

Industrie 4.0

L'usine connectée



Le Gimélec fédère 200 entreprises qui fournissent des solutions électriques et d'automatismes sur les marchés de l'énergie, du bâtiment, de l'industrie et des infrastructures.

Les entreprises du Gimélec emploient 70 000 personnes en France où elles génèrent un chiffre d'affaires de 12,7 milliards d'euros à partir de la France, dont plus de 58 % à l'export.

Tirant profit de la convergence des technologies électriques et numériques, les entreprises du Gimélec proposent des solutions de gestion intelligente et connectée des énergies et de leurs usages dans tous les secteurs de l'économie – industries, bâtiments, infrastructures, transports – dans une dynamique d'innovation et de progrès partagé par tous :

- une gestion active des bâtiments neufs et existants,
- des réseaux sécurisés et intelligents (*smart grid*) facilitant la maîtrise de la production et de la demande d'énergie ainsi que la diffusion de nouveaux usages,
- un pilotage sécurisé, connecté et énergétiquement efficace des procédés de fabrication industriels,
- l'intégration dans le système électrique de nouvelles sources d'énergie décarbonée et de moyens de stockage décentralisés,
- le déploiement du véhicule électrique, etc.

C'est ainsi qu'elles contribuent à la transition énergétique et se positionnent au cœur des enjeux énergétiques, économiques et écologiques en France et à travers le Monde.



Industrie 4.0 L'usine connectée

L'ensemble du secteur industriel est entré dans une phase de profonde mutation qui voit les technologies numériques s'intégrer au cœur des processus industriels. Cette quatrième révolution industrielle donne naissance à une nouvelle génération d'usine. Qu'on l'appelle « *Cyber-usine* », « *Usine digitale* », « *Integrated Industry* », « *Innovative Factory* » ou « *Industrie 4.0* », cette rupture technologique majeure offre un extraordinaire champ d'innovation, de progrès et de croissance. Caractérisée par la fusion du monde virtuel de l'internet délocalisé et du monde réel des installations industrielles, l'industrie 4.0 devient la référence incontournable pour la production industrielle.

Le Gimélec, à travers ses adhérents, s'engage auprès de l'ensemble du secteur industriel français pour accompagner ce formidable mouvement d'innovation. Cette période de transition vers ce nouveau modèle industriel est cruciale pour relancer la dynamique économique. C'est dans ce but que nous avons créé ce document dans lequel vous trouverez de nombreuses explications sur les concepts liés à l'Industrie 4.0, sur les opportunités de marché qui en découlent, ainsi que de nombreux témoignages d'experts et de personnalités du secteur.

Bonne lecture

Frédéric Abbal
Président du Gimélec

Sommaire

Une fantastique opportunité

4# Industrie 4.0 : Allons-y... rapidement

Interview de *Vincent Jauneau, Président du Comité de Marché Industrie au Gimelec.*

6# Smart-Industries, la renaissance de l'Europe

Par *Antonio Tajani, Vice-Président de la commission européenne, en charge de l'industrie.*

Le concept

9# L'usine numérique : introduction

10# Révolutions industrielles 3+1

12# Une évolution technologique, une révolution productive

18# Quand les technologies accompagnent l'homme

Par *Julien Roitman, Président des Ingénieurs et Scientifiques de France.*

Les technologies concernées

20# Capteurs : les sentinelles

22# Un contrôle/commande communicant

Automate : le garant discipliné de la production 4.0

Réseaux et protocoles dans les ateliers : la base de l'édifice

28# Commande numérique et Robots prêts pour l'Industrie 4.0

La commande numérique a un pied dans l'Industrie 4.0

La télémaintenance : premiers pas des robots dans l'Industrie 4.0

31# Logiciels : la bibliothèque de l'usine numérique

Vers la convergence des logiciels

La supervision dans le sens de l'histoire de l'Industrie 4.0

La smart-industrie génère des opportunités inenvisageables il y a peu

Interview d'Andrew Wertkin, CTO de PTC

37# Les nouveaux outils de l'entreprise étendue :

Cloud Computing, Big Data, réseaux sociaux et impression 3D

40# L'Internet des objets : le web 3.0 au service de l'Industrie 4.0

42# La logistique : un poste clef

Les conséquences

44# La cybersécurité et l'usine numérique

Pas d'industrie 4.0 sans sécurité informatique

47# L'enjeu énergétique : sécuriser les approvisionnements et en abaisser le coût

49# Nous entrons dans une nouvelle révolution industrielle

Par *Jeremy Rifkin, économiste, prospectiviste et essayiste américain.*

51# Les industriels doivent se rapprocher des établissements d'enseignement supérieur pour exprimer leurs besoins

Interview de *Philippe Véron, Professeur des Universités à Arts et Métiers ParisTech et chercheur au sein du LSIS.*

53# Le client n'achète pas des produits mais un service

Interview de *Jean-Pierre Dal Pont, auteur du « Génie des procédés et l'entreprise ».*

55# Passons à l'Innovation Humaniste

Par *Navi Radjou, Co-auteur de l'innovation Jugaad.*

La vision des autres pays

57# Allemagne : les huit recommandations de la plateforme Industrie 4.0

60# Les États-Unis se préparent à la « smart » industrie

Les avantages et les bénéfices

61# Les bénéfices de l'Industrie 4.0 à portée de main

Le rôle de l'Etat

63# Le numérique, enjeu majeur pour la compétitivité

Par *Pascal Faure, Directeur Général de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services (DGCIS).*

Industrie 4.0 : Allons-y... rapidement

Interview de **Vincent Jauneau**, Président du Comité de Marché Industrie du Gimelec.

