'arbitrage...),
- la nécessaire mise en place d'un Cercle de Confiance, avec une autorité rassemblant les responsables de la sécurité des systèmes d'information de tous les actionnaires du *hub*,
- l'émergence d'actionnaires leaders par domaine capables de se répartir la tâche de mise en œuvre et de déploiement des nouveautés avant la généralisation de celles-ci aux autres acteurs.

L'expérience de la mise en place d'un *hub* par le secteur de l'aéronautique permet d'estimer les économies annuelles attendues à plusieurs dizaines de millions d'euros, à l'échelle d'une filière.

**L'exemple du secteur aéronautique et de sa plateforme BoostAeroSpace suscite l'intérêt des autres filières : le mouvement engagé doit s'accélérer**

De nombreuses filières industrielles (automobile, bâtiment, ferroviaire, naval, nucléaire...) ont décidé d'engager à leur tour des projets stratégiques de transformation numérique. Leur ambition est de jouer collectif au niveau français et si possible également au niveau européen, pour « gagner ensemble » et entraîner comme dans l'aéronautique l'ensemble des entreprises (notamment les PME) de ces « communautés de destin » dans la révolution numérique.

Ces projets permettent aux filières industrielles de se renforcer mutuellement, car la généralisation du numérique

(Internet, objets connectés, *Big data*...) dans les processus de consommation des produits et des services bouleverse les *business models* établis, offrant de formidables opportunités et des *business models* de rupture à ceux qui sauront les exploiter (ou, au contraire, faisant peser de graves menaces sur ceux qui en seront incapables).

Ces projets permettent ainsi de mieux résister à l'irruption des « nouveaux Barbares », ces acteurs disruptifs qui « ubérisent » l'économie, qui prennent le pouvoir grâce au numérique au travers de la relation client (B2C), en aval de la chaîne de la valeur des entreprises industrielles, et qui en remettent peu à peu en question l'amont (B2B).

La mobilisation se structure autour de plusieurs tendances fortes :

- celle d'un partage entre filières des processus, des standards d'échange, des méthodes et des solutions,
- la nécessité d'adopter des standards internationaux tant en matière de processus qu'en matière de formats de données,
- le besoin de créer des plateformes collaboratives (par filière), notamment pour entraîner les PME dans la révolution numérique et assurer ainsi la continuité numérique, des donneurs d'ordres jusqu'aux PME sous-traitantes,
- le besoin d'une gouvernance de ces standards, de ces plateformes et de ces solutions numériques, au niveau des filières comme au niveau intersectoriel, avec le soutien des PDG des grands acteurs,
- l'importance de « jouer collectif » tant au sein des filières qu'entre ces filières, en s'appuyant sur l'AFNeT, qui est devenue aujourd'hui le lieu d'échanges intersectoriels sur ces problématiques de transformation numérique,

**LES GAINS NETS ATTENDUS SONT IMPORTANTS À L'ÉCHELLE D'UNE FILIÈRE**

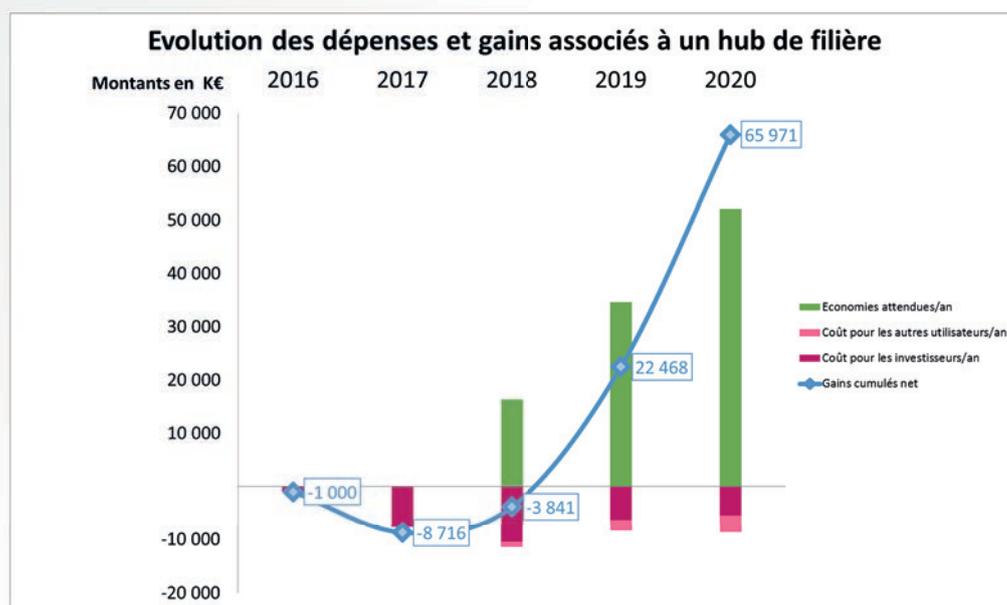


Figure 7 : La mise en place d'un *hub* génère pour une filière des gains importants. Source : AFNeT

## LES SIMILARITÉS NUMÉRIQUES SONT NOMBREUSES ENTRE FILIÈRES



Figure 8 : Les filières se ressemblent ; elles ont donc intérêt à partager leurs démarches numériques. Source : AFNeT

et sur des plateformes collaboratives de filières et de standardisation, notamment dans le domaine du management du cycle de vie des produits (PLM), dont l'AFNeT porte les projets de standards internationaux (STEP AP242, PLM-IF...).

### En France, l'AFNeT est devenue le lieu privilégié pour les échanges intersectoriels

En matière de numérique, les filières et les entreprises industrielles doivent jouer « collectif » en identifiant leurs nombreuses problématiques communes (standards, plateformes collaboratives, objets connectés, sécurité...) et en recourant aux mêmes fournisseurs de services informatiques et Internet.

Forte de son expérience de vingt ans dans ce domaine et de son accompagnement de la mise en place du *hub* BoostAeroSpace, l'AFNeT est devenue le lieu de coopération intersectorielle en matière de transformation numérique des filières industrielles et de travaux de standardisation, et ce, avec les deux dimensions suivantes :

- Une dimension de *think-tank* visionnaire de la transformation numérique des filières industrielles. Les thèmes actuels auxquels contribuent ses membres sont :
  - la généralisation du numérique dans les processus de

consommation de produits et de services, laquelle permet une réduction des coûts, un raccourcissement des délais de mise en marché et une innovation accrue,

- de nouveaux *business models* (« ubérisation ») *via* la prise ou le maintien du contrôle de la relation clients, la remise en question de la chaîne de la valeur de l'aval vers l'amont des filières industrielles, l'irruption des nouveaux « Barbares » (BlaBlaCar, Space X...).
- de l'intégration numérique B2B (PLM, SCM...) à la transformation numérique B2B2C (PLM, SCM, CRM, Internet des objets, services connectés, *Big data*...) des filières industrielles (aboutissant à l'Industrie 4.0).
- Une dimension de *Do Tank*, c'est-à-dire de porteur des projets suivants :
  - la création de plateformes collaboratives de filières (aéronautique, ferroviaire, nucléaire),
  - l'élaboration de standards multisectoriels PLM internationaux,
  - l'organisation d'actions de *lobbying* auprès des pouvoirs publics et des filières professionnelles (GIFAS, Fer de France, PFA...).

D'autres filières (automobile, construction, navale, pétrolière) participent également à ces travaux : elles sont appelées à s'engager dans des démarches analogues à celles des filières pionnières, là encore avec l'aide de l'AFNeT.

# Des projets digitaux à la transformation digitale de l'entreprise

Par Karine BOISSY-ROUSSEAU  
et Laurelyne VERGUET  
Air Liquide

Le projet Connect d'Air Liquide France Industrie s'inscrit dans la démarche d'usine du futur du groupe Air Liquide. Il vise à mettre en place un centre d'opération et d'optimisation à distance des sites de production du groupe en France et à introduire les technologies digitales dans les métiers de la production. L'innovation ne se cantonne pas à la seule technologie. Les méthodes de travail adoptées participent elles aussi de la démarche innovante du projet. Connect est ainsi une illustration du concept émergent de *Change Digital*. Des technologies digitales sont développées en collaboration avec leurs utilisateurs finaux selon des méthodes expérimentales et agiles. La démarche adoptée est celle de l'innovation ouverte et collaborative pour relier les hommes et la technologie.

Ces technologies ne sont pas seulement la base des outils à développer. Elles constituent également une ressource pour des actions de formation et de travail en réseau. Mais ces nouvelles façons de mener un projet soulèvent également la question de la posture et de la place de ses différents acteurs.

La digitalisation de notre société va transformer l'entreprise, comme elle a déjà transformé notre vie quotidienne. Notre façon de consommer, notre accès à l'information, notre façon de communiquer, nos rapports aux autres en ont été profondément changés.

Elle a révolutionné un grand nombre de nos activités : acheter, jouer, étudier, voyager, mais aussi écouter de la musique, donner des nouvelles, faire de l'autostop...

Avec le digital, nous avons construit de nouveaux usages, qui, s'ils sont évidents aujourd'hui, n'en sont pas moins récents. La dématérialisation des données, le partage d'informations en temps réel où que l'on soit, l'acquisition intuitive de nouvelles technologies ont permis le développement de nouvelles pratiques : fonctionnement en réseau, collaboration, ouverture sur les autres, interactivité...

La digitalisation ne se résume donc pas à une simple transformation d'ordre technique. Si son volet technologique est bien visible (avec les *smartphones*, les tablettes, les lunettes connectées, la réalité augmentée et les applications les plus diverses), ce sont bien nos comportements du quotidien qui ont changé.

En entreprise, le succès de la digitalisation ne repose donc pas uniquement sur de bons outils, mais aussi sur les usages qui en sont faits et sur l'adoption des nouvelles façons de travailler que ces outils favorisent.

L'enjeu pour les entreprises est donc double : réussir et leurs projets digitaux et leur transformation digitale.

La façon de déployer des outils informatiques classiques tels que les ERP (*Enterprise Resource Planning*), avec des sessions massives de formation, où l'utilisateur était contraint de s'adapter à l'outil, doit être repensée. L'utilisateur final doit être placé au centre de la démarche. Par conséquent, la mise en œuvre des projets digitaux doit être repensée, elle doit être menée de manière incrémentale. Les solutions doivent être construites au fur et à mesure de l'avancée du projet en utilisant une méthodologie agile et des développements expérimentaux. L'utilisateur final doit inventer lui-même les futurs usages, les futurs modes de fonctionnement, il devient ainsi un acteur clé de la transformation digitale.

## Connect, le projet d'industrie du futur du groupe Air Liquide

Le projet Connect, d'Air Liquide France Industrie, tant dans l'ambition qu'il affiche que dans la façon dont il est mené, est une illustration de ces bouleversements.

Avec ce projet, Air Liquide introduit le potentiel considérable des technologies digitales dans ses sites de production. Le groupe investit près de 20 millions d'euros dans la mise en place d'un centre d'opération et d'optimisation à distance qui pilotera, d'ici à 2017, ses 20 sites de



Atelier de prototypage d'une application pour tablette.

production en France. Ce centre expert, basé en région lyonnaise, pilotera et optimisera la production, l'efficacité énergétique et la qualité de production des usines du groupe Air Liquide France. Il mènera également des actions de maintenance prédictive.

Le projet Connect, c'est également l'introduction d'une quinzaine de technologies numériques dans le travail des équipes : tablettes tactiles, tutoriels vidéo, scan en 3D des installations, réalité augmentée, analyse des signaux faibles, téléexpertise...

Le projet s'inscrit dans la stratégie du groupe Air Liquide, qui est d'imaginer l'usine du futur. Il s'appuie sur la compétence des équipes, sur l'expertise du groupe en matière d'innovation et sur son expérience acquise de longue date en matière de supervision d'usines et de collecte de données de production à des fins d'optimisation.

Au-delà de l'aspect technologique, les méthodes de travail adoptées pour le déploiement du projet participent en tant que telles à la démarche innovante. L'équipe pluridisciplinaire du projet Connect travaille en réseau en associant les équipes de terrain, la R&D, les équipes des systèmes d'information sur un même plateau projet, tout en y associant les *start-ups* avec lesquelles des POC (*Proofs Of Concept* : démonstration de faisabilité) ont été réalisés. Le groupe fait ainsi levier sur les multiples compétences qu'il a acquises ces dernières années : *design* d'expérience utilisateurs, connaissance des écosystèmes technologiques, nouveaux usages développés par son *i-Lab*

(son laboratoire des nouvelles idées), la structure d'innovation de rupture du groupe Air Liquide.

### **Projet Connect : une structure elle-même vecteur de la transformation digitale**

Avec la révolution numérique émerge un nouveau concept, celui du *Change Digital*. Celui-ci pourrait se résumer à la manière d'accompagner un projet digital en favorisant l'expérimentation et en utilisant les technologies digitales pour réaliser des actions de conduite du changement. Comme le résume David Autissier, Kevin J. Johnson et Jean-Michel Moutot (dans leur article « La conduite du changement pour et avec les technologies digitales ») : « *la technologie est à la fois un objet externe à déployer et une ressource interne pour faire interagir les acteurs* » (2014).

Un des enjeux de Connect est de faire évoluer les métiers de la production vers ceux de demain en intégrant le numérique. Dans le cadre du projet, la préoccupation principale n'est pas tant l'outil numérique que l'usage qu'il en sera fait et l'expérience utilisateur.

Ainsi, les nouvelles technologies sont déployées en réseau, suivant des méthodes agiles de développement. Des projets-tests dits de « Preuve de Concept » (*POC* : *Proof of Concept* – démonstration de faisabilité) sont menés sur les sites de production par les techniciens eux-mêmes. Ceux-ci valident les pistes technologiques et

identifient les usages possibles. Ces projets sont menés en collaboration avec des *start-ups* innovantes (essentiellement françaises), qui apportent des solutions technologiques. Cette démarche d'innovation ouverte est fondée sur le partage et la coopération entre les entreprises. Elle associe un regard extérieur à l'entreprise à la mise à disposition de technologies entre les mains des utilisateurs finals que sont les techniciens des sites de production afin que celles-ci soient rapidement testées. C'est ainsi que des usages et des leviers d'efficacité jusque-là inexplorés sont identifiés.

En effet, la technologie ne se suffit pas à elle-même : c'est l'usage que l'on en fait qui lui confère toute sa valeur.

Mais de quoi parle-t-on, exactement, lorsque l'on parle d'usage ? L'usage c'est « *une expérience qui a réussi et qui est portée par le corps social* » (AUTISSIER, 2014). Pour développer les usages autour des nouvelles technologies et ainsi répondre à un besoin d'utilité, il faut donc favoriser l'expérimentation.

Le développement d'applications de maintenance pour des tablettes mises à la disposition des techniciens des sites de production a été réalisé selon ce principe. Une *start-up* en *design* de services a observé le parcours de travail des techniciens sur le terrain pour comprendre quels étaient leurs besoins. Avec un groupe de travail de techniciens de différents sites de production, elle a ensuite identifié l'apport de l'outil numérique. En distinguant les « irritants » du quotidien, les points à renforcer et ceux à conserver, ils ont ainsi dégagé les fonctionnalités à intégrer aux applications de maintenance. Une session de prototypage a permis aux techniciens de dessiner les diverses visualisations des applications. Enfin, la phase de développement a été réalisée selon la méthode agile Scrum. Durant une courte période les équipes des systèmes d'information et les techniciens des sites développent l'application selon un processus itératif. Une fois développée, chaque fonctionnalité est soumise à l'appréciation des techniciens concernés, et ce, sans attendre le développement complet de l'application. Leurs remarques sont immédiatement intégrées pour faire évoluer l'application. Ainsi, la réalité du terrain est prise en compte en continu durant la phase de développement de l'application.

La formation des pilotes de production de notre centre d'opération et d'optimisation à distance est un exemple d'utilisation des technologies digitales comme outils du changement.

La fonction de pilote de production constitue un nouveau métier au sein d'Air Liquide France Industrie. Pour former les six premières personnes à avoir rejoint l'équipe, un parcours de formation apprenant inédit a été inventé.

La particularité de ce parcours est de combiner un apport théorique à une véritable immersion dans le terrain et avec la constitution d'un réseau.

Les apprentissages théoriques se font en présentiel, mais également *via* de l'*e-learning* et des classes virtuelles. Ces phases alternent avec des mises en pratique, avec du tutorat et des expériences baptisées « Vis ma vie » en



Photo © Air Liquide Corporate Communication

Test sur site des applications prototypées sur tablette.

compagnie des équipes, sur site. Il s'agit d'une approche itérative permettant de confronter la théorie à la pratique, et ce, tout au long du cursus. En parallèle, une e-communauté a été créée. Lieu d'échanges, celle-ci permet aux personnes de partager leurs différentes expériences durant le cursus. Les immersions dans le terrain font l'objet de rapports d'étonnement sous la forme de vidéos postées sur l'espace d'échange de la communauté.

Avec un fonctionnement en 3x8 une fois les personnels à leur poste, l'enjeu est double : il est à la fois de créer ce nouveau collectif de travail dès la phase d'apprentissage et de favoriser l'utilisation du digital pour communiquer et partager afin de le maintenir dans le temps.

Enfin, pour les personnels formés, le parcours ne s'arrête pas lors de leur prise de fonction : il se poursuit plusieurs mois après celle-ci. Des classes virtuelles sont organisées avec des experts afin de revenir sur des situations qu'ils ont vécues à leur poste. Les apprentissages théoriques sont réactivés grâce à des *microlearnings* hebdomadaires. À travers ce parcours, il s'agit d'apprendre, de développer l'entraide et la capacité d'aller chercher l'information pertinente pour pouvoir être acteur de son propre apprentissage.

Ces exemples nous montrent que l'implication des techniciens des sites de production dans cette démarche d'innovation ouverte est fondamentale. C'est en développant

eux-mêmes les outils numériques qu'ils utiliseront demain qu'ils favorisent l'adoption et l'appropriation naturelles de ces outils par les équipes au sein desquelles ils exercent. Dans le projet Connect, les outils numériques et la façon de les mettre en œuvre sont utilisés pour faire évoluer les méthodes et les relations de travail, pour développer l'esprit d'initiative et de collaboration. Ce projet se veut être lui-même un projet pilote pour le groupe Air Liquide, qui souhaite faire évoluer ses métiers et ses compétences vers ceux de demain et construire un savoir-faire unique et différenciant.

### Quel impact sur le management ?

La digitalisation des entreprises n'influence pas seulement la façon de mener un projet : elle va également changer le fonctionnement, les postures et les modes de gouvernance de l'entreprise : « *La mise en place de ces technologies digitales, par leur dimension communicante et ouverte, impacte l'organisation traditionnelle que l'on qualifie de structuro-fonctionnelle* » (AUTISSIER, J. JOHNSON & MOUTOT, 2014).

Mettre entre les mains des techniciens une technologie sans pour autant connaître ni l'utilisation qui en sera faite

ni sa valeur ajoutée constitue un changement de paradigme important. Par les usages qu'ils en feront, ce seront les techniciens qui seront à l'initiative de la création de valeur de telle ou telle technologie pour l'entreprise.

La maîtrise technique de la technologie n'est donc pas suffisante pour mener une transformation digitale. La transformation digitale en entreprise s'appuie sur des compétences associées au *leadership* et sur la capacité des managers à créer les conditions favorables à la prise d'initiatives et à l'innovation.

### Bibliographie

Chaire ESSEC du changement (2014), « Le Change Digital. L'intégration du sujet Digital au sein des entreprises en 2014 ».