SMART-INDUSTRIES : Avant de parler de la quatrième révolution, faites-nous un rapide rappel des précédentes ?

VINCENT JAUNEAU : La première c'est la production mécanique avec la vapeur, l'hydraulique. La deuxième c'est la production de masse avec l'arrivée de l'électricité. La troisième c'est la production automatisée avec les automates et les robots. Et maintenant c'est la quatrième révolution.

SMART-INDUSTRIES : Elle est de même ampleur ? C'est une Révolution ou une Evolution ?

VINCENT JAUNEAU : C'est une véritable révolution, nous sommes dans une approche où la manière de travailler va fondamentalement changer.

En revanche cela ne remet pas en cause les investissements des industriels. Les parties CAO, ERP, PLM... mais aussi automatismes, drives, robotique... restent en place.

Mais nous allons vers une convergence, une fusion, entre le monde virtuel et le monde réel. Nous sommes en pleine accélération, c'est cette accélération qui entraîne la Révolution.

SMART-INDUSTRIES : Quel est le cheminement qui a mené à cette révolution ? La fin du produit universel ?

VINCENT JAUNEAU : Certes, nous devons répondre aux besoins de l'industrie qui sont des cycles de développement des produits qui deviennent de plus en plus courts, la gestion de la complexité des produits et, avec elle, les volumes de

données générés sur l'ensemble du cycle de vie des produits.

Industrie 4.0 répond à cette demande, c'est le challenge. Ce challenge, nous devons le relever en France et en Europe.

SMART-INDUSTRIES : Dans leur rapport, les Allemands parlent de CPS (Cyber Physical Systems), des îlots qui vont communiquer, qui seront aptes à décider localement. C'est pour quelle échéance ?

VINCENT JAUNEAU : C'est un concept qui fonctionne déjà, et évoluera dans le temps. CPS comprend les systèmes mécatroniques, les systèmes de stockage et les outils de production qui ont été développés sous forme numérique et intégrés dans la chaîne de valeur du client. A savoir la réception des matières premières, la production, le marketing et la logistique. Globalement, tous les composants cités participent à l'intégration de CPS.

Mais soyons clair, ce n'est pas l'îlot qui décidera. L'homme reste essentiel dans la créativité, le contrôle et la prise de décision en concevant le produit et en déterminant les règles, ainsi que les paramètres de production. Le CPS simulera et comparera des options de production sur la base d'instructions fournies. Il proposera alors la solution optimale.

Qui va implémenter ces solutions ? L'avenir est aux ingénieristes ?

VINCENT JAUNEAU : C'est un changement majeur, les industriels seront obligés de

faire collaborer des équipes qui jusqu'ici travaillaient chacune de leur côté, les informaticiens, les automaticiens, la production, les installateurs... il faudra une collaboration forte.

Ces solutions concernent l'ensemble des intervenants dans la chaîne industrielle. L'industriel demandera à ses OEM's d'avoir des machines compatibles avec CPS et Industrie 4.0 pour pouvoir les intégrer sur sa chaîne de fabrication. Il demandera également aux installateurs de maîtriser ces technologies.

En Allemagne, le gouvernement a mis en place un groupe de travail concernant Industrie 4.0 qui doit tracer l'avenir de cette technologie, sa mise en œuvre, les nouvelles normes et l'exploitation de l'ensemble des avantages pour rendre l'industrie allemande encore plus compétitive.

SMART-INDUSTRIES : Faut-il prévoir une conduite sociale de ces changements. Et quid de la formation ?

VINCENT JAUNEAU : Il existe des BTS automatismes, avec pour certains des expériences d'Industrie 4.0. Il y a des étudiants prêts à intégrer l'industrie avec la compétence 4.0.

Industrie 4.0 doit également renforcer l'attractivité de l'industrie auprès des jeunes en amenant cette part forte dans les logiciels de haute technologie, dont les Geeks sont friands.

SMART-INDUSTRIES : L'usine numérique vue des éditeurs de PLM semble bien maîtrisée, mais qu'en est-il de cette usine numérique dans laquelle les

informations doivent descendre dans les CN, les automates, les robots.... ?

VINCENT JAUNEAU : La génération de code est une nécessité pour boucler la boucle. La réalité technique dépendra des fabricants et de leur capacité à intégrer le virtuel avec le réel.

La convergence se fait. Il y a des « briques » qui fonctionnent comme la génération de code à partir des logiciels de simulation d'un atelier de production vers les automatismes.

Pour mettre cet ensemble en place, il va falloir sensibiliser, former... et cela prendra du temps.

SMART-INDUSTRIES : Il y a 10 ans, les fournisseurs faisaient du soft ou du hard. Comment votre métier évolue ? Qui va prendre le leadership, les anciens acteurs des automatismes ou les fabricants de soft ?

VINCENT JAUNEAU : Dans ce domaine, ceux qui ne pourront pas se différencier par la technologie seront en difficulté, les acteurs qui prendront le leadership auront un avantage concurrentiel fort. Mais que le fournisseur vienne du Soft ou du Hard, il lui faudra aller vers les deux technologies.

SMART-INDUSTRIES : Que faut-il préconiser aux clients ? Se lancer à corps perdu, faire du pas par pas, attendre ?