AUTISSIER (D.), JOHNSON (J.), K. & MOUTOT (J.-M.), « Change digital. La conduite du changement pour et avec les technologies digitales », *Question(s) de management* 3/2014, n°7, pp. 79-89.

AUTISSIER (D.), « Éditorial. Change Digital : la révolution expérientielle et digitale de la conduite du changement », *Question(s) de management*, 3/2014, n°7, pp. 75-78.

# Les technologies de l'usine du futur au service de la maintenance industrielle

Par Benjamin GODREUIL  
et Emmanuelle SAUDEAU  
SNCF

Les enjeux de la maintenance ferroviaire en France peuvent se résumer en trois points :

- Garantir en permanence un très haut niveau de sécurité et de qualité des opérations pour les voyageurs et l'activité Fret.
- Assurer la meilleure disponibilité du matériel en exploitation commerciale.
- Rechercher en permanence la productivité, particulièrement dans le cadre d'une industrie soumise à des coûts de production fixes intrinsèquement élevés.

Les technologies de l'internet industriel, avec le déploiement de capteurs sur les trains et l'analyse intelligente de leurs données, apportent une première réponse, stratégique, celle de l'anticipation des pannes pour accentuer la maintenance préventive.

La diversité de ses infrastructures industrielles, de ses savoir-faire font de la Maintenance et de l'Ingénierie SNCF une référence internationale. Aujourd'hui, l'agilité et l'accessibilité des technologies de l'industrie du futur lui apportent un nouveau levier stratégique pour accélérer la transformation d'installations industrielles parfois centenaires.



Photo © Jean-Jacques d'Angelo / SNCF





Photo © La Cabane Créative/SNCF

L'Usine du Futur chez SNCF : 4 projets intégrés pour améliorer productivité et qualité de travail dans les technicentres.

mentation technique nécessaire à la réalisation de leur tâche (2 000 tablettes sont prévues en déploiement d'ici fin 2016 dans les 10 technicentres industriels).

- Ils peuvent, à partir de leur tablette, alerter les autres pôles en cas d'aléas (approvisionnement, qualité, ...).
- Le service Installations-Outillages est alerté immédiatement grâce à des capteurs et peut intervenir plus vite.
- Les outillages mobiles sont géolocalisés dans l'atelier.

Le deuxième bénéfice de ce jumeau numérique est de fournir, au travers de la superposition des images numériques de l'usine, les données nécessaires à l'amélioration des processus aux services Méthodes, Ingénierie et Qualité Industrielle. Ces données étant exploitées dans un premier temps par des systèmes décisionnels et de business intelligence classiques, et dans un second temps, selon le volume et la maturité des technologies informatiques par des techniques de Big Data.

L'évolution de l'expérience utilisateur usine et l'apport d'un usage massif de l'analytique transforment les métiers et les processus de l'usine.

### Le projet DIGIFLUX ou la gestion des flux dans l'atelier

Dans des processus de production complexes - la gamme de rénovation d'un matériel roulant est découpée entre 1 000 à 1 500 tâches différentes - localiser en temps réel est la clef de l'optimisation de l'ordonnancement des tâches de production.

Les solutions actuelles RFID ou optique (code à barres ou QR code) nécessitent un acquittement volontaire par un opérateur par un PDA, ce qui est souvent vécu comme une contrainte et génère un nombre d'erreurs ou de non-réalisations conséquent.

Aujourd'hui, des technologies émergentes, comme les beacons ou le RTLS (Real Time Localisation System) per-

mettent déjà d'envisager un déploiement de systèmes de géolocalisation précise à 30 cm ou de geofencing avec des tags à faible consommation d'énergie. SNCF réalise actuellement plusieurs POC avec des start-up et des PME innovantes pour qualifier le niveau de service de chacune de ces solutions et valider le modèle économique des cas d'usage propres à SNCF, ces solutions restant pour la plupart relativement onéreuses.

### Le projet DIGIIO ou la transformation digitale des moyens de production

L'internet industriel est l'un des premiers leviers de transformation de la production des technicentres. Les capteurs électroniques de nouvelle génération, miniaturisés, embarquant de plus en plus d'intelligence logicielle et plus autonomes en énergie, voient leur champ d'application se développer, en particulier dans le domaine de la supervision d'équipements industriels. Les possibilités de mesure sont très diversifiées, quasi illimitées - capteurs de pression, accéléromètres, mesure de tension électrique, capteurs de température - et permettent de monitorer en temps réel les machines-outils utilisées pour assurer la maintenance des rames. Les informations analysées en permanence facilitent la détection de dysfonctionnements et l'anticipation de pannes qui pourraient se révéler bloquantes pour l'exploitation ferroviaire. Le déploiement de ces capteurs, couplé aux solutions de télécommunications adaptées en fonction du contexte (GSM, réseaux basse consommation et bas débit du type SIGFOX et LORA), s'accélère.

Plusieurs dizaines de nouveaux capteurs ont ainsi été installés au sein du Technicentre pilote d'Oullins (69) en quelques mois seulement, renforçant considérablement les moyens de détection des défaillances et sécurisant les équipes de maintenance.

La deuxième opportunité de cette transformation réside dans la cobotique.

Les conditions de réalisation de beaucoup d'opérations de maintenance sont physiquement contraignantes (travail en fosse, travail bras en l'air, travail dans des environnements exigus, charges lourdes ...). Par ailleurs, la maintenance est une activité industrielle faiblement mécanisée et mécanisable.

Ainsi des outils cobotiques adaptés aux usages de la maintenance sont expérimentés dans le cadre d'une démarche pilotée par la direction du matériel SNCF en lien avec un ergonome et la médecine du travail. SNCF a également lancé une démarche de partenariat d'innovation pour la création d'un exosquelette adapté au cas d'usage de la maintenance de matériel ferroviaire.

Enfin, la fabrication additive (FA) représente une opportunité importante pour la maintenance, bien au-delà des cas d'usage de prototypage rapide. La durée de vie des matériels roulants (souvent plus de trente ans) rend parfois difficile la fourniture de pièces sur des technologies en obsolescence. La FA serait par ailleurs économiquement viable dès maintenant compte-tenu du faible volume de pièces obsolètes. Aujourd'hui, SNCF référence les partenaires possibles pour la fourniture de pièces ferroviaires dans l'objectif de qualifier ces technologies en service avec l'aide de l'AEF (Agence d'Essai Ferroviaire). La réparation de pièces par recharge de matière en FA est également explorée.

### ...et la mobilisation des hommes : condition ultime de réussite du programme

En plus des transformations physiques et digitales des technocentres de SNCF, le programme Usine du futur est également un levier de transformation managériale. Il s'agit d'une part de piloter cette démarche en co-construisant les solutions avec les opérationnels et en confrontant rapidement les idées et leur mise à l'épreuve sur le terrain. D'autre part, l'enjeu est de déployer le programme Usine du futur avec les méthodes du digital.

Ces méthodes, inspirées de l'agile, jouent un rôle clé dans le programme de transformation digitale : l'écoute du terrain, l'intégration des besoins opérationnels dans la chaîne de conception comme facteurs d'adoption et d'efficacité, le fonctionnement en circuit court, *scalable*, favorisant l'expérimentation rapide, les démarches itératives, incrémentales et *scale fast* en favorisant une mise à l'échelle rapide. L'ouverture auprès de l'écosystème, pour bénéficier d'autres expertises et méthodes et ainsi accélérer, est également une conviction forte de SNCF.

#### Les méthodes dites agiles, clés d'accélération

À l'inverse des besoins exprimés ou des besoins « créés par le marché », le *design thinking* va, grâce à un échange constant avec l'utilisateur final, permettre de créer un livrable au plus près des besoins. Composée de trois phases principales centrées sur l'utilisateur (inspiration,

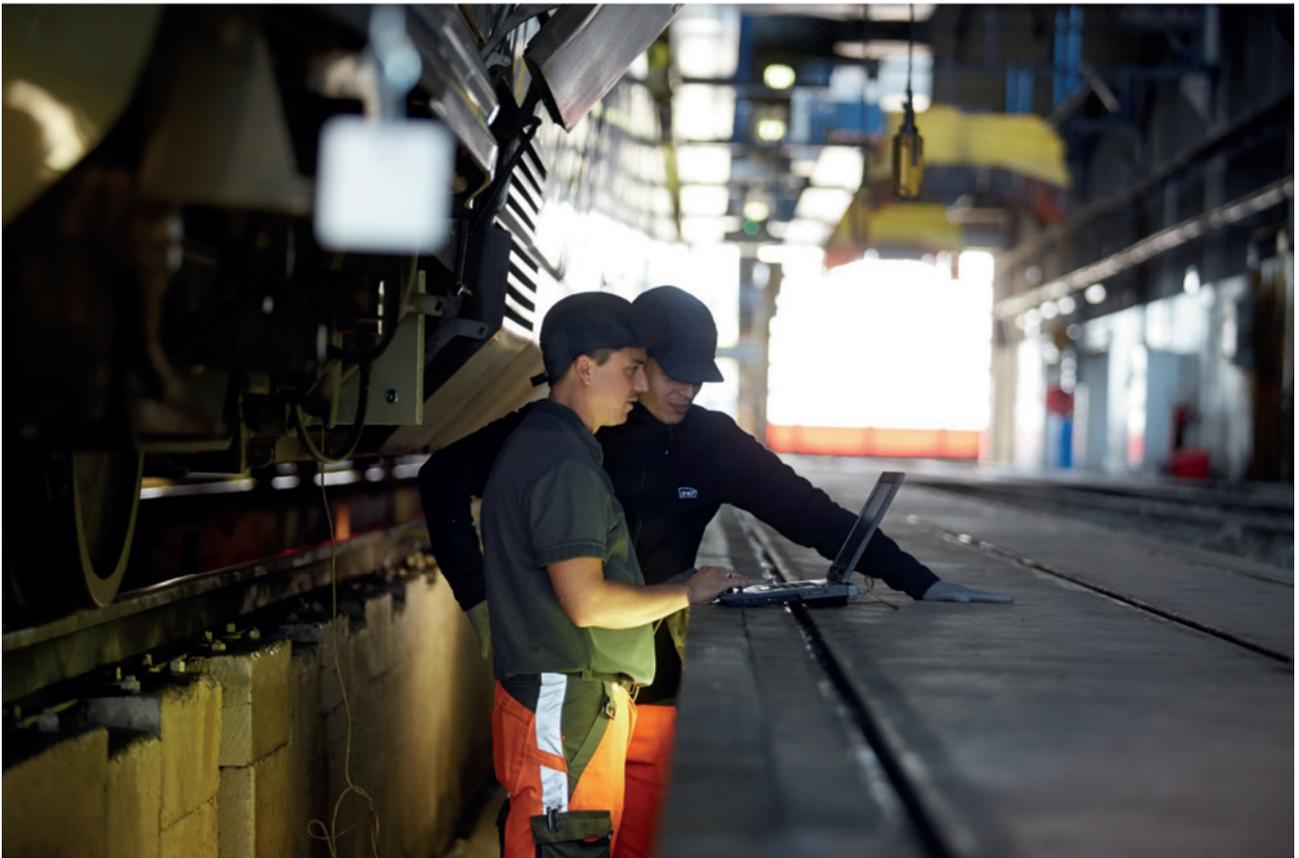


Photo © Yann Audic/SNCF

idéation, implémentation), elle amène SNCF à répondre aux trois valeurs qui lui sont essentielles : faisabilité, désirabilité, fiabilité, en apportant la même attention aux outils métiers que celle apportée aux outils grands publics, dans une logique de juste réponse aux besoins opérationnels.

Par ailleurs, pour les projets physiques ou technologiques, SNCF a fait sienne la démarche Lean startup avec des boucles d'actions courtes : construire, mesurer, apprendre. Construire en confrontant très vite les solutions à l'épreuve de l'expérimentation et éventuellement dégager rapidement les premiers gains, mesurer les résultats et apprendre de l'expérimentation. Ces démarches se déploient selon une double logique de « *quick win* » et de « *fail fast* ».

Dans une entreprise obsédée par la culture de la perfection, sécurité oblige, les cycles longs dits en V se sont progressivement installés, avec leur risque inhérent de décrochage des besoins utilisateurs ou des évolutions technologiques.

La mise au cœur des process des règles du digital est un des leitmotivs de la transformation. Elle s'appuie sur deux convictions : celle que ces méthodes assurent l'implémentation de manière transverse et à l'échelle industrielle mais aussi celle qu'elles garantissent l'adoption des projets, puisque pensés au plus près du terrain.

Au-delà de ce changement de méthode en interne, nous croyons que la transformation digitale s'appuie sur un écosystème. C'est particulièrement le cas avec le programme Usine du Futur, que ce soit avec des start-ups ou des entreprises innovantes dans le domaine du big data et plus précisément des algorithmes de maintenance. Pour exemple, SNCF déploie avec Five la surveillance de deux groupes froids (utilisés dans un des processus industriel du site d'Oullins), le tracking de flux dans les ateliers avec la société Hub One et Editag ou encore avec d'autres le co-développement d'un exosquelette passif polyvalent adapté aux cas d'usage de la maintenance ferroviaire.

### La transformation managériale au cœur de la réussite du programme

Mais l'implémentation de n'importe quelle technologie n'est pas suffisante pour faire d'une usine un outil rapide

et flexible, une usine du futur. Tout projet Usine du futur qui ne prend pas en considération la transformation managériale et des processus est incomplet. Les collaborateurs restent le premier actif de l'entreprise, l'homme est plus que jamais au cœur de l'usine de demain.

La mise à jour en temps réel de l'image numérique de l'usine accessible à tous tend à transformer les lieux de production en maison de verre là où, auparavant, celles-ci étaient plutôt pilotées comme des boîtes noires où chaque équipe, chaque unité de production, chaque usine était responsable de sa seule performance.

L'application de standards portés par les démarches d'excellence opérationnelle et de lean management sous-tend aussi une logique de coopération en réseaux transverses qu'il faut cultiver particulièrement dans une entreprise jusqu'à présent historiquement ancrée sur des logiques « en silos ».

La technologie n'est pas seulement un moyen formidable de simplifier et optimiser les process mais c'est aussi un facilitateur d'échanges, et parmi lesquels autant de retours des utilisateurs.

Ouvrir la prise de parole, grâce au réseau social d'entreprise, induit un fonctionnement fortement décentralisé où les réseaux sont moins pyramidaux et plus transverses, réunissant des acteurs opérationnels ou fonctionnels, autour de métiers et/ou d'expertises. Déployé depuis quelques mois, Yammer réunit déjà 24 000 membres avec un taux d'engagement remarquable et de premiers fruits sur l'innovation opérationnelle dans certains technicentres. Cela n'est pas sans poser de questions car il s'agit là d'un changement culturel dans lequel les managers intermédiaires et les directions d'usine changent de rôle et deviennent passeurs plutôt que sachants, porteurs de sens et d'engagement. C'est un enjeu crucial de la transformation industrielle, peut-être le plus important.

# L'effet d'attractivité de la performance connectée

Par Laurent COUILLARD  
et Etienne DROIT  
OptimData

L'industrie est au début d'une révolution majeure. La rencontre entre l'industrie et l'Internet ouvre des nouveaux horizons pour améliorer la performance industrielle. Les modèles économiques traditionnels évoluent d'une vente de produit vers une vente de service, voire même vers une économie du partage. La chaîne de valeur construite depuis des dizaines d'années est amenée à se reconstruire et de fait la relation client-fournisseur doit se réinventer. L'homme dans l'usine reste un facteur déterminant de la performance globale, mais très probablement son rôle va évoluer tout comme ses responsabilités et sa zone d'action.

La performance connectée permet de répondre aux challenges de l'industrie du futur. Elle re-définit les codes et les modèles pour améliorer l'adaptabilité des outils industriels aux besoins, recentrer l'homme sur les points de valeur, atteindre les objectifs de durabilité et gérer la compétitivité. La valeur créée par l'ensemble des données agrégées crée une force d'attraction entre le fabricant de systèmes de production et ses clients, qui soude une relation d'une nature nouvelle. OptimData, avec sa plate-forme ProductInUse propose une technologie innovante pour réussir cette transformation. Cet article présente les fondamentaux de la solution.

## Quand l'industrie rencontre Internet

La quatrième révolution industrielle se construit sur la digitalisation de l'expérience de production et s'appuie sur l'intégration des technologies de l'internet. Au début des années 70, les technologies de l'industrie dominent et bénéficient des avancées technologiques d'internet pour améliorer les processus de conception, de fabrication et de livraison. C'est aussi le début du pilotage de la performance par des automates. Cependant dans les années 2000, l'internet se développe extrêmement rapidement et va très vite induire des bouleversements significatifs sur le marché qui pour beaucoup n'ont pas été anticipés par l'industrie : l'internet du contenu (www) va ouvrir les marchés et introduire une compétitivité mondiale, l'internet du commerce va transformer la chaîne de sous-traitance en permettant à chaque fournisseur de se connecter avec le client final, plus récemment l'internet social et mobile a inversé l'accès à la technologie, la rendant pour la première fois plus facilement disponible à la maison qu'en entreprise.

L'émergence de l'internet des objets offre à l'industrie manufacturière une nouvelle opportunité de réagir. Devant l'ampleur des changements potentiels, elle se trouve dans un état d'incertitude sur les nouveaux modèles économiques et sociaux comme sur la maîtrise des nouvelles

technologies. Cependant la pression concurrentielle et l'opportunité de créer rapidement de nouveaux produits et services imposent à chacun de s'adapter.

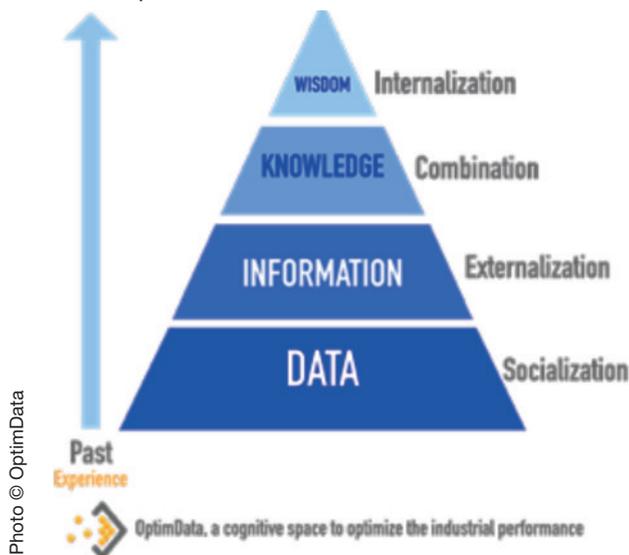
Dans le cadre de cette révolution, la principale opportunité est pour le constructeur de se rapprocher de son client pour comprendre l'usage de son système de production en rassemblant et en interprétant les données attachées à celui-ci. La structuration de ces données permet de révéler un nouvel espace de connaissance facilement accessible. Ces nouveaux espaces cognitifs créent un effet d'attraction entre les concepteurs des systèmes de production et les utilisateurs et conduisent à reconstruire naturellement la chaîne de valeur.

## La mise en œuvre des espaces cognitifs

L'informatique et l'intelligence artificielle ont fait émerger de nouvelles approches sur ce que représente l'information et de nouvelles théories ont été développées pour donner une approche scientifique au concept d'information. De Shannon (1949) qui se préoccupait de la qualité de la transmission des données à Landauer (1980) qui affirme que l'information est une quantité physique au même titre que la matière, l'espace, le temps et l'énergie, la théorie de l'information a profondément évolué. Bien que ces

théories aient toutes permis des avancées considérables, la définition de la valeur d'une information reste toujours un sujet de débat. En particulier, il reste à trancher si l'information existe indépendamment de son détenteur ou des buts qu'il poursuit ?

S'il est clair que la valeur d'une information dépend du contexte et de l'observateur, la transformation d'un ensemble de données brutes en information a fait l'objet de beaucoup de recherches. Un modèle intéressant pour l'enrichissement des données est le modèle DIKW (data, information, knowledge, wisdom). Ce modèle, formalisé sous sa forme de pyramide utilisée aujourd'hui par l'américain N.L. Henry en 1974, a été largement commenté et enrichi depuis.



Il permet d'enrichir progressivement les données brutes. C'est la disponibilité, l'agrégation, la contextualisation qui transforme une donnée brute en une connaissance utilisable qui permet la prise de décision et est génératrice d'action. La mise en œuvre d'une démarche de ce type sur un système industriel conduit à l'émergence d'un espace cognitif qui permet de créer de la valeur et d'améliorer la performance du système. C'est cette démarche que nous nommons la performance connectée.

### La capitalisation des connaissances dans des espaces cognitifs.

Les analyses réalisées par OptimData auprès de plusieurs industriels sont très homogènes sur ce que savent les fabricants d'équipements et sur ce qu'ils essaient de savoir.

Un industriel possède bien évidemment une bonne connaissance du produit qu'il a vendu à un producteur. Il connaît ses caractéristiques théoriques (et contractuelles). Il a pu les vérifier lors de la réception et de la validation par l'usine. Pendant la période de garantie il suit son client et répond aux besoins exprimés pendant celle-ci. Il faut toutefois noter que même s'il croit avoir la connaissance de son client, celle-ci est souvent diffuse et incomplète. En effet, elle est dispatchée entre plusieurs sources d'information : ERP pour la nomenclature et les plans de maintenance, CRM pour les transactions commerciales et les

pièces détachées, GPAO, fiches de garanties ou encore fiche d'interventions. Reconstruire l'historique complet du client, même sur la période courte de garantie, peut s'avérer très complexe.

De plus, dès la fin de cette période de garantie, la connaissance du fabricant de machine diminue. Il perd souvent le retour d'expérience de l'usage des machines, jusqu'à ne plus savoir comment la machine est réellement utilisée. En effet, la durée de vie des machines est longue et de nombreux acteurs interviennent pour les maintenir ou les mettre à jour. Ces modifications peuvent être le fait du fabricant de la machine, de sociétés tierces, voire de multiples intervenants chez le producteur lui-même.

Afin de pouvoir promettre une performance de production, il faut être capable d'interpréter l'usage de la machine durant toute sa durée de vie et proposer les actions nécessaires et suffisantes pour maintenir la meilleure performance. La qualité de cette interprétation réside dans la capacité d'agrégation des données du constructeur et des données d'usage, ce que OptimData appelle l'espace cognitif du système de production. La modélisation des données à travers de nouvelles technologies permet de réaliser des corrélations complexes et de décrire des comportements atypiques de la machine et l'action humaine adaptée à ces derniers. La plate-forme ProductInUse traduit le résultat des algorithmes en contenu lisible par les opérateurs, donnant ainsi une voix à la machine : Et si les machines pouvaient vous parler ? La connexion des systèmes industriels et la mise en œuvre de leurs espaces cognitifs devient donc un enjeu majeur de l'internet industriel.

L'expérience montre que plus l'espace cognitif est grand, pertinent et accessible, plus l'opportunité d'offrir de meilleurs services et d'améliorer la performance de production est significative. Il est alors possible d'envisager une approche incrémentale pour le développement de ces espaces cognitifs. Comme dans le phénomène de gravitation, on constate que l'espace cognitif crée une attraction auprès des acteurs du système de production ou la masse correspond au volume de données et la distance à l'accessibilité de l'interface utilisateur. Plus il y a de données utiles plus la force d'attraction est grande. Plus simple est l'interface, plus la distance entre l'utilisateur et la connaissance est faible. Au-delà de l'analogie physique, l'attractivité générée permet de construire une nouvelle relation entre le fabricant du système et ses clients, centrée sur la performance de production.

### Le besoin de pragmatisme et de nouvelles technologies

L'économie de la performance est un sujet en étude depuis plusieurs années. Déjà il y a 4 ans, la foire industrielle de Hanovre avait comme maître mot l'industrie 4.0. Ce fut encore le cas cette année. Cela peut sembler déjà long pour le monde d'internet, mais à l'échelle des cycles industriels le développement est ultra-rapide.

Le développement d'internet est radicalement différent de celui de l'industrie. Beaucoup de composants sont

disponibles en sources ouvertes. Les algorithmes d'apprentissage par exemple sont facilement accessibles et partagés par des leaders comme Google. OptimData bénéficie de ces briques technologiques pour les assembler et répondre au challenge industriel de l'industrie du futur.

Si les technologies sont facilement accessibles, il faut toutefois savoir les choisir et les mettre en œuvre. Ainsi de nombreux industriels concentrent beaucoup d'énergie pour prévoir les pannes des machines plusieurs semaines à l'avance. La réalité montre que les algorithmes de Machine Learning, gourmands en données d'apprentissage, ne sont pas bien adaptés pour le fonctionnement des systèmes industriels où la fréquence d'apparition du problème est trop faible.

OptimData a choisi de construire une démarche d'apprentissage par enseignement. La plate-forme capitalise les usages et interactions entre les hommes et la machine. Ces interactions sont décrites par des données comme des signatures puis détectées en temps réel. Dès lors qu'une machine entre dans une séquence connue des mécanismes d'alerte sont mis en œuvre, proposant au bon utilisateur la meilleure action à réaliser. Cette méthode pragmatique donne des résultats très rapidement.

### Le besoin de nouveaux modes de collaboration

Les enjeux technologiques pour l'industrie sont immenses mais le développement d'une solution robuste nécessite une approche moderne du développement.

Il faut maîtriser de nouvelles connaissances comme les composants technologiques d'internet, de nouvelles bases de données, de nouvelles infrastructures informatiques et de nouveaux terminaux.

Photo © OptimData



Les méthodes de développement doivent être pensées pour optimiser le temps et la vitesse de mise en production et sont souvent très différentes de celles utilisées pour le développement des machines. Le périmètre des fonctionnalités évolue rapidement en fonction du retour d'expérience. C'est une transformation complexe pour un industriel et une bonne raison de favoriser la collaboration avec des entités dont le fonctionnement est par nature plus flexible et plus agile.

L'industrie doit donc probablement apprendre à collaborer et ne pas succomber au syndrome de l'autarcie. Bien

sûr General Electric, Siemens ou Bosch investissent massivement dans l'internet industriel avec des structures dédiées basées sur ces nouvelles méthodes. Ces investissements ne sont cependant pas accessibles à tous et renforcent le besoin nouveau de collaboration.

### Le partage des données peut-il être une réalité rapidement ?

Un des points clés remontés par nos clients et prospects est l'accessibilité aux données d'usage. Il se détermine par deux sujets d'inquiétude, l'un juridique, l'autre technique. Pour ce dernier, les technologies actuelles sont relativement simples à mettre en œuvre. Réaliser la connectivité entre la machine et la plate-forme hébergée sur le cloud est une démarche maîtrisable qui peut être ajustée en fonction de paramètres comme la bande passante, le coût et la sécurité. La dimension juridique est un frein à la mise en œuvre de solution industrielle. Mais là encore internet nous apporte des leçons intéressantes dont nous devons nous inspirer. Ce qui fait que vous autorisiez une application à utiliser vos données personnelles est la perception de la valeur du service que vous en retirez. Par exemple, l'application Waze vous donne avec précision la route la plus rapide entre votre position et votre destination. Cette route est recalculée avec des données mises à jour en continu fournies par les internautes. Il y a volontairement un partage des données pour ce service. Chez OptimData nous pensons que la même approche est réalisable dans l'industrie. Si un fabricant de machine apporte des services connectés permettant au producteur d'atteindre ses objectifs, alors la demande d'accès aux données est clairement motivée. Il est évident que la sécurité et le contrôle des données est primordial, mais là encore les solutions technologiques robustes existent. ProductInUse est une plate-forme hébergée, sécurisée et privée pour le concepteur du système de production et ses utilisateurs.

### Et si les machines pouvaient vous parler ?

Construire une économie de la performance, c'est réaliser des services innovants pour ces clients. Voici quelques exemples étudiés par OptimData.

Un producteur d'eau en bouteille fait face au challenge nouveau d'adaptation fréquente de sa production à la demande du marché. Que ce soit par le format, la couleur ou l'étiquette de la bouteille, les changements fréquents obligent à des arrêts de production qui induisent un manque à gagner. La performance est définie par la cadence multipliée par le temps de production. Grâce à son intelligence augmentée des signatures de données, la machine peut prévenir d'une fréquence de reconfiguration anormalement longue sur une période de temps et en identifier les causes. La machine suggère alors les bonnes actions à faire pour atteindre l'optimum. La disponibilité de la production est très nettement améliorée avec un gain de plus de 10 %. Le producteur améliore sa performance et le fabricant fidélise sa relation avec un service ajusté à son client.

Photo © OptimData



Dans un autre cas nous avons pu montrer par les données les raisons possibles d'un arrêt de production. Cet arrêt implique des actions lourdes de remise en configuration et relance de la chaîne de production pouvant durer plus de 12 heures. Chaque raison possible est internalisée dans ProductInUse via leur description en séquence : Si cette corrélation de paramètre est suivie de cette autre corrélation alors il y a un risque de x %. A réception des données dans la plateforme, la détection d'une des signatures déclenche l'alerte.

La quantité d'exemples est très vaste et implique le savoir-faire métier des opérateurs, techniciens et ingénieurs.

Pour faciliter l'acquisition de ces connaissances et récompenser le savoir-faire nous avons d'ailleurs intégré une dimension sociale à la solution. Motiver la collaboration est ainsi un facteur clé de succès et d'adoption. Mettre la machine dans l'équipe de production, lui donner le

moyen d'interagir avec les hommes est disruptif. L'utilisation d'expériences issues d'internet devient primordiale. C'est pourquoi l'organisation de production devient communautaire et collaborative. Ce n'est plus une chaîne de décision qui intervient mais une communauté au service du même objectif.

## L'industrie du futur

Industrie et Internet vont ouvrir de nouveaux horizons. Les systèmes de production seront augmentés d'une intelligence nouvelle apprenante et collaborative. L'homme autour de la machine sera augmenté de cette intelligence collective et pourra intervenir sur des domaines plus vastes et plus pertinents.

Si aujourd'hui 22 % de la capacité de production n'est pas utilisée car elle ne répond pas correctement à la demande instantanée et localisée, si la disponibilité des machines est de 75 % du temps de production planifié, alors la production réelle actuelle est de 59 %. Comment répondre au besoin croissant des consommateurs qui en veulent toujours plus, plus vite et plus personnalisé ? Est-ce raisonnable de construire encore plus d'usines et de consommer plus de ressources énergétiques ? Partager les objectifs de performance, favoriser l'agilité des systèmes et même le partage pourrait transformer le monde. Et si les machines pouvaient parler, pourrions-nous produire mieux ?



Photo © OptimData

# Michelin, acteur de la mobilité digitale

Par **Éric CHANIOT**

Chief Digital Officer du groupe Michelin

« Créé au XIX<sup>e</sup> siècle, Michelin entre dans le XXI<sup>e</sup> siècle grâce au digital. Leader dans le pneumatique, nous voulons devenir un leader mondial de la mobilité », indiquait le président du groupe Michelin, M. Jean-Dominique Senard, dans une interview donnée en 2015. Cette volonté forte a conduit notre groupe à lancer un vaste plan de transformation s'articulant autour de trois axes : le client digital, l'employé digital et la digitalisation des processus internes du groupe.

Si le monde du pneumatique paraît a priori éloigné de celui du digital, il n'en va pas de même des services liés à la mobilité. Dans ce domaine, Michelin a multiplié les innovations, les partenariats et les acquisitions pour mieux répondre aux attentes de ses clients (tant des particuliers que des professionnels).

De la réservation en ligne de restaurants jusqu'au recueil de données en temps réel pour les camions utilisés dans les mines et la distribution en ligne de pneumatiques, en passant par l'impression 3D métal, une chose est sûre : Michelin se transforme !

## Le contexte

La révolution digitale est en marche : le développement grand public d'Internet, dans les années 1990, a probablement été le grand tournant social, culturel et économique de la fin du siècle dernier.

Ce qui frappe, vingt ans plus tard, c'est la massification des échanges digitaux et le poids des acteurs de la nouvelle économie. Les développements de l'e-commerce, du mobile (plus de 50 % de la population mondiale seront connectés à Internet *via* les *smartphones* en 2020), de l'Internet des objets (plus de 50 milliards d'objets connectés en 2020) ou encore du *cloud computing* sont autant de véritables lames de fond qui bouleversent l'économie en profondeur.

Avec cette digitalisation de la société, une nouvelle ère s'est ouverte pour les industriels. La révolution numérique est en effet pour eux une formidable opportunité de capter les usages des clients en connectant les produits mis sur le marché pour davantage innover, et ainsi mieux répondre à leurs attentes.

## Les trois piliers de la vision qu'a Michelin de la transformation digitale

### **Premier pilier : mieux servir nos clients, inventer de nouveaux *business models***

Le digital révolutionne la manière dont tout un chacun consomme des biens et des services. Le client est capable de comparer instantanément entre elles toutes les offres répondant à son besoin, il est éclairé par des

informations nombreuses et bien plus accessibles que par le passé et il est en recherche de toujours plus de simplicité. L'hyper-individualisation des offres fondée sur une connaissance très fine des attentes des clients est déjà une réalité, tandis qu'en parallèle des communautés se développent autour de centres d'intérêts partagés.

Fort de sa raison d'être qui est d'« offrir à chacun une meilleure façon d'avancer », le groupe Michelin a pris très tôt le tournant digital.

Ainsi, par exemple, en 2001, le site ViaMichelin a été lancé en France. Grâce à ce service, ce sont près de 800 millions d'itinéraires qui sont calculés chaque année en Europe. L'offre des applications Michelin s'est depuis lors enrichie pour offrir aujourd'hui des informations sur les hôtels ou les restaurants. Plus récemment encore, Michelin a acquis la société Bookatable, devenant ainsi le leader européen de la réservation en ligne de restaurants.

# Bookatable

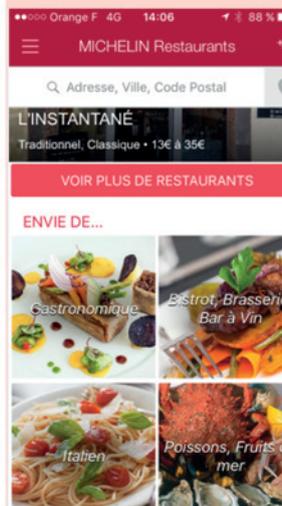
Pour mieux servir les flottes de véhicules professionnels, Michelin mise aussi sur la télématique embarquée, sur l'électronique et sur le *cloud computing* afin de recueillir en temps réel les données des véhicules, d'analyser leurs performances et celles des conducteurs et de proposer des solutions qui facilitent la mobilité, augmentent la productivité, réduisent la consommation d'énergie et améliorent la rentabilité. Des offres comme Michelin Tire

## La transformation digitale des services d'aide à la mobilité

En 1919, le Bureau des renseignements (créé en 1908 par Michelin) devient son Bureau des itinéraires. Il établit des fiches détaillées qui sont envoyées gratuitement par courrier aux automobilistes qui en font la demande : des fiches qui précisent l'itinéraire à emprunter avec le kilométrage, les étapes possibles, délivrent des recommandations en matière d'hôtellerie et de restauration, signalent les curiosités à visiter et prodiguent également des conseils en matière de sécurité routière.

En 1989, ouvre, sur Minitel, le premier service d'itinéraires 3615 Michelin. Un service élargi à toute l'Europe en 1992, qui donnera naissance en 2001 à ViaMichelin.fr, le premier site Internet européen d'itinéraires et d'informations touristiques présent dans 8 pays.

En mai 2011, Michelin annonce le lancement de l'application mobile gratuite ViaMichelin (disponible tout d'abord sous iOS, puis sous Android). Cette application propose dès ses débuts la recherche de cartes, le calcul d'itinéraires, des informations sur le trafic, sur les parkings et sur les stations-services, ainsi qu'une sélection de services recommandés par Michelin. En 2015, ViaMichelin était présent dans 13 pays européens.



## Le pneu connecté dans le domaine du génie civil

Michelin a été le premier fabricant de pneus à proposer un système de contrôle automatique (monitoring) de la pression des pneus (le TPMS : *Tire Pressure Monitoring System*) intégré à la jante, évitant ainsi aux opérateurs la contrainte d'un suivi manuel de la pression des pneumatiques ou d'avoir à recourir à des accessoires proposés à la vente.

Depuis son lancement en 2006 dans des mines d'Amérique du Sud, le *Michelin Earthmover Management System* (MEMS) est le système de *monitoring* de pneumatiques le plus répandu dans le monde, avec plus de 1 400 tombereaux rigides équipés utilisés dans 35 mines de 9 pays répartis sur 4 continents.

En 2006, le MEMS permettait de collecter les données de température et de pression de chaque pneumatique via un identifiant unique et de les transmettre en temps réel vers des salles de contrôle et de les consulter à partir de terminaux assistants personnels (PDA : *Personal Digital Assistant*). D'abord commercialisé dans les mines d'Amérique du Sud, il a été proposé l'année suivante sur les marchés d'Amérique du Nord, d'Australie et d'Afrique.

En 2012, le MEMS Evolution2 devient un système connecté au réseau wifi de la mine permettant *via* le serveur d'accéder aux données à partir de n'importe quel lieu couvert par le wifi. Un logiciel intégré et un terminal PDA industriel et ergonomique assurent la fiabilité de l'ensemble.

En 2015, MEMS Evolution3 fait entrer le pneu de génie civil Michelin dans le monde du pneu communicant : des alertes en temps réel peuvent être envoyées pendant toute la vie du pneu *via* Internet, email ou SMS à tous les acteurs de la mine concernés où qu'ils soient. Des rapports multiples comportant des indicateurs statistiques sont également proposés aux opérateurs des mines.

## Michelin Tire Care : un ensemble d'offres connectées s'adressant aux transporteurs routiers

Un tiers des pannes de poids lourds en Europe est lié aux pneumatiques, et dans 90 % des cas il s'agit d'un problème de gonflage. Afin de collecter des informations sur l'état de leur parc de pneumatiques et d'en systématiser les contrôles, Michelin propose aux transporteurs routiers trois solutions : TireLog, un carnet d'entretien de poche digital ; iCheck, une offre permettant le diagnostic prédictif des pneumatiques, et iManage qui combine maintenance et traçabilité individuelle de chaque pneu, puisque celui-ci est connecté *via* une puce RFID. Pour permettre de diffuser un nouveau standard sur le marché, Michelin a ouvert à la concurrence son brevet relatif à l'intégration de son patch RFID aux pneus.