VINCENT JAUNEAU : Aujourd'hui pour l'Industrie 4.0, des solutions existent. Pour y aller les industriels doivent faire collaborer les équipes IT, les BE et les équipes de production et les fédérer autour d'un projet. C'est le critère de réussite pour la mise en place d'Industrie 4.0 dans une entreprise. C'est toute la chaîne qui doit être prise en compte.

SMART-INDUSTRIES : Existe-t-il des secteurs industriels pour lesquels ce sera plus facile ou difficile ?

VINCENT JAUNEAU : L'ensemble de l'industrie est concernée par Industrie 4.0. En revanche il existe des secteurs où cela

sera plus facile, en particulier l'automobile qui a des facteurs de production existants.

SMART-INDUSTRIES : L'usine numérique, c'est un peu l'usine qui confie son avenir à Internet. C'est raisonnable ? Avec quelles armes se battre face à cette nouvelle guerre qu'est la cybercriminalité ?

VINCENT JAUNEAU : C'est un risque supplémentaire, c'est un challenge majeur à prendre en considération. Aujourd'hui tout industriel doit prendre en compte ces critères de cybersécurité. Cela le sera d'autant plus qu'Industrie 4.0 et CPS reposent sur des infrastructures Internet à haut débit.

Un livre blanc vient d'être publié à la demande de François Hollande, qui souligne la vulnérabilité des installations industrielles et en particulier pour les domaines d'importance vitale. Ce livre blanc préconise la mise en place d'une réglementation dans ce domaine.

De même, il est important pour un OEM de savoir protéger son savoir-faire, et de se protéger contre les copies.

SMART-INDUSTRIES : Vous avez parlé d'Allemagne. Quelle est la position de la France dans cette 4^{ème} révolution ?

VINCENT JAUNEAU : Non seulement nous avons une place à prendre, mais c'est également un enjeu majeur. L'industrie a décliné dans le PIB français, ce n'est pas une fatalité ; nous avons des atouts incontestables. En revanche notre compétitivité, notre capacité à exporter nos machines, notre capacité à stopper les délocalisations et relocaliser nos productions en France dépendront de notre capacité à basculer rapidement dans ces nouvelles technologies et à prendre un avantage concurrentiel.

La question c'est comment y aller. L'industriel ne peut pas y aller tout seul, il en est de même des fournisseurs. Ces acteurs doivent être soutenus par une démarche du Gimelec, du Symop, du Gouvernement.

Cela nécessite une mobilisation forte de tous, comme nous pouvons le voir en

Allemagne, où la chancelière Angela Merkel a prononcé un discours à la foire de Hanovre « *Securing the future of German*



Vincent Jauneau

► Président du Comité de Marché Industrie du Gimelec, Vice-Président de Siemens France, en charge du secteur Industrie.

Manufacturing Industry » décrivant Industrie 4.0 comme l'élément majeur des prochaines années. Les USA ont également lancé le plan « *Advance manufacturing* ».

L'an dernier a été lancé l'action Productivez, destinée à aider les industriels à s'automatiser, c'était une première belle étape.

C'est pour cela que le Gimelec et le Symop se sont associés pour lancer la deuxième étape du plan Productivez avec, nous l'espérons, un soutien fort de l'Etat. C'est cette deuxième étape de Productivez qui permettra la mise en place d'Industrie 4.0. ▲

Une renaissance industrielle pour stimuler la croissance en Europe

par **Antonio Tajani, Vice-Président de la Commission Européenne, Commissaire en charge de l'Industrie et l'Entrepreneuriat**

La crise a accéléré la chute de la compétitivité et du déclin industriel. Telles sont les principales causes du chômage, qui est déjà supérieur à 12 %. Mais la compétitivité industrielle joue un rôle clé dans la relance de la croissance et de l'emploi et les États membres ayant une base industrielle forte ont beaucoup réussi. Chaque emploi dans l'industrie génère entre 1 et 2 emplois dans le secteur des services. Malheureusement, pendant la crise, le PIB pour la production est passé du 20 % à 15,2 %, et devrait revenir à 20 % en 2020. Comment pouvons-nous atteindre cet objectif ? Nous pensons que des formes d'industries, comme l'Advanced Manufacturing, Smart-Industries (« *production intelligente* ») et l'Industrie 4.0 aideront à franchir le cap.

La politique industrielle doit jouer un rôle clé dans les discussions ouvertes sur la nouvelle gouvernance économique européenne. Plusieurs politiques de l'UE influent directement sur la compétitivité de l'industrie :

70 % de la croissance à partir de maintenant jusqu'en 2020 sera dans les pays émergents. Il est donc essentiel d'élaborer une politique de plus grande ouverture des marchés mondiaux, avec un accès effectif et équitable pour nos entreprises. Mais seulement 13 % de nos PME réussissent à exporter vers les pays tiers. Dans le cadre de notre stratégie d'internationalisation, nous devons promouvoir les « *clusters* » afin d'améliorer l'accès aux marchés. En outre, j'ai parrainé des missions pour la croissance avec les délégations d'entrepreneurs eu-

ropéens en Amérique latine, aux États-Unis, la Russie et l'Afrique du Nord.

Le commerce est aussi vital pour notre économie. Je suis contre le protectionnisme mais nos accords internationaux doivent être équilibrés, en évitant les effets négatifs sur les secteurs. Ainsi, nous renforçons nos capacités d'analyse, en tenant compte de l'effet cumulatif des différents accords sur des secteurs spécifiques. Nous devons aussi utiliser notre instrument de protection commerciale efficace, comme le font nos homologues. Je suis très satisfait de l'ouverture des négociations avec les États-Unis.

“ *Advanced Manufacturing, Smart-Industries, Production Intelligente et l'Industrie 4.0 sont des développements qui vont donner un nouvel élan à l'industrialisation de l'Europe.* ”

Les restrictions et les disparités dans les conditions d'accès au financement sont les principaux obstacles pour résoudre la crise. Cela est particulièrement vrai pour l'Espagne, le Portugal, l'Italie et la Grèce qui ont le plus grand nombre de PME, les plus touchées par la crise du crédit. Dans ce contexte, la Commission et la Banque européenne d'investissement doivent s'engager à un effort extraordinaire, en synergie avec le budget de l'UE, afin de renforcer le capital-risque et les instruments d'assurance-crédit. Une éventuelle collaboration avec la Banque centrale européenne devrait également être explorée.

Nous avons besoin de démontrer que l'Europe n'est pas un ennemi pour l'entreprise. Moins de règles, moins de procédures et diminution des coûts aideraient les entreprises ; les bilans de qualité et des examens de l'incidence sur la compétitivité devraient être nos priorités.

Advanced Manufacturing, Smart-Industries (« *production intelligente* ») et l'Industrie 4.0 sont des développements qui vont donner un nouvel élan à l'industrialisation de l'Europe. Nous allons atteindre nos objectifs seulement si nous investissons nos moyens financiers dans des projets qui amènent à une relance

et à une modernisation de la production industrielle en Europe.

La Commission européenne a déjà pris plusieurs initiatives pour contribuer à relancer l'industrie en Europe et nous allons encore intensifier nos efforts. Nous avons proposé aux États Membres d'augmenter le budget pour la recherche et le développement de plus de 30 % dans la période 2014 à 2020. Nous allons utiliser une partie de ce budget de l'Horizon 2020 pour promouvoir l'innovation : nous allons cofinancer plus de projets qui sont proches du marché et donc plus rapidement prêts pour la commer-

cialisation pour créer de la croissance et d'emplois. La coopération avec les entreprises, les centres de recherche et les États Membres est essentielle pour arriver à des solutions efficaces et unir nos moyens pour arriver à des solutions utiles pour la société. Nous avons donc l'intention de lancer plus de coopérations public-privé.

La Commission a aussi proposé aux États Membres et au Parlement européen d'investir €6.6 milliards dans les technologies clés génériques (key enabling technologies, KETs) dans le cadre financier pluriannuel 2014-2020. Le groupe à haut niveau « KETs » est en train de développer des propositions concrètes pour la Commission, les États Membres et l'industrie qui seront présentées bientôt et vont assurer que l'Europe reste à la pointe dans le développement et dans l'application de ces technologies clés : le micro- et nanoélectronique, les matériaux avancés, la biotechnologie industrielle, la photonique, la nanotechnologie et les systèmes avancés de fabrication qui vont changer le processus de production pour établir des Smart-Industries.

Un autre exemple qui montre comment la production des biens peut être transformée est l'impression 3D. Elle permet une production en quantités bien moindres que ce qui est aujourd'hui économiquement faisable, ce qui permet de fabriquer de nouveaux produits de niche à faible coût et de manière personnalisée et d'offrir de nouveaux débouchés commerciaux aux PME innovantes.

Nous avons lancé la Task Force Advanced Manufacturing début 2013 pour identifier les synergies de toutes les initiatives de la Commission qui peuvent, dans un bref délai, apporter un soutien fort à la production en Europe, par exemple, les partenariats public-privé « Usines du Futur », la normalisation, nos instruments financiers pour soutenir la modernisation de la production, la formation des employés (life-long learning), l'intérêt des étudiants pour les sciences de production et le rôle qui pourrait jouer le European Institute of Technology dans la domaine de « Added Value Manufacturing ». La Commission

a par exemple proposé de lancer une « Knowledge and Innovation Community » (KIC) sur ce sujet à partir de 2018.

Toutes ces initiatives sont importantes, parce que l'industrie se trouve aujourd'hui dans un processus de modernisation inté-

notre compétitivité dans des réseaux de production globale qui demandent une modernisation et une réorganisation complète et concerne les technologies, les processus de production, des produits et services et l'organisation des entreprises. Cette transformation va créer une



Antonio Tajani

- ▶ Né à Rome en août 1953, il a vécu à Paris, Bologne et Rome.
- ▶ Il est élu député européen en 1994, après avoir occupé le poste de porte-parole de Silvio Berlusconi.
- ▶ Depuis février 2010, il est l'un des cinq Vice-présidents de la Commission Européenne, et commissaire en charge de l'Industrie et de l'entrepreneuriat.

grant les nouvelles technologies dans les processus de production. « L'industrie intelligente » entraîne plus d'automatisation et plus de flexibilité dans les usines. La production sera capable de réagir rapidement à l'évolution du marché.

L'Industrie 4.0 est toujours au début de son développement : l'Industrie 4.0, c'est l'usine ultra-connectée du futur qui s'annonce comme la prochaine « révolution industrielle ». Le concept de connecter les machines d'une usine ou de plusieurs usines par un intranet possède un grand potentiel pour l'optimisation des processus manufacturiers, pour la réduction des matériaux utilisés et pour une plus grande flexibilité à réagir aux besoins individuels de chaque client.

La transformation de notre industrie en Europe est essentielle pour préserver

industrie plus durable qui consommera moins d'énergie et moins de matières premières et qui va recréer les relations entre l'être humain et les machines.