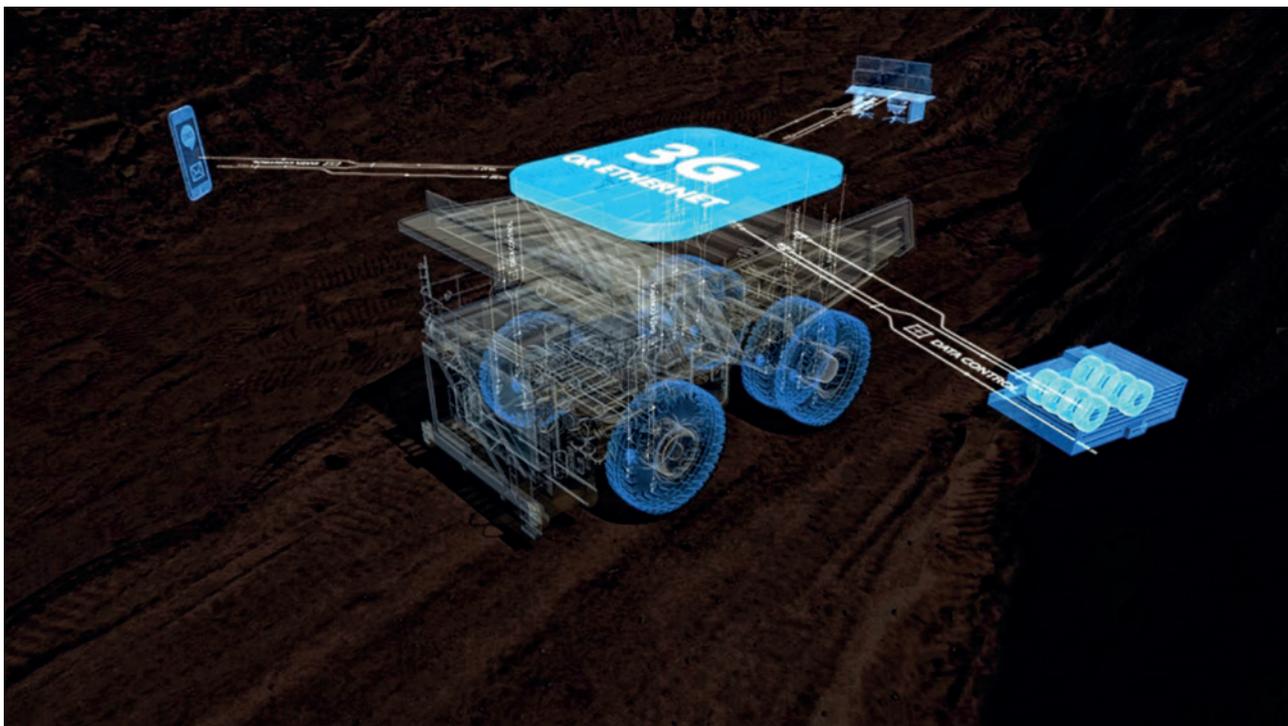


Photo © MICHELIN

MEMS, le système de *monitoring* servant au contrôle de la température et de la pression des pneumatiques des camions utilisés dans des mines.



Photo © MICHELIN



Photo © MICHELIN

Consultation via un *smartphone* ou une tablette des données collectées grâce au patch RFID intégré aux pneumatiques.

Care ou celles développées par sa filiale Michelin Solutions permettent à ces flottes d'accroître la disponibilité de leurs véhicules en réduisant les temps d'arrêt et en procédant à leur maintenance proactive.

Le monde de la distribution est lui aussi en pleine mutation : les frontières sont en train de s'estomper entre les *Brick & Mortars*, les *Click and Mortars* et les *Pure players*..., l'enjeu restant plus que jamais la qualité du service et une expérience consommateur fondée sur une relation maîtrisée par les marques.

Près de 80 % des personnes qui achètent des pneus se sont au préalable renseignées sur Internet. Or, dans ce secteur, ce sont les sites marchands qui offrent le plus d'informations. En outre, de plus en plus de consommateurs achètent leurs pneus en ligne (en France, ils sont aujourd'hui 13 % à le faire). D'où l'intérêt d'acquérir ou de conclure des partenariats avec des sites qui valorisent les marques et qui soient performants, comme Michelin l'a fait récemment en France, avec AlloPneus.com, et au Royaume-Uni, avec BlackCircles.com. Michelin développe aussi l'empreinte digitale de ses réseaux franchisés en lançant par exemple des e-Shops sur les sites Internet d'Euromaster (en Europe) et de TyrePlus (en Asie).

**Deuxième pilier : transformer nos manières de travailler et notre état d'esprit**

Le déploiement de nouveaux outils collaboratifs a déjà modifié les façons de travailler chez Michelin. Grâce à notre réseau social interne BibSpace, ce sont près de 600

### Accompagner de petits transporteurs au Brésil

En septembre 2014, Michelin a acquis la société Sascar, dont l'activité consiste à aider les petits transporteurs indépendants au Brésil (au total 33 000 flottes gérées, correspondant à 190 000 poids lourds) dans la gestion et la sécurisation de leur flotte de véhicules, grâce notamment à des services télématiques.

communautés actives qui échangent virtuellement dans le groupe.

La transformation des façons de travailler comme des modes de management sera profonde. En effet, à partir du moment où l'on place la connaissance du client et ses données au cœur de l'organisation, on ne peut plus raisonner uniquement en termes de processus de décision séquentiels (planification stratégique, planification tactique, planification opérationnelle) : il faut aussi savoir créer les conditions d'une adaptation permanente de son pilotage en fonction de l'analyse des données collectées. Le plus grand défi auquel chacun a à faire face aujourd'hui n'est pas d'abord technique, même si les compétences sont rares dans certains domaines comme celui de l'analyse des données, mais bien celui de l'état d'esprit. Une transformation digitale réussie, c'est une transformation de l'entreprise qui apportera aux équipes plus de simplicité et plus de responsabilisation et qui renforcera de ce fait leur engagement au service de nos clients.

On n'insistera jamais assez sur l'importance de la culture d'entreprise dans de telles transformations : partager la même raison d'être, la même mission et les mêmes valeurs sont des repères essentiels pour les équipes. En les

### Faciliter l'ensemble du processus d'achat, depuis le choix du pneumatique jusqu'à son montage par des professionnels

Après sa prise de participation de 40 % dans Allopneus.com (le leader français de la vente en ligne de pneumatiques), Michelin a annoncé, en mai 2015, son acquisition de 100 % de la société BlackCircles.com, qui est le numéro Un de la vente de pneumatiques sur Internet au Royaume-Uni. Cette acquisition permet à Michelin de rendre plus performant son mix de canaux de distribution au Royaume-Uni, et en particulier de développer des synergies avec son distributeur traditionnel ATS Euromaster. Comme l'indique Mike Welsh, le fondateur et directeur général de BlackCircles.com, « les trois quarts des consommateurs s'informent et comparent entre eux les prix sur Internet, et dans 90 % des cas, ils visitent les sites des distributeurs. Moins de 10 % des Britanniques achètent leurs pneus sur Internet, mais cela progresse très vite. Le potentiel est donc énorme pour les acteurs de l'e-commerce qui sauront satisfaire et fidéliser ces nouveaux clients ».

### Devenir un acteur clé de l'impression 3D Métal

En septembre 2015, Michelin a annoncé la création d'une joint-venture pour développer et commercialiser à l'échelle mondiale des machines et des ateliers de production industriels via la technologie de fabrication additive métallique, communément appelée impression 3D Métal.

Fives est un groupe français leader mondial de la conception et de la réalisation de machines et de lignes de production à haute valeur ajoutée. Présent dans une trentaine de pays, il fournit des équipements et des systèmes de production aux plus grands acteurs industriels mondiaux, dans des secteurs variés.

Fives apporte sa compétence, son expérience et sa capacité d'innovation en génie mécanique, en automatisation et en contrôle de processus industriels pour la réalisation de machines et de systèmes intégralement numérisés répondant aux impératifs technologiques de la fabrication additive, mais aussi aux contraintes de fiabilité et de reproductivité d'une production industrielle maîtrisée.

De son côté, Michelin a développé depuis plusieurs années une expertise unique de fabrication additive métallique lui permettant de produire à l'échelle industrielle des pièces de moules irréalisables avec les moyens de production traditionnels (usinage, soudure...).

Cette technologie permet aujourd'hui de développer et de commercialiser des pneumatiques Poids Lourds et Tourisme aux performances inégalées.

Si la fabrication additive est déjà largement utilisée par les industriels pour le plastique, l'impression 3D métal est encore aujourd'hui un marché de niche, mais c'est un marché qui est en pleine mutation. D'abord destinée à la production de pièces uniques à forte valeur ajoutée, la technologie impression 3D métal est en train de gagner un marché plus large et commence à être utilisée par les équipementiers, les accessoiristes ou bien encore par les avionneurs. Cette technologie est assurée d'un fort potentiel de développement grâce à ses nombreux atouts : processus totalement digitalisé et donc totalement flexible, simplification des assemblages de pièces, gain de masse, suppression des pertes matières et possibilités quasi infinies de personnalisation des pièces à produire.

réaffirmant et en plaçant nos clients et nos employés au cœur de notre transformation digitale, nous donnerons à nos entreprises toutes les chances de sortir gagnantes de cette nouvelle révolution industrielle.

Pour que tous ces enjeux soient bien compris et pour que les expertises nécessaires à la transformation digitale soient correctement développées, un plan de montée en compétences digitales est en train d'être déployé : il s'appuiera notamment sur de l'e-learning (*Corporate Open*

*On-line Courses*) et sur la mise en place de parcours de formation spécifiques, avec les directions les plus concernées par l'acquisition de nouvelles compétences.

### Troisième pilier : digitaliser les processus internes

Pour les industriels, une nouvelle ère s'est ouverte. La révolution numérique est en effet pour eux une formidable opportunité de capter les usages des clients en connectant les produits mis sur le marché pour davantage innover et mieux répondre à leurs attentes. Les métiers du marketing et de la recherche et développement sont en train d'évoluer considérablement grâce à l'analyse des données d'usage. Cette masse d'informations doit être traitée, stockée, analysée avant de pouvoir réellement générer de la valeur. Le *winning business model* d'hier est forcément devenu aujourd'hui un *knowing winning business model*. Dans ce domaine, les questions de cyber-sécurité et de protection des données, tout comme celle de la vie privée, doivent rester pour nous des points de vigilance majeurs.

**La digitalisation a investi tous les domaines de l'entreprise** : elle permet une présence de celle-ci sur les réseaux sociaux, elle constitue un levier majeur de ses recrutements, ainsi que de sa formation (avec le développement

de l'*e-learning*) et de son innovation (avec un recours accru à la simulation et à l'impression 3D numérique).

« Offrir à chacun une meilleure façon d'avancer », c'est enfin proposer à toutes les parties prenantes la possibilité d'utiliser le levier digital pour travailler en mode collaboratif au progrès de la mobilité durable.

Michelin a ainsi créé à cette fin une communauté mondiale en ligne, le Michelin Challenge Bibendum Open Lab, qui rassemble un écosystème de décisionnaires privés et publics et qui initie des projets de co-innovation.

Sous l'impulsion de son président, M. Jean-Dominique Senard, et de l'ensemble de son comité exécutif, Michelin a lancé un vaste plan de transformation digitale. La qualité du service que nous apportons à nos clients, la simplification de nos modes de fonctionnement et la responsabilisation de nos équipes sont au cœur de cette transformation, dont les enjeux humains et culturels sont essentiels.

Le digital est un moyen mis au service d'une stratégie : c'est un formidable levier pour réinventer nos *business models* et nos façons de travailler, et pour attirer et retenir les talents qui souhaitent nous rejoindre dans cette aventure, au service d'une meilleure mobilité !

# The industry of the future

## Introduction

Denis Ranque, chairman of the board of Airbus Group & president of La Fabrique de l'Industrie

## The new challenges for industry

**The crucial condition for the survival of industry in France: What competitive advantage to expect from current changes?**

Philippe Varin, chairman of the board of Areva & president of the Cercle de l'Industrie

"Industry is dead, long live industry!" By redistributing comparative advantages among industrialized and low-cost countries and by upending vested positions, issues related to the climate, energy and digitalization are genuine opportunities for French industry. The technological, economic, social and environmental changes under way and to come have the potential of curbing the pernicious deindustrialization that has so severely affected our country in recent decades. Better yet, they might signal the advent of an industrialized France that will, once again, be a winner, even more so than in the past, since it will be more competitive, innovative and attractive. It is up to public and private stakeholders to see to it that this transition toward tomorrow's industry will be successful. Three decisive levers of action can be used: investments in innovation, changes inside firms and the construction of a Europe of industry.

**Industry faces a double challenge: New digital practices and easy money**

François Bourdoncle, president of FB & Cie and founder of Exalead

Media hype about the "uberization" of the economy has caught everyone's attention. It is easy to yield to the temptation of believing that this hype, as has occurred for other popular topics, is overexaggerated and that the boom is going to end up in a bust. We are forced, however, to take note that the trend is lasting and swelling. History teaches us that, when bubbles burst, leaders' positions are reinforced, evidence of this being Google and Amazon after the dot.com bubble exploded in 2000. Above all, we notice that the Internet's giants are now using their digital know-how and considerable financial resources to tackle the "physical" world: transportation, energy, telecommunications, etc. Firms such as Uber or SpaceX will, indeed, eventually menace whole sectors of the economy. By describing the processes at work, we can try to understand why we are undergoing a full-fledged industrial revolution and imagine how traditional industries might adapt to it.

**From tolerating to wanting industry: A few paradoxes about manufacturing and perceptions of it**

Thierry Weil, delegate-general of La Fabrique de l'Industrie

For its redevelopment in France, industry must attract the best talents and be perceived as a source of opportunities, instead of nuisances, by the people who live nearby and other stakeholders. Our unstable, contradictory ideas of industry evoke sometimes the pleasure of shaping materials and making concrete objects, and, other times, an impalpable, "cyberphysical" universe, a source of worry. Given the increasingly fuzzy bounds of industry, we are mistaken to want to differentiate manufacturing from the services that accompany and condition it. Paradoxically, manufacturing itself is less and less visible even as society is becoming "hyperindustrial". Industry, nomadic and evanescent, still shapes the economy, territorial subdivisions and identities.

**Changes in work on three time scales**

Michel Lallement, Lise-CNRS, CNAM (Paris)

Changes in the contemporary world of work can be interpreted in relation to three time scales: the short term with, at present, the brunt of the digital revolution; the midterm defined by strategies for a post-Taylorist reconfiguration of the way of organizing work; and the long term with questions about the relevance of the categories we use to understand so-called "productive" activities. The clash between these three scales has set off deep changes in our ways of working and perceiving work.

**The frugal firm**

Mireille Campana, engineer from École des Mines

"Sustainable performance", a daunting task assigned to the "factory of the future", refers to an efficient use of resources, the reduction of wastes and nuisances, and a durable, local implantation. The phrase "frugal factory" often refers to this optimization of resources, which affects the factory's operations and production of goods and services. Drawing on its agility, digitalization and robotization, the frugal factory has been presented as signaling a new industrial revolution after the three previous ones: mechanization (end of the 18th century), electrification (end of the 19th century) and automation (during the 1970s).

**Generic technology for the factory of the future**

**What will the factory of the future resemble?**

Karine Gosse & Michel Dancette, Fives Group

The factory of the future fits into the economic, societal and environmental trends that set its objectives and limits. It must meet up to major economic challenges: changing consumption patterns and the competitive advantages of organizations and territorial subdivisions. It must also respond to societal issues (whence its attraction) and environmental requirements. The accelerated development of

many a technological (in particular digital) innovation has amplified the trend now under way in all industrial sectors, whether traditional or not. Besides digital technology and devices, this trend is affecting business models, work and organizations. Fives, a two-century old industrial group, sees its activities in relation to this trend and is fully involved in current discussions about it.

### Computational intensity and simulation

**Christian Saguez**, president of CybeleTech, scientific director at Teratec

All sectors of industry and services have deeply changed owing to the widespread use of digital technology, in particular of computationally intense techniques and simulation. The latter represent major strategic issues for creating value and jobs. Thanks to the technology now available, considerable gains can be made in both competitive advantages and capacities for innovation. Controlling this technology is, therefore, a fundamental requirement for our country. Aware of this, public authorities have undertaken important actions that should lead to the availability of both exascale computations and the indispensable applications and software. Furthermore, European programs have been launched in which our country has a leading role. Among the few lands with skills all along this strategic sector's value chain, France must grasp this unique opportunity.

### The cyberphysical factory: connected, simulated and reconfigurable

**Christophe de Maistre**, chairman of the board of Siemens France

Simulated, connected, modular, the cyberphysical factory is an entire, constantly evolving, system based on a dynamic articulation of the real with the virtual. It holds promises for industry. Besides the gains in productivity to be achieved, manufacturing processes will be overhauled; new issues will arise for training; new perspectives will open for relocalizing jobs in manufacturing; and cybersecurity will have to cope with new problems. Innovative since its foundation, Siemens is actively involved in writing this new page in the history of industry. Although private parties play a major part in the advent of this industry of the future, as illustrated by the cyberphysical factory, public authorities must also be implicated.

### Robotics

**Jean-Paul Laumond**, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS), Toulouse

Based on progress in mechatronics and computation, robotics has developed and fine-tuned sensorimotor functions that enable machines to adapt to an ever larger environment. Till present, manufacturing has been organized around machines that could not stand many variations in the environment for which they were calibrated. Nowadays, machines are more easily integrated in the existing environment and, more sophisticated, necessitate expertise in programming with, as a consequence, the loss of semi- or unskilled, laborious and repetitive, jobs in favor of

employment in maintenance and supervision. Robots are machines; and as such, they affect know-how and make some forms knowledge *obsolete*. Robotics, a full-fledged scientific discipline, raises questions about the organization of society and must, with support from by public research of a good quality, examine all — scientific, technical, economic and sociological — dimensions.

### National and regional policies for modernizing industry

#### A panorama of policies related to the “Industry of the future”

**Thibaut Bidet-Mayer**, head of project, La Fabrique de l'Industrie

This panorama of policies implemented around the world for developing an “industry of the future” is worthy of attention since, rather than ranking countries by their advancement in this trend, it presents a view of the range of approaches adapted to specific economic and political contexts. Despite their quite different characteristics, most of these programs revolve around three axes: developing the country's offer in terms of technology, supporting the modernization of industry and adapting wage-earners's skills and qualifications. This panorama places France in this landscape and makes an inventory of the program “Industry of the future” deployed by the government since 2013. France has a card up its sleeve under condition that it sets priorities and uses its undeniable assets to benefit as best possible from this transformation of industry.

#### The fourth industrial revolution: Points of rupture?

**Dorothee Kohler & Jean-Daniel Weisz**, Kohler Consulting & Coaching

The program “Industry 4.0” is the German response to the threatening wave of digitalization unfurling against the value chain in manufacturing. This program seeks to introduce cyberphysical systems in factories so as to maintain production costs at the same level as in mass production. It seeks, above all, to learn about the new, collective processes for design and manufacturing by conducting collective experiments. At the core of Industry 4.0 is a relational competitiveness in new forms of interaction between suppliers and customers, both inside and outside the value chain. This revolution is, to a large degree, invisible since it has to do with codes and algorithms. However it is not just technological; it also defines new business models linked to platforms offering industrial services. This second-order change (in Gregory Bateson's sense) is happening now, right in front of us. The interrelation between industries and disciplines is a key issue for the parties involved in this digital revolution.

#### The French program “Industry of the future”

**Pascal Faure**, general manager of Direction Générale des Entreprises, & **Philippe Darmayan**, Arcelor-Mittal, president of Alliance Industrie du Futur

A consensus has formed about digitalizing industry, a necessary condition for the survival and recovery of manu-

facturing, for industry to be competitive and for the creation of jobs thanks to strong, innovative economic growth comparable to that in major global economies. Given their diversity (in particular small and middle-sized firms) and the quality of their qualifications, all sectors of industry and services must be made capable of thoroughly digitalizing their activities so as to profit fully. The French program “Industry of the future”, which seeks to achieve this, celebrated its first anniversary at the Élysée Palace on 23 May 2016. A closer look at this beacon of French industrial policy...