Si nous jouons un match au niveau de l'UE, la politique industrielle doit jouer un rôle clé dans les discussions ouvertes sur la nouvelle gouvernance économique européenne. La gravité de la crise actuelle exige des mesures ciblées. La stratégie de l'Union européenne sur les Advanced Manufacturing, Smart-Industries et l'Industrie 4.0 fournit une approche intégrée et holistique afin de rationaliser les politiques existantes et à venir de l'Union européenne. La capacité de l'Union européenne à développer et déployer ses technologies déterminera dans une large mesure son avenir ! La Commission est déterminée à mener à bien cette stratégie et à aller résolument de l'avant. ▲



Vers l'usine numérique

« Il y a l'usine numérique telle que la conçoivent les éditeurs de PLM et puis il y a l'usine numérique où des informations descendent jusqu'à la commande numérique d'où remontent d'autres informations qui permettent aux exploitants de sites industriels de prendre les bonnes décisions.

Pour la partie relative à la conception, beaucoup de travail a été accompli et elle est relativement bien maîtrisée par les exploitants et par les éditeurs de logiciels. En revanche, quand nous descendons dans l'atelier, beaucoup de progrès restent à faire car la chaîne numérique est encore sectorisée, voire limitée. Nous rencontrons des situations où l'on doit réinventer ou réécrire des choses déjà conçues. Cela progresse mais l'industrie doit continuer à travailler » à une meilleure circulation de l'information.

Laurent Lalliard, ingénieur Études et prestations au Cetim

Les révolutions industrielles

Une révolution industrielle a toujours été précédée de progrès scientifiques, techniques et organisationnels. C'est encore le cas, aujourd'hui, avec l'adoption de la numérisation par des pans entiers de l'économie. Informatique et télécommunications associées portent ce phénomène qui annonce la 4^e révolution industrielle. Petit rappel historique.

La 1^{re} révolution industrielle

La première révolution industrielle repose sur le charbon, la métallurgie, le textile et la machine à vapeur. Elle démarre en Grande-Bretagne à la fin du XVIII^e siècle, puis se propage en France au début du XIX^e siècle avant de s'étendre en Allemagne, aux États-Unis, au Japon et à la Russie. Ce phénomène mondial est associé à d'autres bouleversements :



démographique (très forte augmentation de la population), social (migrations et progression de la pauvreté), économique (progression importante de la richesse globale produite), politique (lutttes pour la démocratie) et idéologique (triomphe du libéralisme). Mais l'industrie – au sens de production de masse avec des produits finis à faible coût – n'aurait jamais vu le jour sans progrès scientifiques et techniques.

Les événements marquants de cette période sont : les améliorations appor-

tées en 1705 par Thomas Newcomen, à la machine à vapeur et l'extension de son utilisation à l'industrie ; la première utilisation du coke à la place du bois pour fondre le minerai de fer (Abraham Darby en 1709) ; la mise au point de la navette volante qui augmente la vitesse du tissage (John Kay en 1733) ; la première machine à tisser mécanique avec moteur hydraulique (Richard Arkwright en 1769) ; encore l'amélioration de la machine à vapeur (James Watt en 1769) ; le premier essai d'une locomotive à vapeur (1804)...

La 2^e révolution industrielle

La deuxième, démarrée à la fin du XVIII^e siècle, trouve ses fondements dans l'électricité, la mécanique, le pétrole et la chimie. On peut ajouter l'apparition de moyens de communication (télégraphe et

téléphone) et le succès du transport collectif grâce au développement des chemins de fer ou des bateaux à vapeur. Les moyens de communication et de transport favorisent les échanges internationaux.

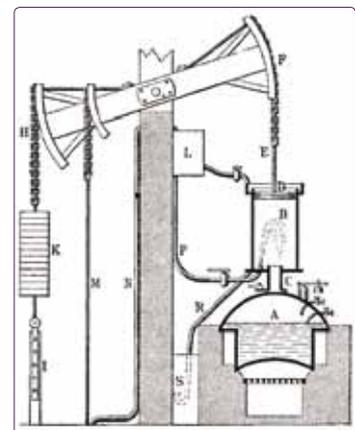
On sait produire l'électricité depuis relativement longtemps, mais à l'aide de piles. L'invention du Belge Zénobe Gramme, la magnéto Gramme, présentée le 17 juillet 1871 à l'Académie des sciences de Paris,



est majeure car la production de l'électricité devient mécanique. C'est une machine rotative mue par une manivelle. Ses perfectionnements ultérieurs ont en font une dynamo industrielle (1873) générant du courant continu et « sa réversibilité en moteur à courant continu, puis de l'alternateur générateur de courants alternatifs polyphasés au moteur à induction biphase

CE QUE LA 1^{RE} RÉVOLUTION INDUSTRIELLE DOIT À DENIS PAPIN

On attribue rarement la découverte de la machine à vapeur à Denis Papin. Il a pourtant publié, en 1690, un article intitulé « *Nouvelle manière de produire à peu de frais des forces mouvantes extrêmement grandes* ». Les inventions du cylindre pneumatique (qui met en évidence la puissance mécanique que l'on peut tirer de la transformation de l'eau), de l'invention, dix ans plus tôt, du digesteur (vapeur sous pression qui donna l'autoclave) et du sous-marin font de Papin le premier qui a posé toutes les bases de la machine à vapeur. En 1698, Thomas Savery dépose un brevet sur une telle machine servant à pomper l'eau. En 1705, en collaboration avec Thomas Newcomen, il étend le champ d'application de la machine à vapeur à l'industrie. Beaucoup plus tard, en 1769, l'Écossais James Watt améliora considérablement cette technique.



puis triphasé qui a pris place dans toutes les usines » (cf. Wikipédia). Associée à la distribution du courant, l'invention de Zénobe Gramme fait de l'industrie aujourd'hui une commodité incontournable.