### How to boost the modernization of small and mid-size firms?

François Pellerin, facilitator of the program “Usine du Futur”, Nouvelle-Aquitaine Region

French middle tier companies lag considerably behind our neighbors’ in terms not only of technology (depreciation of machines and low rates of robotization, automation and digitalization) but also of the organization of industry and management. A massive policy of support has been deemed indispensable in the country’s administrative regions. Its objective is to assist small and medium-sized industries and develop a regional ecosystem favorable to this transformation. Two and a half years after its start, 290 small and midsize business have benefitted from the program “Factory of the future” implemented by the Nouvelle-Aquitaine Region. The lessons drawn from this adventure are presented...

### The digital transformation of industries, a key to becoming competitive and surviving: The need of standards for transactions and collaborative digital platforms

Pierre Faure, director, e-Business, Customer Relationship Management (CRM) and Knowledge Management (KM), Dassault-Aviation, Boost Industrie

The digital transformation of industry is a key lever not only for becoming competitive but for survival itself. For this reason, several industries have been pursuing, along with AFNeT (Association Française des Utilisateurs du Net), strategic projects of digital transformation based on international standards and collaborative platforms, thus following the example in aeronautics of the hub BoostAeroSpace used by thousands of firms. The goal is to convince all companies, in particular small and midsize business, that they form a “community” of interests in this digital revolution. These projects should help businesses reinforce their competitive edge. Digital technology provides awesome opportunities; and business models have emerged that signal a rupture for the firms that know how to use them but that, on the contrary, are a serious danger to the ones that cannot adapt. These projects also enable firms to make a better stand against the new, disruptive players who are “uberizing” the economy, taking power via their relations with customers and gradually altering the first part of the value chain.

## Achievements in the field

### From digital plans to the digital transformation

Karine Boissy-Rousseau & Laurelyne Verguet, Air Liquide

In lines with plans for a “factory of the future”, the program “Connect” at Air Liquide France Industrie intends to set up a center of remote operations and optimization for the company’s production sites in France and to introduce digital technology in jobs in production. Innovation is not limited to technology alone. This technology is not just a toolkit to be developed; it is also a resource for both training programs and work in a network environment. Connect has adopted methods that provide for an open, collaborative innovation for linking people and technology. From this innovative project approach, digital technology is to be developed in collaboration with final users and through experimental methods. This new way of conducting a project raises questions about the positions and places of the various parties involved.

### The technology of the factory of the future in the service of railway maintenance

Benjamin Godreuil & Emmanuelle Saudeau, SNCF

There are three stakes in railway maintenance in France:

- permanently guarantee a very high level of safety and quality for travelers and freight;
- improve the availability of equipment in everyday operations;
- pursue the endless quest for productivity, given the rail industry’s intrinsically high fixed production costs.

To foresee breakdowns and develop preventive maintenance, the initial strategic response has been to deploy digital technology (sensors on trains) and make a “smart” analysis of the data thus provided. The diversity of its industrial infrastructure and know-how have made Maintenance & Engineering at the SNCF (the French national railway company) an international reference mark. Nowadays, the agility and accessibility of the technology for an “industry of the future” provide this department with strategic leverage for accelerating the overhaul of installations, some of which are more than a hundred years old.

### The attractiveness of “connected performance”

Laurent Couillard & Étienne Droit, Optim’Data

Industry stands on the verge of a revolution. Its encounter with the Internet has opened new horizons for improving its performance. Traditional business models are shifting from selling products toward selling services, or even toward an “economy of sharing”. The value chain of past decades is being revamped; and the customer/supplier relationship must be reinvented. People are still a key factor in the overall performance of factories, but their role will very likely evolve, along with the individual’s responsibilities and zone of action. Connected performance addresses the challenge of the “industry of the future”. It

redefines codes and models in order to better adapt industry's tools to needs, to recenter people at points of value, to reach the objective of sustainability and to manage competition. The value created by aggregate data creates a force of attraction between manufacturers and customers that seals a new relationship. OptimData, with its platform ProductInUse, proposes an innovative technology for making this transformation a success.

### **Michelin, a player in digital mobility**

Éric Chaniot, chief digital officer, Michelin Group

In an interview in 2015, the head of the Michelin Group, Jean-Dominique Senard, stated, "Created in the 19th century, Michelin is entering the 21st thanks to digital technol-

ogy. The leader in tires wants to become a word leader in mobility." This strong determination led Michelin to launch a vast plan around three axes: digital customers, digital employees, and the digitalization of processes inside the group. Although the tire business seems remote from digital technology, as much cannot be said about the services related to mobility. To be a leader in mobility, Michelin has multiplied innovations, partnerships and buyouts in order to better respond to customers' and clients' expectations. From on-line reservations at restaurants to the collection of data in real time from trucks used in mines; or from the on-line distribution of tires to 3D metal printing, one thing is for sure: Michelin is changing!

# Die Industrie der Zukunft

## Einführung

Denis Ranque, Präsident der Airbus Group und der Fabrique de l'Industrie

## Die neuen Herausforderungen für die Industrie

**Fördern die gegenwärtigen Veränderungen die Wettbewerbsfähigkeit, die für das Überleben der Industrie in Frankreich entscheidend ist**

Philippe Varin, Präsident von Areva, Präsident des Cercle de l'Industrie

„Die Industrie ist tot, es lebe die Industrie.“ Die Tatsache, dass die klimatischen, energetischen und nicht zuletzt die digitalen Umbrüche eine neue Verteilung der Wettbewerbsvorteile zwischen den Industrieländern und den Niedrigkostenländern und damit eine Veränderung der bestehenden Kräfteverhältnisse bewirken, ist für die französische Industrie mit bedeutenden Vorteilen verbunden. Die technologischen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Wandlungen, die sich gegenwärtig abzeichnen, haben das Potential, die unerträgliche Dynamik der Deindustrialisierung aufzuhalten, die Frankreich seit einigen Jahrzehnten so schwer trifft. Besser gesagt : dieser Wandel kann eine neue Phase der Industrialisierung einleiten, die wieder Wachstumserfolge erzielt und die im Vergleich mit der Vergangenheit noch wettbewerbsfähiger, innovativer und attraktiver sein wird. Die öffentlichen und privaten Akteure haben nunmehr die Aufgabe, den Übergang zur Industrie von morgen zu begleiten und zum Erfolg zu führen, indem sie drei entscheidende Strategien anwenden : die Investition in Innovation, die interne Transformation der Unternehmen und den Aufbau des industriellen Europas.

**Eine doppelte Herausforderung für die Industrie : die neuen digitalen Nutzungsweisen und das leichte Geld**

François Bourdoncle, Präsident von FB&Cie und Gründer von Exalead

Der Medienrummel um die „Uberisierung“ der Wirtschaft hat tiefe Spuren hinterlassen. Aber wie bei allen Themen, die den Einflüssen einer Mode gehorchen, ist es leicht, der Versuchung nachzugeben, dies alles als übertrieben abzutun und zu glauben, dass die Blase bald platzen wird. Es lässt sich jedoch nicht leugnen, dass das Phänomen überdauert und sogar an Dynamik gewinnt, und dass das Platzen der Blasen die Konzernlenker nur stärker macht, wie es Google und Amazon nach dem Platzen der Internetblase 2000 bewiesen, und, vor allem, dass die Internetgiganten jetzt die physische Welt anvisieren (Transport, Energie, Telekommunikation, ...), indem sie ihr digitales Know how und ihre beträchtlichen Finanzkapazitäten mo-

bilisieren. Wir sind der Auffassung, dass Unternehmen wie Uber oder SpaceX in absehbarer Zeit ganze Bereiche unserer Volkswirtschaften real bedrohen. Wir beschreiben die zu Grunde liegenden Mechanismen und versuchen zu begreifen, warum wir es mit einer wahren industriellen Revolution zu tun haben, und möchten die Frage beantworten, wie die traditionellen Industrien sich diesem Prozess anpassen könnten.

**Von der tolerierten zur erwünschten Industrie – Einige Paradoxe über die Industrie und die Vorstellungen von ihr**

Thierry Weil, Generaldelegierter der Fabrique de l'industrie

Für ihre Neuentwicklung muss die französische Industrie die besten Talente anziehen und als Quelle zukunftsreicher Chancen und nicht als Ursache von Belästigungen gelten. Doch unsere Vorstellungen von der Industrie sind unbeständig und widersprüchlich, denn sie wird bald mit der Freude assoziiert, konkret zu handeln, neu zu gestalten und kreativ zu sein, bald mit der Furcht vor einem nicht greifbaren und sogar beunruhigenden cyber-physischen Universum. Die Umriss der Industrie sind immer verschwommener und es wird illusorisch, sie von den Dienstleistungen unterscheiden zu wollen, die sie begleiten, sie möglich machen oder sie voraussetzen. Paradoxiertweise ist in einer Gesellschaft, die „hyperindustrielle“ Züge annimmt, der Produktionsvorgang immer weniger sichtbar. Nomadisch und konturlos erscheint sie, und doch strukturiert die Industrie weiterhin Wirtschaft, Territorien und Identitäten.

**Die Veränderungen der Arbeitswelt : ihre Modalitäten und ihre Zeitlichkeiten**

Michel Lallement, Lise-CNRS, Cnam (Paris)

Die Veränderungen der gegenwärtigen Arbeitswelt können im Fokus von drei unterschiedlichen Zeitlichkeiten gelesen werden : der kurzfristigen, die hauptsächlich von der digitalen Revolution betroffen ist ; der mittelfristigen, die von den Strategien der post-tayloristischen Rekonfiguration der Arbeitsorganisation geprägt ist und schließlich der langfristigen, die die Pertinenz der Kategorien in Frage stellt, die wir mobilisieren, um die als produktiv geltenden Tätigkeiten zu erfassen. Berühren sich diese drei Modalitäten, die mit diesen drei Zeitlichkeiten zusammenhängen, so beschleunigen sie tief greifende Wandlungen in der Arbeitsweise und in der Auffassung von Arbeit.

**Das frugale Unternehmen**

Mireille Campana, ingénieur général des Mines

Zu den Herausforderungen, denen das zukünftige Unternehmen gegenüber steht, gehört die nachhaltige Leistung. Diese setzt sich aus der effizienten Nutzung der Ressourcen, der Reduzierung der Schadstoffausstöße und Immissionen sowie der nachhaltigen Standortpolitik zusammen. Diese Optimierung der Ressourcen, die sowohl die Tätigkeit des Unternehmens als auch dessen Produkte und

Dienstleistungen betrifft, wird heute oft mit dem Ausdruck „frugale Fabrik“ bezeichnet, die durch Verschlinkung, Digitalisierung und Robotisierung für eine neue industrielle Revolution steht. Sie folgt auf drei vorausgehende Revolutionen, die durch Mechanisierung (Ende 18. Jh.), Elektrifizierung (Ende 19. Jh.) und Automatisierung (1970er Jahre) geprägt waren.

## Die Haupttechnologien zur Zukunftindustrie

### Wie sieht die Fabrik der Zukunft aus ?

Karine Gosse und Michel Dancette, groupe Fives

Die Fabrik der Zukunft ist Teil einer Dynamik aus wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Prozessen, die deren Wesen und deren Ziele definieren. Sie wird insbesondere den hohen Ansprüchen an die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit der Organisationen und Territorien entsprechen und den Entwicklungen der Verbrauchsweisen folgen, sowie auf gesellschaftliche Erfordernisse der Attraktivität und des Umweltbewusstseins antworten müssen. Diese Entwicklung ist kennzeichnend für alle Industriesektoren (traditionelle oder nicht) und sie wird durch die Beschleunigungseffekte technologischer Neuerungen, vor allem in der Digitaltechnologie, noch verstärkt. Über die Technologien und Ausrüstungen hinaus beeinflusst diese Entwicklung die Geschäftsmodelle, die Arbeitsweise und die Organisationen. Als zweihundertjährige Industriegruppe ist Fives ein entschiedener, ideenreicher Akteur dieser Entwicklung.

### Hochleistungsrechnen und digitale Simulation

Christian Saguez, Präsident von Cybele Tech, wissenschaftlicher Direktor von Teratec

Die sich verbreitende Nutzung der digitalen Technologien, insbesondere des Hochleistungsrechnens und der Simulation, hat alle Industrie- und Dienstleistungssektoren stark verwandelt. Sie stehen im Zentrum der Strategien der Wertschöpfung und der Schaffung von Arbeitsplätzen. Dank den heute verfügbaren Technologien ist es möglich geworden, Zuwächse an Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskapazität zu erzielen. Ihre Anwendung ist also für die französische Wirtschaft eine fundamentale Notwendigkeit. Aus diesem Grund haben die französischen Behörden weitreichende Maßnahmen getroffen, die das Ziel haben, Ex-flopf-Rechenleistungen samt Software und unerlässlichen Anwendungen verfügbar zu machen. Darüber hinaus sind europäische Initiativen, in denen Frankreich eine herausragende Rolle spielt, auf den Weg gebracht worden. Frankreich ist eins der wenigen Länder, das über alle möglichen Kompetenzen in der ganzen Wertschöpfungskette dieses strategischen Sektors verfügt. Es handelt sich also um eine einzigartige Chance, die Frankreich nutzen sollte.

### Die cyber-physische Fabrik : die vernetzte, simulierte und rekonfigurierbare Fabrik

Christophe de Maistre, Präsident von Siemens France

Die simulierte, vernetzte, modulierbare cyber-physische Fabrik ist eine Industriestruktur im Werden, die auf der

dynamischen Kombination der realen und virtuellen Welt beruht. Sie stellt einen verheißungsvollen Horizont für die Industrie dar: neben dem Versprechen der Produktivitätssteigerung eröffnet sie Aussichten auf eine grundlegende Umwandlung der industriellen Produktionsprozesse, auf neue Chancen in der Berufsausbildung, auf die Möglichkeit der Rückeroberung industrieller Arbeitsplätze sowie auf neue Herausforderungen auf dem Gebiet der Cybersicherheit. Von Anfang an war Siemens ein Akteur der Innovation und trägt auch weiterhin aktiv zur Gestaltung der künftigen Industrieära bei. Doch auch wenn die privaten Akteure eine herausragende Rolle in der Entwicklung der Industrie der Zukunft spielen, die in der cyber-physischen Fabrik beispielhaft Gestalt annimmt, ist das Engagement der staatlichen Behörden unerlässlich.

### Die Robotik

Jean-Paul Laumond, Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS), Toulouse

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Mechatronik und dem Rechnerwesen versetzen die Robotik in die Lage, immer komplexere sensomotorische Funktionen für Maschinen zu entwickeln, die für eine zunehmende Kapazität der Anpassung an ihre Produktionsumgebung konzipiert werden. Bisher wurde das System der industriellen Produktion durch die Maschine organisiert ; die Maschine wurde im Zusammenhang mit der Produktionsumgebung kalibriert und ließ nur geringe Abweichungen der letzteren zu. Heute lässt sie sich leichter in einen gegebenen räumlichen Kontext integrieren. Aufgrund der höheren Komplexität erfordert sie mehr Expertise für ihre Programmierung, was den Abbau von gering qualifizierten, anstrengenden und repetitiven Beschäftigungen zugunsten von Wartungs- und Kontrollarbeiten zur Folge hat. Der Roboter ist eine Maschine und als solche hat er, wie es schon immer gewesen ist, Anteil an der Transformation der Arbeitsprozesse und führt zum Verschwinden alter Praktiken. Die Robotik konstituiert eine vollwertige wissenschaftliche Disziplin, deren Beitrag die Organisationsweise unserer Gesellschaften erheblich beeinflussen wird. Es ist deshalb darüber nachzudenken, dass es einer hoch qualifizierten öffentlichen Forschungsanstrengung bedarf, die den wissenschaftlichen und technischen sowie den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Dimensionen gerecht wird.

## National –und Regionalstrategien zur industriellen Modernisierung

### Überblick über die Politiken zur „Industrie der Zukunft“

Thibaut Bidet-Mayer, Projektleiter, La Fabrique de l'industrie

Wir möchten in diesem Artikel ein Panorama der Politiken anbieten, die weltweit zugunsten der Industrie der Zukunft durchgeführt werden. Es handelt sich jedoch hier nicht darum, die untersuchten Länder je nach ihrem Niveau des Vorankommens in diesem Übergangsprozess zu klassifizieren, sondern um einen Einblick in die Vielfalt der Maßnahmen, die jeweils besonderen wirtschaftlichen und politischen Bedingungen angepasst sind. Es

ist darüber hinaus interessant festzustellen, dass trotz höchst unterschiedlicher Profile die meisten Programme um drei Thematiken zentriert sind : die Entwicklung des nationalen technologischen Angebots, die Förderung der Modernisierung der industriellen Produktion und die Anpassung der Kompetenzen der Beschäftigten. Dieses Panorama erlaubt es uns, Frankreich in diesen Zusammenhang einzuordnen und eine Bestandsaufnahme des Programms „Industrie du futur“ zu machen, das die französische Regierung 2013 auf den Weg gebracht hat. Es zeigt, dass Frankreich eine wichtige Karte ausspielen kann, doch dies setzt voraus, dass es seine Prioritäten definiert und seine unleugbaren spezifischen Trümpfe mobilisiert, um von dieser Transformation so gut es irgend geht zu profitieren.

### Die vierte industrielle Revolution : welche Umwälzungen sind zu erwarten ?

Dorothee Kohler und Jean-Daniel Weisz, KOHLER Consulting & Coaching

Das Projekt „Industrie 4.0“ ist die deutsche Antwort auf die Bedrohung, der die industriellen Wertschöpfungsketten durch das Vordringen der Digitalisierung ausgesetzt sind. Es handelt sich um eine technologische Ambition, die darin besteht, Serien der Größe 1 zu Kosten herzustellen, die denen der Massenproduktion entsprechen, indem man cyber-physische Produktionssysteme einführt. Aber diese Revolution bleibt weitgehend unsichtbar, denn sie verwendet Codes und Algorithmen. Sie zielt vor allem auf den Umgang mit neuen kollektiven Prozessen der Konzeption und Herstellung ab. Es ist tatsächlich die relationale Wettbewerbsfähigkeit, die im Kern die „Industrie 4.0“ ausmacht, die durch neue Interaktionsweisen zwischen den Wirtschaftsakteuren und ihren Kunden geprägt wird, und zwar innerhalb und außerhalb der Wertschöpfungskette. Aber diese Fähigkeit zum gemeinsamen Experimentieren ist nicht nur für die technologische Dimension kennzeichnend. Sie ergibt sich auch aus der Definition neuer Geschäftsmodelle in der Verbindung mit neuen Plattformen für industrielle Dienstleistungen. Es ist eine Veränderung vom Typ 2 (in der Bedeutung, die Gregory Bateson ihr verleiht), die sich vor unseren Augen vollzieht – eine Veränderung in der die Transversalbeziehungen zwischen Sektoren und Disziplinen zentrale Bedeutung für die Akteure dieser digitalen Revolution haben.

### Der französische Plan für die Industrie der Zukunft

Pascal Faure, Generaldirektor der Direction Générale des Entreprises, und Philippe Darmayan, Arcelor-Mittal, Präsident der Alliance Industrie du futur

Über die zentrale Bedeutung der Digitalisierung der Industrie besteht von nun an Konsens. Sie ist eine notwendige Bedingung für das Überleben und den Wiederaufbau der französischen Industrie und sie ist ein Imperativ für ihre Wettbewerbsfähigkeit und für die Schaffung von Arbeitsplätzen in einer starken, innovierenden Wirtschaft, die fähig ist, sich mit den größten Volkswirtschaften zu messen. Die Herausforderung besteht nunmehr darin, dass alle Industrie- und Dienstleistungssektoren dank ihrer Viel-

falt, die insbesondere die mittleren und kleinen Betriebe kennzeichnet, und dank der Qualität ihrer Kompetenzen die Politik der Digitalisierung konsequent umsetzen, die entscheidende Vorteile bieten wird.