En 1878, Thomas Edison met au point la lampe à incandescence. Fini les lampes à arc électrique, lampes à pétrole et gaz pour l'éclairage public. En 1881, un des ingénieurs de l'Edison Company, Lewis Howard Latimer, améliore le procédé en brevetant la première ampoule à incandescence avec filament de carbone.

À propos du moteur à explosion : Jean-Joseph Lenoir invente un nouveau type de moteur qu'il construit en 1859. Le brevet, déposé en 1860, porte sur un système de moteur à air dilaté par la combustion de gaz enflammé par l'électricité. Pierre Hugon fait breveter un moteur du même type, mais fonctionnant au gaz. L'Allemand Nicholas Otto réalise en 1876 le premier moteur à combustion interne. Ce sera le départ des moteurs véritablement automobiles.

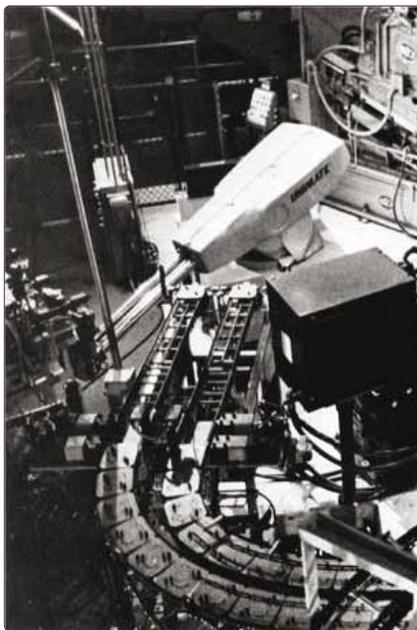
Parallèlement, l'ingénieur Frederick Winslow Taylor invente, en 1911, le taylorisme, une organisation scientifique du travail qui permet d'augmenter la productivité des salariés, et Henry Ford instaure le montage à la chaîne qui réduit le temps de construction de son modèle Ford T de 6 heures à 1 heure 30. L'ouvrier devient statique et assemble les pièces qui défilent devant lui.

La 3^e révolution industrielle

Une troisième révolution se produit au milieu du XX^e siècle, dont la dynamique vient de l'électronique, des télécommunications, de l'informatique, de l'audiovisuel et du nucléaire. Ils rendent possibles la production de matériels miniaturisés, de robots et l'automatisation poussée de la production, le développement des technologies spatiales et celui des biotechnologies. Partie des États-Unis, puis du Japon et de l'Union européenne, la troisième révolution industrielle a vu naître également Internet, au crépuscule du XX^e siècle.

Le véritable démarrage de l'électronique miniature date de l'arrivée du transistor (et des circuits intégrés). Il est sorti

des Bell Labs en 1948. Il est à l'origine du microprocesseur, pièce maîtresse de tous les produits électroniques dits intelligents, notamment les ordinateurs (Eniac, premier ordinateur tout électronique inventé en 1946 par Presper Eckert et John William Mauchly ; premier micro-ordinateur inventé en 1972 par le Français Henri Lilen de société R2E, société créée



par André Truong, lui aussi français). Les télécommunications, de leur côté, firent de grands bonds avec l'autocommutation, le passage de la commutation de circuits à la commutation de paquets (à l'origine de Télétel et Internet) et de la mobilité. L'informatique en général et la commutation de paquets en particulier n'existerait pas sans l'invention du datagramme – bloc de données élémentaires – par le Français Louis Pouzin.

Deux produits ont particulièrement impacté la production industrielle : l'automate et le robot. Inventé en 1968 par l'Américain Richard Morley, l'automate programmable industriel (API), destiné au contrôle-commande d'une machine ou d'un processus, s'est imposé dans toutes les industries, puis au fil du temps aux transports, à la gestion technique des bâtiments, etc.

Le robot industriel, sorti de l'imagination de Georges Devol et le visionnaire Joseph Engelberger, fut d'abord destiné aux opérations de manutention, puis aux tâches de production : soudage, assemblage, etc.

Unimate, le premier robot industriel fut installé en 1959 dans l'usine de General Motors de Trenton, dans le New Jersey.

La miniaturisation des instruments de mesure et de production, associée à l'informatique (et parfois au nucléaire) ont permis le développement des biotechnologies. De leur côté, les sciences du vivant ont également beaucoup progressé.

En termes d'organisation, signalons le Toyota Product System (TPS) qui a vu le jour au lendemain de la Seconde guerre mondiale, au Japon. C'est la recherche de la performance (productivité, qualité, délais, coûts) par l'amélioration continue et l'élimination des gaspillages. Cette méthode a fait des petits : Lean Manufacturing, Lean Management...

La 4^e révolution industrielle

La dernière révolution industrielle est en train de prendre forme sous nos yeux, à l'aube de ce XXI^e siècle. Elle sera mûre au plus tôt vers 2020. Toutes les briques technologiques sur lesquelles elle est bâtie sont là. On peut la résumer par la numérisation poussée à l'extrême des échanges économiques et productifs.



L'Industrie 4.0 suppose une intégration horizontale. On réalise tout de A à Z en interaction entre les produits et les machines, et les machines entre elles. Nous sommes dans un système global interconnecté. Le produit fini, qui sera personnalisé, pourra aussi communiquer avec les machines dans sa phase de réalisation. On parle alors de « *Smart Product* ».

Expliquer tout cela, c'est l'objet de ce premier numéro de Smart-Industries. ▲

Industrie 4.0 : une évolution technologique, une révolution productive

C'est la revanche du « *mortar* » qui s'approprie les outils du « *click* ». Qu'elle soit « *smart* » ou « *4.0* », l'industrie du futur se dessine sous nos yeux. On sent la même excitation qui s'est emparée de la nouvelle économie à la veille de ce millénaire. Et ce n'est pas un simple maquillage de marketeurs. La preuve : les principales briques technologiques sont déjà là...

Les initiatives estampillées « *usine numérique* » ou « *industrie intelligente* » se multiplient depuis quelques années à travers le monde, dans le désordre. Parmi les éléments fondateurs qui vont catalyser ces mouvements sans liens apparents, annonçant la 4e révolution industrielle ; on trouve la publication du rapport allemand « *Recommandations pour la mise en œuvre de l'initiative stratégique d'Industrie 4.0* » (lire l'encadré « *Les trois points forts du rapport allemand* », page 58), ainsi que le manifeste du Gimelec.

Mais, au fait, comment se présentera la 4e révolution industrielle ? Selon Jean-Claude Reverdell, directeur commercial de SEW Usocom France, « *c'est un centre de production industriel muni d'unités flexibles, entièrement automatisées et totalement interconnectées. Les composants de ces unités communiquent à travers un bus terrain ou d'autre système de communication. Cette communication, c'est le point central de l'Industrie 4.0. Le produit fini, qui sera personnalisé, pourra aussi communiquer avec les machines dans sa phase de réalisation. On parle alors de « Smart Product* ».

Le cycle de production, quel qu'il soit, sera préalablement scénarisé, depuis l'introduction de la matière à usiner – emboutir, mouler, fondre, découper, usiner... – jusqu'à son emballage et son stockage. Le scénario pilotera, en quelque sorte, la fabrication en fonction du client destinataire et sera capable de personnaliser le produit – taille, couleur, type d'emballage,

Luiz Bautzer, directeur du développement de PTC France



« *L'Industrie 4.0, ou la Smart Industry, trouve son origine dans les avancées technologiques liées à l'automatisation de la connexion entre objets, connu aussi sous le nom d'Internet des objets. L'élément déclencheur est l'apparition de capteurs associés à des algorithmes qui permettent de prédire le comportement du produit et influencer son usage courant. Ainsi, les objets de la vie quotidienne deviennent des produits intelligents et connectés qui fourniront des informations à leurs concepteurs et fabricants.* »

etc. La chaîne logistique pourra également être prise en compte, en amont et en aval, du cycle de production.

Enfin, ce n'est pas la vocation première d'Industrie 4.0 mais le produit pourra, plus tard, être tracé.

Cela implique un système de communication efficace entre les différents modules, de la prise de commande à la livraison ».

L'Industrie 4.0 suppose une intégration horizontale. On réalise tout de A à Z, sans intervention humaine, en interaction entre les produits et les machines, et les machines entre elles. Nous sommes dans un système global interconnecté. En comparaison, l'Industrie 3.0 a été la phase de l'intégration verticale, avec l'automatisation systématique des processus. Dans le monde 3.0, les machines automatisées ne communiquent pas encore entre elles. Dans le monde 4.0, elles se « parleront ».

Aussi surprenant que cela puisse paraître, les principales briques technologiques qui assureront la transformation

de l'industrie 3.0 en Industrie 4.0, telle que présentée ci-dessus, existent déjà : capteurs, automates, CFAO, PLM, GMAO, ERP, Big Data, Internet des objets, Cloud Computing... Les révolution ne sera pas technologique mais le mode de production qui en résultera sera en totale rup-

Philippe Charles, chef produit dans la division « Discrete Automation & Motion » d'ABB France

« Quand le robot est connecté à Ethernet, il peut remonter des informations de toutes natures à un serveur central : archivage des programmes quand le volume de données ou la