Das französische Programm „Industrie du futur“ verfolgt die Realisierung dieser Ambition. Es beging seinen ersten Geburtstag am letzten 23. Mai im Elysée-Palast. Zoom auf ein verheißungsvolles Projekt für die französische Industriepolitik.

### Wie soll die Modernisierung der kleinen und mittleren Betriebe gefördert werden ?

François Pellerin, Leiter des Projekts „Usine du futur“, Région Nouvelle-Aquitaine

Die kleinen und mittleren Unternehmen in Frankreich haben einen erheblichen Rückstand akkumuliert, vergleicht man sie mit den entsprechenden Unternehmen in den Nachbarländern, und dies nicht nur in technologischer Hinsicht (veraltete Produktionsanlagen, niedriger Grad der Robotisierung, Automatisierung und Digitalisierung), sondern auch hinsichtlich der industriellen Organisation und des Managements. Eine breit angelegte Unterstützungspolitik in den Regionen erscheint also unerlässlich. Es ist das Ziel dieser Politik, die kleinen und mittleren Unternehmen in ihrem Wandel zu begleiten, und darüber hinaus ein regionales Ökosystem zu entwickeln, das ihnen förderlich ist. Zweieinhalb Jahre nach ihrer Einleitung profitieren bereits 290 Betriebe von dieser Politik, die im Rahmen des Programms „Usine du futur“ von der Région Nouvelle-Aquitaine durchgeführt wird : wir ziehen in diesem Artikel die ersten Lehren aus diesem Abenteuer.

### Die digitale Transformation der Industriesektoren, ein Schlüsselfaktor ihrer Wettbewerbsfähigkeit und ihres Überlebens. Die Notwendigkeit von Datenvermittlungsstandards und kollaborativen digitalen Plattformen

Pierre Faure, directeur e-Business, Customer Relationship Management (CRM) und Knowledge Management (KM) von Dassault-Aviation, Boost Industrie

Die digitale Transformation der Industriesektoren ist unbedingt notwendig, denn sie ist nicht nur für ihre Wettbewerbsfähigkeit, sondern auch für ihr Überleben ein entscheidender ökonomischer Hebel. Deshalb haben mehrere unter ihnen zusammen mit der Association francophone des utilisateurs du Net (AFNet) strategische Projekte zur digitalen Transformation ins Werk gesetzt, die auf internationalen Standards und auf kollaborativen Plattformen beruhen und hierin dem Vorbild der Luftfahrtindustrie und ihrem Zentrum BoostAeroSpace folgen, das von tausenden Unternehmen genutzt wird. Die Ambition ist „kollektiv zu spielen“, um gemeinsam zu gewinnen, und um die Gesamtheit der Unternehmen als „Schicksalsgemeinschaften“ (insbesondere die kleinen und mittleren Unternehmen) in die digitale Revolution zu führen. Diese Projekte ermöglichen eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, denn die Digitalisierung eröffnet riesige Chancen und grundlegend neue Geschäftsmodelle, die denjenigen von Nutzen sind, die diese Chance zu ergreifen verstehen, während andere, die nicht dazu imstande wären, Gefahr laufen, abgehängt zu werden.

Diese Projekte erlauben es auch, neuen alternativen Akteuren besser zu widerstehen, die eine „Uberisierung“ der Wirtschaft betreiben und dank der digitalen Technologie durch die Beziehung mit dem Kunden Macht gewinnen und schrittweise den produktionsseitigen Bereich der Wertschöpfungskette in Frage stellen.

## Verwirklichungsbeispiele

### Einige Projekte zur digitalen Transformation des Unternehmens

**Karine Boissy-Rousseau und Laurelyne Verguet, Air Liquide**

Das Projekt Connect d’Air Liquide France Industrie wurde im Rahmen der Politik der „Usine du futur“ der Gruppe Air Liquide auf den Weg gebracht. Es zielt darauf ab, ein Fern-operations- und optimierungszentrum für die Produktionsstandorte der Gruppe in Frankreich einzurichten und digitale Technologien für die Tätigkeiten in der Produktion einzuführen. Die Innovation beschränkt sich nicht auf die Technologie. Auch die Arbeitsmethoden sind ein Teil dieser Innovationspolitik. Connect ist somit ein Beispiel für die wachsende Tendenz des Change Digital. Digitale Technologien werden in Zusammenarbeit mit Endbenutzern nach experimentellen und agilen Methoden entwickelt. Die Politik ist die der offenen und kollaborativen Innovation, um Menschen und Technologie zusammenzubringen. Diese Technologien sind nicht nur die Basis der zu entwickelnden Werkzeuge. Sie konstituieren auch eine Ressource für die Vernetzung von Ausbildung und Arbeit. Aber diese innovative Art, ein Projekt durchzuführen, wirft auch die Frage nach der Stellung und der Position der verschiedenen Akteure auf.

### Die Technologien der Fabrik der Zukunft im Dienst der industriellen Wartung

**Benjamin Godreuil und Emmanuelle Saudeau, SNCF**

Die Herausforderungen für die Wartung bei der französischen Eisenbahngesellschaft lassen sich in drei Punkten zusammenfassen :

- Die ständige Garantie sehr hoher Sicherheits- und Qualitätsstandards der Arbeitsvorgänge für den Reise- und den Frachtverkehr.
  - Die beste Verfügbarkeit von Material für den kommerziellen Betrieb.
  - Die Sicherung ständiger Produktivität, insbesondere im Rahmen einer Industrie, die festen Produktionskosten unterliegt, die mit hohen Materialkosten verbunden sind.
- Die Technologien des industriellen Internets tragen durch den Einsatz von Sensoren in den Zügen und durch die intelligente Analyse der gesammelten Daten zu einer ersten strategischen Antwort bei, die die Antizipation von Pannen ermöglicht, um effiziente präventive Wartungsarbeiten anzustoßen.

Die Vielfalt dieser industriellen Infrastrukturen mit ihrem Know-how machen die Wartung und das Ingenieurwesen der französischen Eisenbahngesellschaft zu einer internationalen Referenz. Heute bietet ihr die Agilität der Techno-

logien der Zukunft einen neuen strategischen Hebel, um die Transformation von bisweilen jahrhundertealten Installationen zu beschleunigen.

### Der Attraktivitätseffekt der vernetzten Leistung

**Laurent Couillard und Étienne Droit, Optim’data**

Die Industrie steht am Anfang einer bedeutenden Revolution. Die Verbindung zwischen Industrie und Internet eröffnet neue Horizonte, die zur Optimierung der industriellen Leistung führen werden. Die traditionellen Geschäftsmodelle entwickeln sich vom Verkauf eines Produkts zum Verkauf einer Dienstleistung oder sogar zu einer Wirtschaft der Teilhabe. Die Wertschöpfungskette, die sich über mehrere Jahrzehnte entwickelt hat, muss sich neu konstruieren und de facto muss auch die Beziehung zwischen Kunde und Lieferant neu erfunden werden. Der Mensch in der Fabrik bleibt ein entscheidender Faktor der globalen Leistung, doch sehr wahrscheinlich wird seine Rolle sich ändern, ebenso wie seine Verantwortung und sein Handlungsbereich. Die vernetzte Leistung erlaubt es, auf die Herausforderungen der Industrie der Zukunft zu reagieren. Sie bietet neue Codes und Modelle für eine verbesserte Anpassung der industriellen Produktion an die Bedürfnisse, fokussiert den Menschen auf die Schöpfung von Werten und verfolgt Ziele, die der Nachhaltigkeit und der Wettbewerbsfähigkeit dienen. Der Wert, der aus der Gesamtheit der analysierten Daten hervorgeht, schafft einen Attraktivitätseffekt zwischen dem Hersteller von Produktionssystemen und seinen Kunden, und schweißt diese Beziehung zu etwas ganz Neuem zusammen. Optim’data schlägt mit der Plattform ProductInUse eine innovative Technologie vor, die diese Transformation zum Erfolg führen kann. Dieser Artikel präsentiert die Grundlagen der Lösung.

### Michelin als Akteur der digitalen Mobilität

**Éric Chanot, Chief Digital Officer der Gruppe Michelin**

„Das Unternehmen Michelin, das im 19. Jh. gegründet wurde, tritt dank der digitalen Technologie ins 21. Jh. ein. Als Marktführer der Reifenindustrie wollen wir nun der weltweite Leader der Mobilität sein“, sagte der Präsident der Gruppe Michelin, M. Jean-Dominique Senard, in einem Interview, das er 2015 gab. Dieser starke Wille hat die Gruppe veranlasst, einen weit reichenden Plan zur Transformation zu entwerfen, der auf drei Ziele ausgerichtet ist : den digitalen Kunden, den digitalen Angestellten und die Digitalisierung der internen Prozesse der Gruppe. Die Welt der Reifen erscheint zwar a priori weit entfernt von der digitalen Sphäre, doch für die Dienstleistungen, die mit Mobilität zu tun haben, gilt das nicht. Auf diesem Gebiet verfolgt Michelin eine Vielzahl von innovativen Projekten, Partnerschaften und Kaufstrategien, um den Erwartungen der Kunden (Privatpersonen wie Fachleute) besser entsprechen zu können. Von der On-line-Reservierung von Tischen in Restaurants über das Sammeln von Daten in Echtzeit für die Lastwagen in der Bergbauwirtschaft und die On-line-Verteilung von Reifen bis zum 3D-Drucken ist eins sicher : Michelin verwandelt sich !

# La industria del futuro

## Introducción

Denis Ranque, Presidente de Airbus Group y de la Fabrique de l'Industrie

## Nuevos retos de la industria

**¿Qué podemos esperar de los cambios actuales en materia de competitividad, condición clave para la supervivencia de la industria en Francia?**

Philippe Varin, Presidente de Areva, Presidente del Cercle de l'Industrie

«¡La industria ha muerto, viva la industria!».

Al redistribuir las ventajas competitivas entre los países industrializados y los países de bajo coste, cambiando así las posiciones establecidas, los desafíos del clima, la energía o la digitalización constituyen verdaderas oportunidades para la industria francesa.

Los cambios tecnológicos, económicos, sociales y ambientales actuales y futuros tienen la capacidad de parar el ritmo desenfrenado de la desindustrialización que afecta considerablemente a Francia desde hace varias décadas. Aún mejor, estos cambios pueden anunciar el nacimiento de una Francia industrial nuevamente vencedora, mucho más que en el pasado, ya que esta Francia industrial será más competitiva, innovadora y atractiva.

Nosotros, actores públicos y privados, debemos apoyar y garantizar una transición positiva y llena de éxito hacia la industria del futuro actuando sobre tres palancas decisivas: la inversión en la innovación, la transformación interna de las empresas y la construcción de una Europa industrial.

**La industria frente a un doble desafío: los nuevos usos digitales y el dinero fácil**

François Bourdoncle, presidente de FB&Cie y fundador de Exalead

La agitación de los medios en torno a la «uberización» de la economía se ve por todas partes. Pero, al igual que sucede con todos los temas de moda, es fácil caer en la tentación de creer que el fenómeno es muy exagerado y que la burbuja estallará algún día. Sin embargo, hay que reconocer que el fenómeno continúa e incluso se intensifica, y que la explosión de burbujas no ha hecho más que reforzar los líderes, como ha sido el caso de Google o Amazon tras la explosión de la burbuja de Internet en 2000 y, sobre todo, que los gigantes de Internet se preparan a atacar el mundo físico (transporte, energía, telecomunicaciones, etc.), aprovechando sus conocimientos en la esfera digital y haciendo uso de sus enormes capacidades financieras. Creemos que empresas como Uber o SpaceX realmente amenazan, a largo plazo, a sectores enteros de nuestra economía. Al describir los mecanismos puestos en marcha, el artículo trata de entender por qué vivimos una verdadera revolución industrial e imaginar cómo las

industrias tradicionales podrían adaptarse a ella.

**De la industria tolerada a la industria deseada. Paradojas sobre la industria y sus representaciones**

Thierry Weil, Delegado General de la Fabrique de l'Industrie

Para alcanzar un nuevo nivel de desarrollo en Francia, la industria debe atraer a los mejores talentos y presentarse como una fuente de oportunidades y no de molestias para los vecinos y otros actores. No obstante, nuestras representaciones de la industria son inestables y contradictorias. A veces se refieren al placer de hacer cosas concretas, moldear la materia y crear objetos, y otras veces a un universo ciber-físico intangible e incluso preocupante. Los límites de la industria son cada vez más vagos y es casi ilusorio querer diferenciarla de los servicios que la acompañan, la hacen posible o se apoyan en ella. Paradójicamente, al mismo tiempo que la sociedad se convierte en «hiperindustrial», la fabricación es cada vez menos visible. A pesar de ello, la industria, nómada y difusa, sigue estructurando la economía, los territorios y las identidades.

**Los cambios del trabajo, sus registros y sus momentos**

Michel Lallement, Lise-CNRS, Cnam (París).

Los cambios del trabajo contemporáneo pueden analizarse a la luz de tres momentos diferentes: a corto plazo, principalmente afectado por la revolución digital; a medio plazo, caracterizado por las estrategias de reorganización post-tayloristas de la organización del trabajo y, finalmente, a largo plazo, cuando se cuestiona la importancia de las categorías que entran en juego para entender las actividades consideradas como productivas. Cuando se superponen, los tres registros de cambio relacionados con estos tres momentos aceleran las transformaciones profundas en nuestras formas actuales de trabajar y considerar el trabajo.

**La empresa frugal**

Mireille Campana, Ingeniera general de Minas

Entre los retos que se han fijado las plantas de fabricación del futuro se encuentra el rendimiento sostenible. Bajo esta denominación se oculta el uso eficiente de los recursos, la reducción de emisiones y molestias, y la implantación duradera en los territorios. Esta optimización de los recursos que se refiere tanto al funcionamiento de la planta de fabricación como al de los productos y servicios que ella produce, a menudo se designa con la expresión «fábrica frugal» que, junto con la agilidad, digitalización y robotización, se presenta como una nueva revolución industrial. Sucede a las tres revoluciones anteriores que fueron la mecanización (fin del siglo XVIII), la electrificación (finales del siglo XIX) y la automatización (década de los años 1970).

## Tecnologías genéricas de la planta de fabricación del futuro

### ¿Cómo será la planta de fabricación del futuro?

Karine Gosse y Michel Dancette, Grupo Fives

La planta de fabricación del futuro forma parte de una dinámica lanzada por evoluciones económicas, sociales y ambientales, que definen sus características y objetivos. Deberá hacer frente a grandes desafíos en materia de competitividad económica de las organizaciones y los territorios y en lo que se refiere a la evolución de los modos de consumo, así como a los problemas sociales en términos de atracción e integración en su entorno. Esta evolución está en marcha en todos los sectores industriales (tradicionales o modernos), pero actualmente se ve afectada por el desarrollo acelerado de un gran número de tecnologías, sobre todo digitales. Más allá de las tecnologías y equipos, esta evolución, tiene repercusiones sobre los modelos de negocios, el trabajo y las organizaciones. Fives, como grupo industrial con más de 200 años de historia, enmarca sus actividades en esta evolución y participa plenamente en las reflexiones actuales sobre este tema.

### Cálculo intensivo y simulación digital

Christian Saguez, Presidente de CybeleTech, Director científico de Teratec

La generalización del uso de las tecnologías digitales, especialmente en los campos del cálculo intensivo y la simulación, ha transformado profundamente todos los sectores de la industria y los servicios. Estas tecnologías digitales forman parte de los grandes problemas estratégicos de creación de valor y empleo para nuestra economía.

Gracias a las tecnologías disponibles, actualmente se han podido realizar grandes beneficios en términos de competitividad y capacidad de innovación. El control de éstas es una necesidad fundamental para Francia. Consciente de estos elementos, el Gobierno francés ha puesto en marcha iniciativas importantes que deben resultar en la disponibilidad de potencias de cálculo paralelo de alto rendimiento, así como un conjunto de softwares de base y aplicativos indispensables. Por otra parte, ya se han lanzado iniciativas europeas, en las que Francia desempeña un papel destacado.

Francia es uno de los pocos países que dispone de las competencias en toda la cadena de valor de este sector estratégico. Esta es una oportunidad única que Francia debe aprovechar.

### La planta de fabricación ciberfísica, conectada, simulada y reconfigurable

Christophe de Maistre, Presidente de Siemens Francia

Simulada, conectada, modulable, la planta de fabricación ciberfísica es un conjunto industrial en devenir que se basa en la articulación dinámica de los mundos reales y virtuales. Es un horizonte prometedor para la industria: además de las ganancias de productividad que permite

realizar, asistimos a una verdadera reestructuración del proceso de producción industrial, a una renovación de los retos en materia de formación, a perspectivas de relocalización de empleos industriales, así como a la aparición de nuevos desafíos relacionados con la seguridad cibernética. Gran actor de la innovación desde su creación, Siemens contribuye activamente a la escritura de esta nueva página de la historia industrial. Si bien los actores privados desempeñan un papel importante en la creación de la industria del futuro, de entre las cuales la planta de fabricación ciberfísica es una de las ilustraciones, la participación de los poderes públicos es indispensable.

### La robótica

Jean-Paul Laumond, Laboratorio de Análisis y de Arquitectura de Sistemas (LAAS), Tolosa

Apoyándose en los progresos realizados en el campo de la mecatrónica y el cálculo, la robótica desarrolla funciones senso-motrices cada vez más avanzadas que ofrecen a las máquinas una capacidad de adaptación al medio ambiente cada vez mayor.

Hasta ahora, el sistema de producción industrial se organizaba en torno a la máquina; la máquina era calibrada en función de su entorno y sólo toleraba pocas variaciones de éste. Hoy en día, la máquina se integra más fácilmente en un entorno existente.

Ya que es más elaborada, requiere más conocimientos para su programación, lo que puede provocar la supresión de empleos poco cualificados, difíciles y repetitivos, en beneficio de empleos de mantenimiento y supervisión. El robot es una máquina, y como tal, y como siempre lo ha sido, participa en la transformación de los oficios y en la desaparición de algunos de ellos.

La robótica es una disciplina científica de pleno derecho, cuyos desafíos cuestionan el modo de organización de nuestras sociedades. Debe pensarse como tal y su desarrollo debe apoyarse firmemente con una investigación pública de calidad, que aborda todas las dimensiones tanto científicas y técnicas como económicas y sociológicas.

## Políticas nacionales y regionales de modernización de la industria

### Panorama de las políticas de la «industria del futuro».

Thibaut Bidet-Mayer, Jefe de proyectos, la Fabrique de l'Industrie

El artículo propone un panorama de las políticas aplicadas en todo el mundo en favor de la industria del futuro. El objetivo de este panorama no es clasificar a los países estudiados dependiendo de su nivel de progreso en esta transición, sino mostrar la diversidad de enfoques adecuados a contextos económicos y políticos específicos. Es interesante señalar que, a pesar de ser muy distintos, la mayoría de los programas implementados convergen en torno a tres temas: el desarrollo de la oferta tecnológica nacional, el apoyo a la modernización de la red industrial y la adaptación de las competencias de los empleados.

Este panorama nos permitirá, posteriormente, situar a Francia en este paisaje y hacer un balance del programa «Industria del futuro» lanzado por el Gobierno francés en 2013. Se muestra también como Francia tiene un verdadero papel por desempeñar, aunque esto implica definir sus propias prioridades y movilizar sus innegables ventajas comparativas para poder aprovechar al máximo esta transformación de la industria.

### La cuarta revolución industrial, ¿cuáles son sus puntos de ruptura?

Dorothee Kohler y Jean-Daniel Weisz, KOHLER Consulting & Coaching

El proyecto «Industria 4.0» es la respuesta alemana a la amenaza representada por la irrupción del campo digital en las cadenas de valor industrial. Se trata de una ambición tecnológica que consiste en producir series de tamaño 1 para costes equivalentes a los de la producción en masa, mediante la introducción de sistemas de producción ciber-físicos en la planta de fabricación.

Pero esta revolución es en gran parte invisible, ya que se materializa a través de códigos y algoritmos.

Sobre todo, está centrada en el aprendizaje de nuevos procesos de diseño y fabricación colectivos. En efecto, la competitividad relacional es el núcleo de la industria 4.0, materializada por nuevos modos de interacción entre los actores económicos y sus clientes, tanto dentro como fuera de la cadena de valor.

Ahora bien, esta capacidad de experimentar juntos no sólo afecta la dimensión tecnológica. Se refiere también a la definición de nuevos modelos de negocios relacionados con la aparición de plataformas de servicios industriales. Se trata de un cambio de tipo 2 (en el sentido de Gregory Bateson) que se realiza ante nuestros ojos; un cambio en el cual las transversalidades entre sectores y disciplinas se convierten en un desafío central para los actores de esta revolución digital.

### El plan francés Industria del futuro

Pascal Faure, Director general de la Dirección general de Empresas, y Philippe Darmayan, Arcelor-Mittal, Presidente de la Alianza Industria del futuro

Actualmente el interés de la digitalización de la industria se acepta de forma unánime. Es una condición necesaria para la supervivencia y reconquista de la industria francesa, un imperativo para su competitividad, para desarrollar el empleo mediante una actividad económica fuerte, innovadora y capaz de competir con las mayores economías del mundo.

El reto ahora es garantizar que todos los sectores de la industria y de los servicios, gracias a su diversidad, en particular dentro del enjambre de PYME/ETI (Empresas de Tamaño Intermedio), y gracias a la calidad de sus competencias, pueda integrar realmente esta digitalización, con el fin de aprovechar todos sus beneficios.

El programa francés Industria del futuro pretende cumplir con esta ambición. Su primer aniversario fue celebrado en el Palacio del Elíseo el 23 de mayo pasado. Presentación de un programa emblemático de la política industrial francesa.

### ¿Cómo promover la modernización de las PYMES?

François Pellerin, Moderador del proyecto «Fábrica del futuro», región Nueva Aquitania

Las PYME francesas han acumulado un retraso considerable en comparación con las de sus vecinos europeos no sólo en términos de tecnología (envejecimiento de las herramientas de producción, baja tasa de robotización, automatización y transformación digital), sino también en términos de organización industrial y de gestión. Por ello, el despliegue, por parte de las regiones, de una política masiva de apoyo se ha vuelto indispensable. El objetivo de esta política es acompañar las PYME en su transformación, pero también desarrollar un ecosistema regional que les sea favorable. Dos años y medio después de su lanzamiento, 290 PYME y ETI (Empresas de Tamaño Intermedio) disfrutan de un acompañamiento gracias al programa la Fábrica del futuro creado por la región Nueva Aquitania. En este artículo se exponen las primeras lecciones que se han podido aprender de esta aventura.

### La transformación digital de los sectores industriales, un factor clave de su competitividad y supervivencia

#### La necesidad de disponer de estándares de intercambio y de plataformas de colaboración digitales

Pierre Faure, Director e-Business, *Customer Relationship Management* (CRM) y *Knowledge Management* (KM) de Dassault-Aviation, Boost Industrie

La transformación digital de los sectores industriales se ha convertido en un elemento vital, como palanca esencial no sólo de su competitividad, sino también de su supervivencia. Por ello, varias de ellas se han comprometido junto con la Asociación Francesa de usuarios de Internet (AFNeT) en proyectos estratégicos de transformación digital basados en estándares internacionales y plataformas de colaboración digital, siguiendo el ejemplo de la aeronáutica y de su *hub* BoostAeroSpace que utilizan miles de empresas. El objetivo es «jugar en grupo» para ganar juntos y conducir a la totalidad de empresas de estas «comunidades de destino» (en particular las PYME) a la revolución digital. Estos proyectos permiten que los sectores industriales aumenten su competitividad, ya que la tecnología digital ofrece grandes oportunidades y modelos de negocios de ruptura a quienes saben utilizarlos y es, por el contrario, fuente de graves riesgos para quienes no sean capaces de hacerlo.

Estos proyectos permiten también resistir mejor a los nuevos actores que irrumpen y «uberizan» la economía, que toman el poder gracias a la tecnología digital a través de la relación cliente y que, progresivamente, cuestionan la cadena de valor. previa

### Algunos ejemplos

#### De los proyectos digitales a la transformación digital de la empresa

Karine Boissy-Rousseau y Laurelyne Verguet, Air Liquide

El proyecto Connect de Air Liquide France Industrie se inscribe dentro de la perspectiva de fábrica del futuro

del grupo Air Liquide. Su objetivo es crear un centro de operación y optimización a distancia de los sitios de producción del grupo en Francia e introducir las tecnologías digitales en los oficios de la producción. La innovación no se limita únicamente a la tecnología. Los métodos de trabajo adoptados participan también en el enfoque innovador del proyecto. Connect es también una ilustración del concepto emergente de cambio digital. Gracias a este concepto, se han desarrollado tecnologías digitales en colaboración con sus usuarios finales mediante métodos experimentales y ágiles. El enfoque adoptado es el de la innovación abierta y colaborativa para conectar los hombres y la tecnología.

Estas tecnologías no sólo son la base de las herramientas por desarrollar. Constituyen también un recurso para las acciones de formación y trabajo en red. Pero estas nuevas maneras de dirigir un proyecto plantean también la cuestión de la actitud y lugar de los diversos agentes.

### Las tecnologías de la planta de fabricación del futuro al servicio del mantenimiento industrial

Benjamin Godreuil y Emmanuelle Saudeau, SNCF

Los retos del mantenimiento ferroviario en Francia pueden resumirse en tres puntos:

- Garantizar permanentemente un alto nivel de seguridad y calidad de funcionamiento para los viajeros y la actividad de carga.
- Garantizar la disponibilidad del material utilizado comercialmente.
- Buscar continuamente la productividad, especialmente en el contexto de una industria sujeta a costes fijos de producción intrínsecamente elevados.

Las tecnologías del Internet industrial, con el despliegue de sensores en los trenes y el análisis inteligente de sus datos, aportan una primera respuesta estratégica: la previsión de las averías para reforzar el mantenimiento preventivo.

La diversidad de sus infraestructuras industriales y de sus conocimientos hacen que el departamento de mantenimiento e Ingeniería de la SNCF sea una referencia internacional. En el presente, la agilidad y accesibilidad de las tecnologías de la industria del futuro le aportan una nueva ventaja estratégica para acelerar la transformación de fábricas industriales que en ocasiones tienen más de cien años.

### El efecto de atracción del rendimiento conectado

Laurent Couillard y Étienne Droit, Optim'data

La industria está a las puertas de una revolución mayor. El encuentro entre la industria e Internet abre nuevos horizontes para mejorar el rendimiento industrial. Los modelos económicos tradicionales evolucionan de la venta

de productos a la venta de servicios, e incluso hacia una economía del compartir. La cadena de valor construida desde hace muchos años debe reconstruirse y, de hecho, la relación cliente-proveedor debe también reestructurarse. El hombre en la planta de fabricación sigue siendo un factor determinante del rendimiento global, pero muy probablemente su papel va a evolucionar al igual que sus responsabilidades y su zona de acción.

El rendimiento conectado permite responder a los desafíos de la industria del futuro. Redefine los códigos y modelos para mejorar la adaptabilidad de las herramientas industriales a las necesidades, reorientar al hombre sobre los puntos de valor, alcanzar los objetivos de sostenibilidad y controlar de la competitividad. El valor creado por el conjunto de los datos agregados crea una fuerza de atracción entre el fabricante de sistemas de producción y sus clientes que refuerza una relación de un nuevo tipo. OptimData, con su plataforma ProductInUse propone una tecnología innovadora para lograr esta transformación. El artículo presenta los aspectos fundamentales de la solución.

### Michelin, protagonista de la movilidad digital

Éric Chaniot, *Chief Digital Officer* del Grupo Michelin

En una entrevista concedida en 2015, el Presidente del Grupo Michelin, Jean-Dominique Senard afirmaba: «creado en el siglo XIX, Michelin entra en el siglo XXI gracias a la tecnología digital. Líder en el sector de los neumáticos, Michelin desea convertirse en un líder mundial de la movilidad». Esta fuerte voluntad ha llevado al grupo a iniciar un amplio plan de transformación que se articula en torno a tres ejes: el cliente digital, el empleado digital y la digitalización de los procesos internos del grupo.

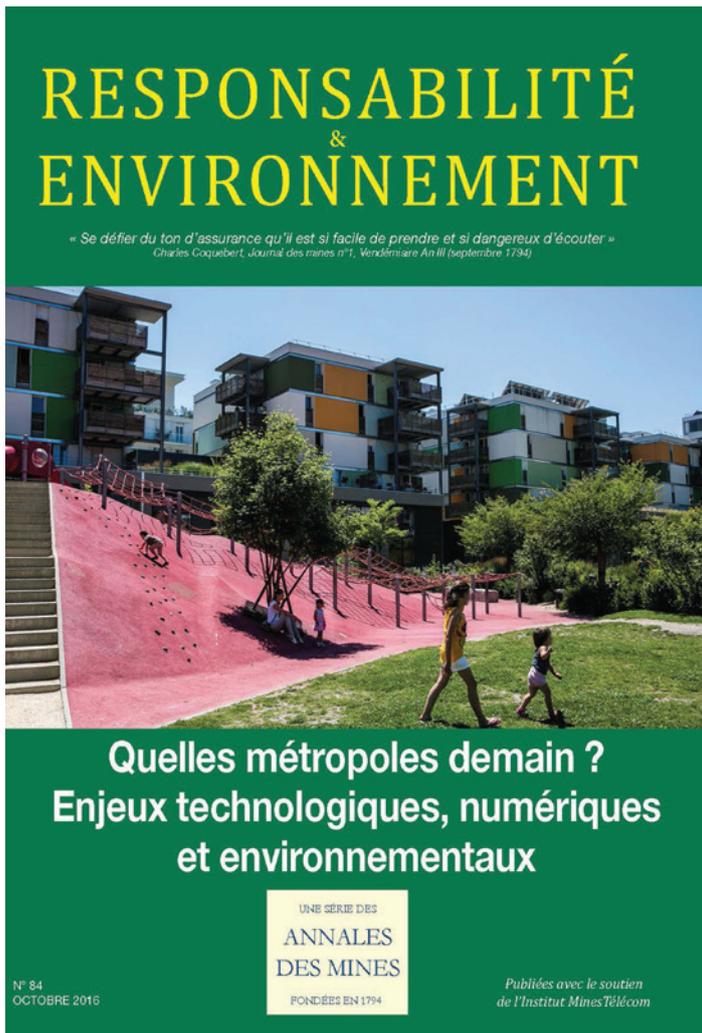
Aunque el mundo de los neumáticos parece alejado del campo digital, no ocurre lo mismo con los servicios relacionados con la movilidad. En este ámbito, Michelin ha multiplicado las innovaciones, alianzas y adquisiciones para responder mejor a las expectativas de sus clientes (tanto particulares como profesionales).

Desde la reserva en línea de restaurantes hasta la recopilación de datos en tiempo real para los camiones utilizados en las minas y la distribución en línea de neumáticos, pasando por la impresión 3D Metal, una cosa es segura: ¡Michelin se transforma!

# RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

## Quelles métropoles demain ?

### Enjeux technologiques, numériques et environnementaux



**Octobre 2016**

**Introduction - Jean-Louis MARCHAND et Claude TRINK**

**Une nouvelle vision de la ville, de nouvelles attentes**

La Smart Cité en 2040 : une utopie urbaine en deux fictions  
**Julien DAMON**

La création du Grand Paris, ou la nécessité d'adopter un nouveau modèle urbain - **Jean-Louis MISSIKA**

L'amélioration de la sécurité des villes  
**David HARARI et Claude TRINK**

Une ville intelligente et humaine  
**Nathalie BOULANGER et Hélène JEANNIN**

Les grandes métropoles face au changement climatique  
**Laurence MONNOYER-SMITH et Anne CHARREYRON-PERCHET**

**De nouveaux outils**

Les nouvelles techniques de construction - **François BERTIÈRE**

Eau, mobilités, énergies : vers un pilotage coordonné des réseaux  
**Jean-Christophe LOUVET**

L'éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures  
**Bruno PEUPORTIER**

Le *Big data* et l'*Open data* au service des collectivités  
**Pascal SOKOLOFF**

Usages et progrès de la modélisation urbaine - **Gérard HÉGRON**

Quand la valeur de l'immobilier glisse vers l'aval : contribution à une réflexion sur les nouveaux modèles économiques urbains  
**Isabelle BARAUD-SERFATY et Nicolas RIO**

Les apports de l'analyse prédictive des comportements humains à la création de villes plus agréables à vivre - **Raphaël CHERRIER**

« Rêve de scènes urbaines » : le démonstrateur industriel pour la ville durable implanté sur le territoire de Plaine Commune (Seine-Saint-Denis)  
**José-Michaël CHENU**

**Quelques exemples dans le monde**

Le Grand Paris ? C'est la région Île-de-France ! - **Valérie PÉCRESSE**

Accompagner les métropoles sur la voie d'un développement soutenable : acquis et perspectives du *Global Lab on Metropolitan Strategic Planning* de la Banque mondiale - **Florence CASTEL**

La vision « Morgenstadt » – La ville de demain : des partenariats d'innovation pour un développement urbain durable  
**Volker TIPPMANN et Alanus VON RADECKI**

Les enjeux du développement urbain en Chine - **Christian LÉVY**

Le dossier est coordonné par **Jean-Louis MARCHAND et Claude TRINK**

Pour plus d'information, nous invitons le lecteur à se reporter sur notre site :

<http://www.anales.org>



### **Thibaut BIDET-MAYER**

Thibaut Bidet-Mayer est titulaire d'un master d'économie de l'université Paris I Panthéon-Sorbonne. Spécialisé en économie industrielle, il a travaillé chez Xerfi (études sectorielles) avant d'intégrer La Fabrique de

D.R

l'industrie. Au sein de ce think

tank, il a notamment été impliqué dans les travaux traitant de la politique industrielle française et des questions de formation.



### **Karine BOISSY-ROUSSEAU**

Karine Boissy-Rousseau est aujourd'hui Directrice Générale d'Air Liquide Benelux. Entrée dans le groupe Air Liquide en 1997, elle dispose d'une double formation ingénieur et en marketing stratégique. Après avoir

D.R

occupé différentes fonctions opér-

ationnelles dans le secteur de l'énergie pour Air Liquide aux Etats-Unis pendant près de huit ans, elle retourne en France pour travailler sur la stratégie de développement de l'activité Santé du groupe. Elle prend en 2012 la responsabilité de l'activité Grande Industrie au sein d'Air Liquide France Industrie et est à l'origine du projet Connect, le projet de transformation digitale du Groupe.



### **François BOURDONCLE**

François Bourdoncle est actuellement Président de FB&Cie. Il a co-fondé en 2000 la société Exalead, pionnière dans le domaine des moteurs de recherche et du Big Data, qu'il a dirigé jusqu'à son rachat en 2010 par Dassault Systèmes pour 136M.

D.R

Précédemment, il a mené une carrière de recherche académique et industrielle, en France et en Californie, et a également enseigné pendant 15 ans à l'Ecole Polytechnique et à l'Ecole Normale Supérieure. François Bourdoncle est ancien Elève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur au Corps des Mines, et Docteur en Informatique. Il est membre du Conseil Scientifique de la Société Informatique de France, de la commission Innovation 2030, et a été nommé co-chef de file de la filière Big Data française. Il est également Chevalier dans l'Ordre National de la Légion d'Honneur et dans l'Ordre National du Mérite, et s'est vu décerner en 2005 le prix de l'Ingénieur de l'Année, dans la catégorie Entrepreneur, ainsi que le prix Louis Armand en 1987.

### **Mireille CAMPANA**

Mireille CAMPANA, normalienne, ingénieur général des Mines, est membre du Conseil général de l'économie où elle occupe les fonctions de haut fonctionnaire au développement durable du Ministère des finances et de référent énergie.

Initialement responsable du département R&D de cryptologie et sécurité chez France Télécom, elle a occupé des postes d'encadrement et d'expertise en sécurité dans plusieurs ministères. Elle a ensuite été en charge du soutien au développement des TIC à la DGE, notamment en matière de réseaux, contenus, sécurité et Internet ainsi que de leur diffusion dans l'industrie, la santé, la sécurité et l'éducation et du web.



### **Eric CHANIOT**

Passionné par l'innovation à laquelle il a consacré un ouvrage, Eric Chaniot a travaillé pour deux Groupes de technologie, Apple et HP, puis créé 2 startups (Internet Word of Mouth, en France, et Tire Intelligence, aux USA). Il rejoint Michelin comme Chief Digital Officer en 2015, rattaché directement au Président,

D.R

Jean-Dominique Senard. Il vit aux Etats-Unis, où se situe une partie de son équipe, qui est répartie entre la France, les Etats-Unis et la Chine.



### **Laurent COUILLARD**

Fondateur et Directeur Général d'OptimData. Laurent, diplômé de Sup'Aéro a occupé des postes de direction chez Dassault Systèmes. Récemment Laurent a été Directeur Général d'Exalead où il a fait pivoter la startup d'une base technologique vers un portefeuille applicatif de

D.R

solutions centrées sur les données. Laurent et Etienne ont collaboré directement chez Dassault Systèmes pendant 15 ans.



### **Michel DANCETTE**

Michel Dancette a travaillé pendant une vingtaine d'années dans le management de la R&D chez Bertin Technologies, avant de rejoindre Fives en tant que directeur d'une des filiales. Après avoir occupé plusieurs postes de direction opérationnelle, il a été chargé de définir et mettre

D.R

en œuvre la stratégie RSE (responsabilité sociétale des entreprises) du Groupe, Il a terminé sa carrière en 2016 en tant que Directeur Innovation et Prospective de Fives, où il était notamment chargé du pilotage du plan 34 de la

Nouvelle France industrielle, *L'usine du futur*, au nom de Frédéric Sanchez, Président du Directoire de Fives.



D.R

### **Philippe DARMAYAN**

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2015, Philippe Darmayan est président d'ArcelorMittal France. Il est également président du GFI (Groupe des Fédérations Industrielles).

Philippe Darmayan a effectué toute sa carrière dans la métallurgie (combustible nucléaire, aluminium, aciers carbone et inoxydable). De 2011 à 2014, il a

été Directeur Général d'APERAM, un des principaux producteurs mondiaux d'acier inoxydable. Auparavant, il a été vice-président exécutif en charge de la distribution d'ArcelorMittal et, membre du comité de direction de ce Groupe. Philippe Darmayan a débuté sa carrière au sein du Groupe Pechiney où il a occupé des fonctions de direction d'usine ou d'activités, notamment la direction de l'activité Aéronautique du Groupe.

Convaincu de l'urgence de revitaliser l'activité industrielle de la France, Philippe Darmayan anime depuis juillet 2015 l'Alliance Industrie du Futur, qui regroupe fédérations professionnelles, instituts de recherche et de formation pour contribuer au programme de la Nouvelle France Industrielle et amener l'industrie française à franchir le pas du numérique et des nouvelles technologies.

Philippe Darmayan est diplômé de l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales (HEC).



D.R

### **Etienne DROIT**

Fondateur et Président d'OptimData. Etienne Droit, diplômé de l'école des mines, a été membre du comité exécutif de Dassault Systèmes pendant 20 ans. Il a notamment dirigé CATIA, marque principale du groupe, et les transformations majeures de l'entreprise comme le modèle de

distribution. En 2012, Etienne Droit reprend et développe Transcat, revendeur leader en Allemagne des solutions de Dassault Systèmes. Il cède Transcat à Technia en 2015. Technia-Transcat est partenaire d'OptimData pour la distribution dans la zone d'Europe centrale et Europe du nord.

### **Pascal FAURE**

Agé de 53 ans, ingénieur général des Mines, Pascal Faure a débuté sa carrière aux Laboratoires Bell (Etats-Unis, PA), chez Apple Computer (Etats-Unis, CA) puis au CNET (France Télécom).

Après un poste à la Direction du budget, il devient en 1995 conseiller technique au cabi-



D.R

net du ministre du Tourisme, puis du ministre de l'Aménagement du Territoire, de la Ville et de l'Intégration. De 1997 à 2001, Pascal Faure occupe le poste de directeur du développement, des affaires financières et d'adjoint à l'administrateur général de l'Institut TELECOM. Il est alors nommé directeur technique adjoint au ministère de la Défense jusqu'en 2006.

De 2007 à 2012, Pascal Faure est successivement nommé Vice-président du CGTI puis du CGIET. Directeur général de la compétitivité de l'industrie et des services (DGCIS) depuis le 5 décembre 2012, il est nommé Directeur général des entreprises (DGE) le 17 septembre 2014 lorsque la DGCIS devient la DGE.



D.R

### **Pierre FAURE**

Président de l'AFNeT

Pierre Faure est Directeur e-Business, CRM et KM de Dassault-Aviation qu'il a rejoint en 1984 après des études et une thèse de géologie à l'Ecole des Mines de Paris.

En 1995, il est élu président de l'AFNeT (Association Franco-

phone du Net) dont la mission est de favoriser la compétitivité des filières industrielles grâce au numérique, au travers de Boost-Industrie.

Depuis 2003, il a dirigé avec le soutien de l'AFNeT et du GIFAS les projets d'e-transformation de l'industrie Aéronautique française : e-PME (2003), BoostAero (standards SCM, 2004), SEINE (standards PLM, 2006) et BoostAeroSpace (Hub numérique aéronautique européen, 2008-2010).

En 2011, il est élu premier Président de la société BoostAeroSpace par les PDG des entreprises fondatrices du Hub (Airbus, Dassault Aviation, Safran et Thales).

En 2014, il dirige des projets de développement des standards PLM internationaux, et depuis novembre 2015 l'étude de plate-forme collaborative de l'Industrie Ferroviaire.

Le 1<sup>er</sup> janvier 2016, il a été admis dans l'Ordre de la Légion d'Honneur au titre du Ministère de l'Industrie et du Numérique, pour ses actions réalisées en faveur de la promotion numérique dans l'industrie.



D.R

### **Benjamin GODREUIL**

Ingénieur diplômé de l'ISEL, il intègre SNCF au sein du domaine en charge de la maintenance du matériel roulant en 2004. Après plusieurs postes opérationnels et projets dans le domaine Supply Chain, il est en charge, depuis début 2015, du programme Usine Du futur de SNCF. Ce

programme de transformation digitale des Technicentres Industriels (10 usines, 7 000 pers.) a été désigné vitrine de l'industrie du futur pour les projets de son site d'Oullins (69).



## Karine GOSSE

Karine Gosse débute sa carrière au Centre de Recherche de Motorola sur les systèmes de communication cellulaires, en charge de programmes et de partenariats stratégiques. Elle rejoint le CEA LIST en 2009 en tant que chef de département puis la direction de l'Institut en 2012. Elle rejoint

D.R

le groupe Fives en tant que Chief Digital Officer / Industrie du Futur en octobre 2015. Karine Gosse est Membre du Conseil Scientifique d'Orange et de Centrale-Supelec, et Administrateur du CETIM et de l'ENSAM, membre du Conseil d'Orientation de la Fabrique de l'Industrie ; Elle représente Fives dans la gouvernance de l'Alliance « Industrie du Futur ».

## Dorothee KOHLER

Directeur Général de Kohler Consulting & Coaching, Paris - Berlin.

Dorothee Kohler, docteur en géographie et diplômée de Sciences Po Urba, dirige KOHLER C&C, cabinet de conseil en stratégie et développement des organisations. Chercheur au Centre Marc Bloch à Berlin, spécialiste de la transformation des territoires industriels allemands et français, elle poursuit sa carrière en 2001 dans l'industrie. Elle est nommée General Manager Human Resources du segment Inox d'ArcelorMittal (17 000 salariés) puis du segment Asie, Afrique, CTO, Growth Projects (100 000 salariés). En 2009, elle fonde le cabinet KOHLER C&C, spécialisé dans les diagnostics de croissance des entreprises familiales, l'appui aux projets de transformation des business models confrontés aux enjeux du numérique et le coaching de dirigeants.



## Michel LALLEMENT

Michel Lallement est professeur du Conservatoire national des arts et métiers, titulaire de la chaire d'Analyse sociologique du travail, de l'emploi et des organisations. Membre du Lise-CNRS, il mène des recherches sur les relations professionnelles et les transformations du travail, avec un intérêt particulier pour

D.R

les comparaisons internationales et les innovations organisationnelles susceptibles, hier comme aujourd'hui, de transformer les activités productives. Parmi ses dernières publications : *Le travail. Une sociologie contemporaine* (Gallimard, 2007) ; *Le travail sous tensions* (éditions Sciences Humaines, 2010) ; *Tensions majeures. Max Weber, l'économie, l'érotisme* (Gallimard, 2013) ; *L'âge du faire. Travail, hacking, anarchie* (Seuil, 2015) ; *Logique de classe. Edmond Goblot, la bourgeoisie et la distinction sociale* (Les Belles Lettres, 2015).

## Jean-Paul LAUMOND

Jean-Paul Laumond est roboticien, directeur de recherche au LAAS-CNRS à Toulouse. Dans les années 1990, il coordonne deux projets européens consacrés à l'algorithmique de la planification de mouvements et à ses applications. En 2000 il contribue à la création de la société Kineo Cam qu'il dirige pendant deux ans : l'entreprise développe des composants logiciels aujourd'hui bien implantés dans le secteur du prototypage virtuel pour l'industrie automobile et l'aéronautique ; elle rejoint le groupe Siemens en 2012. De retour au LAAS-CNRS en 2003, il s'intéresse aux fondements calculatoires du mouvement anthropomorphe, chez l'homme et pour les systèmes artificiels (robots humanoïdes et mannequins numériques) et crée l'équipe de recherche Gepetto. Il codirige de 2005 à 2008 le laboratoire franco-japonais JRL dédié à la robotique humanoïde. Il enseigne la robotique à l'ENS. Il a été le titulaire 2011-2012 de la chaire d'Innovation Technologique Liliane Bettencourt du Collège de France. Son projet de recherche Actanthrope reçoit le soutien de l'ERC en 2014. Il est membre de l'Académie des Technologies depuis 2015, récipiendaire du prix Inaba de la société savante IEEE Robotics and Automation en 2016.



## Christophe de MAISTRE

Président de Siemens France.

Né en 1966, Christophe de Maistre est diplômé de l'école d'ingénieur Institut Supérieur de Mécanique de Paris.

Titulaire d'un DEA de l'Ecole Normale Supérieure (Cachan) et d'un eMBA (Duke University),

D.R

Christophe de Maistre intègre le Groupe Siemens en 1991 où il occupe différents postes successifs en Allemagne, en France et en Chine. Il est nommé Président de Siemens France début 2011.

Membre, au titre des entreprises, du conseil de la simplification pour les entreprises, il est également Président de l'Association Pacte PME depuis juillet 2014.

## François PELLERIN

Animateur du projet Usine du Futur pour la Région Nouvelle Aquitaine : depuis début 2014, François Pellerin a organisé le déploiement du programme Usine du Futur auprès de 293 ETI et PME industrielles de la Région Nouvelle Aquitaine: diagnostic technologique, organisationnel et social, panorama de la performance industrielle, parcours thématiques, structuration de l'offre, plates-formes et démonstrateurs. Un plan de longue haleine pour accompagner les entreprises vers une usine numérique, pleinement respectueuse de l'épanouissement des salariés.

François Pellerin, ingénieur et docteur es sciences, a fait l'essentiel de sa carrière à Turbomeca groupe Safran, dans la recherche et développement matériaux, puis à la direction de l'établissement de Bordes dont il a accompagné la transformation.



## Denis RANQUE

Président du Conseil d'administration d'Airbus Group (ex EADS) (depuis mars 2013)

Président du Haut Comité de Gouvernement d'Entreprise (depuis octobre 2013)

Président de la Fondation de l'Ecole polytechnique (depuis juin 2014)

D.R

Membre du Conseil d'administration de Saint-Gobain

Membre du Conseil d'administration de CMA CGM

Membre de l'Académie des Technologies

(depuis janvier 2015)

Né le 7 janvier 1952 à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Carrière : Au ministère de l'Industrie : Chef du service développement industriel de la Direction régionale de l'industrie et de la recherche (Drire) Provence-Alpes-Côte d'Azur (Paca) puis Chargé de mission auprès du préfet de la région Paca (1976-79), Chef du service du charbon à la direction du gaz, de l'électricité et du charbon (1979-83)

Au groupe Thomson SA : Directeur du plan (1983-84), Directeur des activités spatiales puis Directeur du département tubes hyperfréquences de la division tubes électroniques (1984-89), Président-directeur général de Thomson tubes électroniques (1989-92) de Thomson-CSF, Président-directeur général de Thomson Sintra activités sous-marines (1992-96), de Thomson Marconi Sonar (1996-98), de Thomson-CSF devenu (2000) Thales (1998-2009)

Président (2010-12) de Technicolor

Président du conseil d'administration de l'Ecole nationale supérieure des mines (ENSM) de Paris (2001-12)

Président du Cercle de l'industrie (2002-12)

Président de l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT) (2010-12)

Formation : Ecole nationale supérieure des mines (ENSM) de Paris, Ancien élève de l'Ecole polytechnique, Ingénieur au corps des mines.

Décoration : Officier de la Légion d'honneur et Commandeur de l'ordre national du Mérite.

## Christian SAGUEZ

Christian Saguez est ingénieur de l'Ecole Centrale Paris et docteur es sciences. Il a été chercheur puis délégué aux relations industrielles de l'INRIA et directeur de Simulog, première filiale de cet institut. Il a ensuite exercé les fonctions de directeur des relations industrielles et des filiales du Cnes, de directeur du développement scientifique du groupe C-S et de directeur du laboratoire « Mathématiques Appliquées aux Systèmes » de l'Ecole centrale de Paris. Fondateur de l'association Teratec, il en assure la direction scientifique. Il est président fondateur de la société CybeleTech, spécialisée dans les technologies numériques pour le végétal.

## Emmanuelle SAUDEAU

Diplômée de ESSEC, Emmanuelle Saudeau a consacré l'ensemble de sa carrière au digital. Elle rejoint Cap Gemini Consulting en 1999 où elle est en charge de la conception et de la vente en ligne de nouveaux produits et services de grandes entreprises comme Air France, Renault, Société Générale. Elle rejoint Orange en 2006 comme directrice produit pour l'international, sur les segments entreprise puis mobile grand public. En particulier elle pilote le lancement de l'iPhone en France et en Europe. En 2012 elle devient directrice de la stratégie et de l'expérience client du groupe Groupe Voyages-sncf.com Rail Europe, 1er e-commerçant français.

Depuis 2014 en tant que directrice de la transformation digitale de SNCF, sa mission est de transformer le groupe SNCF en une organisation totalement digitalisée. Emmanuelle Saudeau est membre du Conseil National du Numérique.



## Philippe VARIN

Philippe Varin est actuellement le Président du Conseil d'administration d'AREVA, et le Président du Cercle de l'Industrie. Ancien élève de l'Ecole Polytechnique et de l'Ecole des Mines de Paris, Philippe Varin a rejoint le groupe Pechiney en 1978 en tant que chercheur. Après avoir occupé

D.R

différents postes de direction au sein du groupe, il est nommé Directeur général du secteur de l'Aluminium et membre du Comité exécutif du Groupe en 1999. En 2003, Philippe Varin rejoint le groupe sidérurgique anglo-néerlandais Corus en tant que Chief Executive Officer (Directeur général). Il préside le directoire de PSA Peugeot-Citroën entre 2009 et 2014.

Philippe Varin est également administrateur de Saint-Gobain, ainsi que Représentant spécial du ministère des Affaires étrangères et du Développement international pour les pays de l'ASEAN.



## Laurélyne VERGUET

De formation ingénieur, Laurélyne Verguet commence sa carrière dans le domaine de la sécurité industrielle. Après avoir exercé ce métier une quinzaine d'années dans différentes entreprises, elle complète sa formation par un executive mastère en sciences humaines. Aujourd'hui,

D.R

elle est responsable de la conduite du changement chez Air Liquide France Industrie. Elle mène dans un premier temps un projet de culture sécurité, et depuis plus d'un an, accompagne les projets d'évolution d'organisation et de transformation digitale de l'entreprise.

## Thierry WEIL

Professeur au centre d'économie industrielle de Mines ParisTech (Paris Sciences et Lettres), Thierry Weil fait de la recherche et du conseil sur le management de l'innovation en entreprise et les politiques publiques en faveur de l'innovation et de l'industrie. Depuis 2011, il anime La Fabrique de l'industrie, laboratoire d'idées destiné à stimuler les débats sur les enjeux et le devenir de l'industrie.

Il a travaillé dans l'industrie (notamment chez Areva et Thales) et la recherche, en France et dans la Silicon Valley. Il a dirigé la recherche et l'enseignement doctoral de Mines-ParisTech et a été en charge de la recherche et de la technologie au cabinet du Premier Ministre.

Thierry Weil est l'auteur ou le coordonnateur d'une centaine de publications et de plusieurs brevets. Il est membre de l'Académie des technologies, ingénieur général des mines, titulaire de licences de philosophie et de logique, docteur en physique et habilité à diriger des recherches en gestion.

## Jean-Daniel WEISZ

Associé au sein du cabinet KOHLER Consulting & Coaching

Jean-Daniel Weisz, diplômé de l'EM-Lyon et docteur en économie, est expert du Mittelstand et de la transformation numérique (Industrie 4.0) en France et en Allemagne.



D.R

Il a débuté sa carrière professionnelle dans l'industrie au sein de Directions financières notamment chez ArcelorMittal. Il a ensuite rejoint le cabinet de conseil BearingPoint où il a accompagné de nombreux clients dans l'amélioration du management de la performance. A partir de 2009, il devient Associé du cabinet KOHLER C&C et réalise des

missions stratégiques et opérationnelles. Il accompagne des entreprises familiales, PME et Entreprises de taille intermédiaire (ETI), dans des diagnostics de maturité numérique, dans la réflexion sur l'évolution de leur *business model* et dans le *design* de leur *roadmap* de transformation numérique.

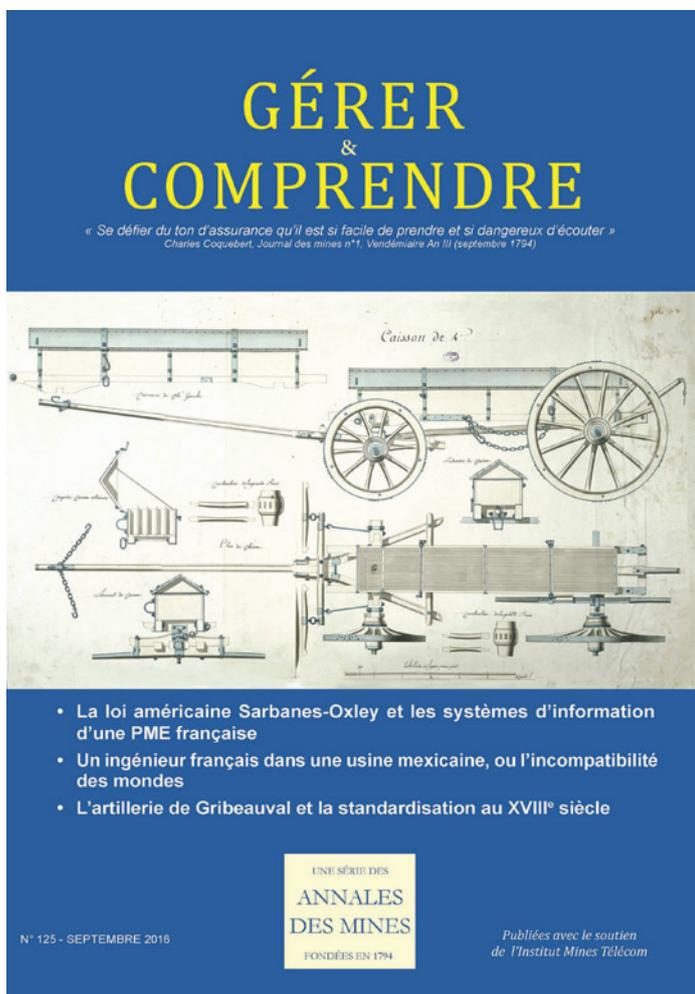
Il est co-auteur avec Dorothee Kohler des ouvrages suivants :

- *Pour un nouveau regard sur le Mittelstand* (2012), Rapport au Fonds Stratégique d'Investissement, Paris, La Documentation Française, 136 p.

- *ETI 2020, trajectoires de croissance* (2014), Paris, Bpifrance le Lab, 46 p.

- *Industrie 4.0 – Les enjeux de la transformation numérique du modèle industriel allemand* (2016), Paris, La Documentation Française, 176 p.

# GÉRER & COMPRENDRE



n° 125 - Septembre 2016

Editorial - Pascal LEFEBVRE

## L'épreuve des faits

La mise en conformité avec une loi étrangère : le cas de l'application de la loi Sarbanes-Oxley par la direction des systèmes d'information d'une PME française cotée au New York Stock Exchange

**Randa BEN ROMDHANE et Éric FIMBEL**

De l'incompatibilité des mondes dans une multinationale : l'expérience d'un expatrié français dans une usine mexicaine

**Michel VILLETTE et François FOURCADE**

## En quête de théorie

Le chômage des jeunes en France : une « épreuve » diversement vécue

**Didier CHABANET**

Les mécanismes de protection des innovations contre l'imitation : un cadre d'analyse générique et un inventaire

**Matthieu MANDARD**

## Autres temps, autres lieux

Le système Gribeauval ou la question de la standardisation au XVIII<sup>e</sup> siècle

**Héloïse BERKOWITZ et Hervé DUMEZ**

Quand l'innovation appelait à réformer l'entreprise : l'éclairage historique apporté par Walther Rathenau

**Blanche SEGRESTIN**

## Mosaïque

**La fabrique de l'économie selon Jean Tirole (prix Nobel d'économie 2014)**

À propos du livre *Économie du bien commun* de Jean Tirole, Presses Universitaires de France, mai 2016

**Damien COLLARD**

*The Public Wealth of Nations – How Management of Public Assets Can Boost or Bust Economic Growth*

À propos du livre *The Public Wealth of Nations – How Management of Public Assets Can Boost or Bust Economic Growth*, de Dag Detter et Stefan Fölster, Palgrave Macmillan ed., 2015, 244 p.

**Pierre MESSULAM**

Pour plus d'information, nous invitons le lecteur à se reporter sur notre site :

<http://www.annales.org>