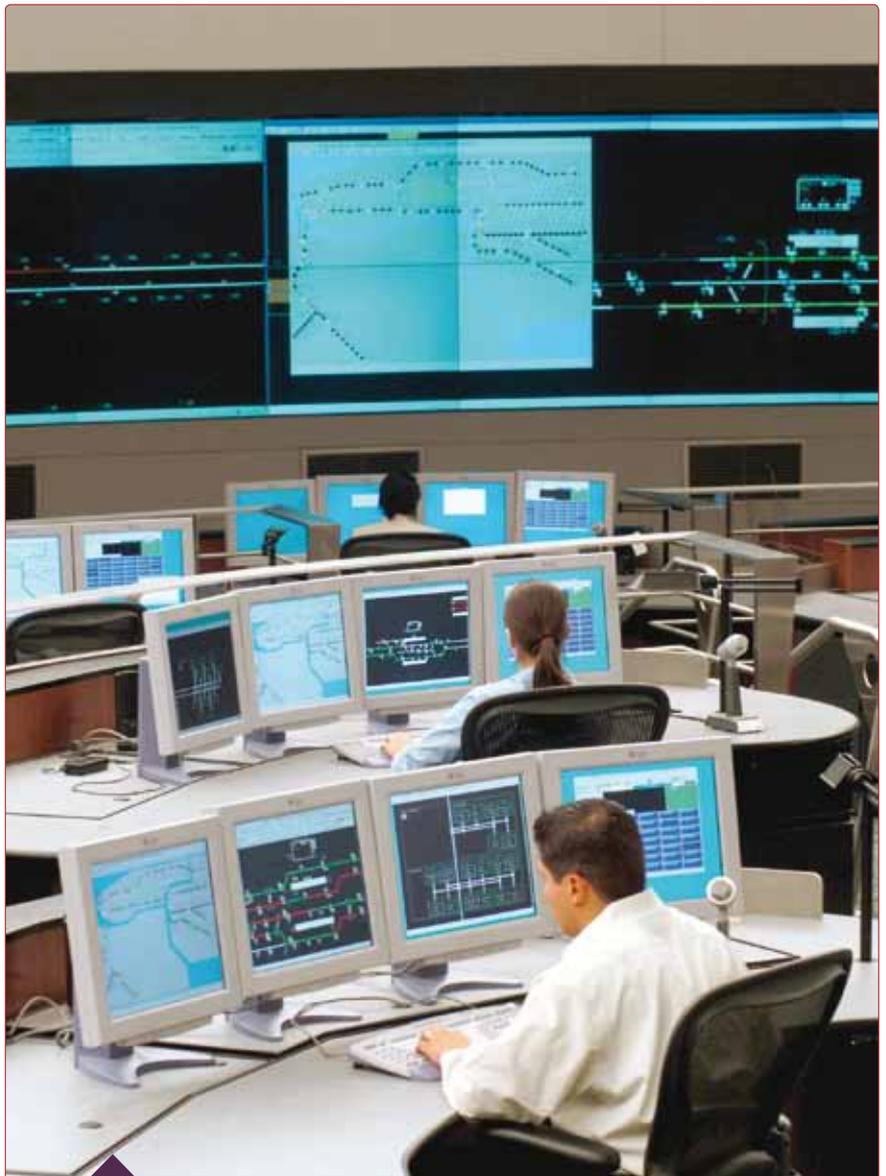


diversité de pièces sont très importants, dans l'aéronautique notamment ; suivi des aléas de production ; etc. Cela se développera si les industriels investissent dans le déploiement d'un réseau Ethernet dans leurs ateliers. C'est souvent l'absence de réseau Ethernet qui limite les possibilités des robots existants.. »

ture avec l'existant. Là se trouve la vraie révolution (lire les articles de la page 20 à la page 45).

Les trois conditions pour réussir le passage de l'industrie 3.0 à l'Industrie 4.0

Pour Pascal Pradine, directeur commercial Systèmes de Yokogawa France, l'investissement dans les outils de l'Industrie 4.0 ne sera pas évident pour toutes les entreprises : « si une entreprise possède une et



Dans l'usine digitale, la place de la supervision sera prépondérante, ici la salle de gestion du métro de New-York.

une seule ligne de production, l'investissement qui mène au 4.0 n'est pas pertinent car très lourd. En revanche, si une entreprise possède six lignes de production, là oui, l'investissement devient intéressant pour optimiser le site industriel ».

Hadrien Szigeti, analyste stratégique Delmia chez Dassault Systèmes, va plus loin : « À mon avis, l'Industrie 4.0 ne doit pas être une fin en soi. Pour un exploitant de site de production, faire le choix de l'Industrie 4.0, c'est un moyen de mettre en œuvre SA stratégie industrielle différenciatrice, de pouvoir se réinventer plus rapidement que ses concurrents, sans être ralenti par la rigidité de son système de production actuel ».

Urs Endress, président Endress+Hauser France

« L'Industrie 4.0 est une chance pour réindustrialiser l'Europe. En comparaison avec l'Asie, nous avons des coûts de production plus élevés. Pour gagner en efficacité, il faut une automatisation plus importante qu'aujourd'hui. Ceci engage les pays européens à repenser leurs compétences donc leur système de formation afin d'être plus performants que les pays émergents. »



Quoi qu'il en soit, trois conditions devront préalablement être remplies pour atteindre le but. Elles sont d'ordre culturel, technologique et organisationnel.

LES TROIS POINTS FORTS DU RAPPORT ALLEMAND SUR L'INDUSTRIE 4.0

▲ L'usine devient numérique et flexible : elle se caractérise par une communication continue et instantanée entre les différents outils et postes de travail intégrés dans les chaînes de production et d'approvisionnement. L'utilisation de capteurs communicants apporte à l'outil de production une capacité d'autodiagnostic et permet ainsi son contrôle à distance.

La flexibilité de la production est accrue grâce aux systèmes de communication plus performants. Elle permet la personnalisation des produits (modification de ses caractéristiques) en fonction des demandes des clients, par exemple.

▲ Des outils de simulation et de traitement de données puissants : le recueil des données produites par les différents éléments de la chaîne de production permet également de produire une réplique virtuelle de tout ou partie de cette chaîne afin de générer des simulations de procédés ou de tests, mais aussi de permettre aux futurs ouvriers et techniciens de se familiariser avec des outils de travail et des procédures complexes ou encore de faciliter les réparations et la maintenance pour des non-spécialistes.

▲ Une usine économe en énergie et en matières premières : l'Industrie 4.0 sera économe en énergie et en ressources grâce à un réseau de communication et d'échange instantané et permanent avec une coordination des besoins et disponibilités.

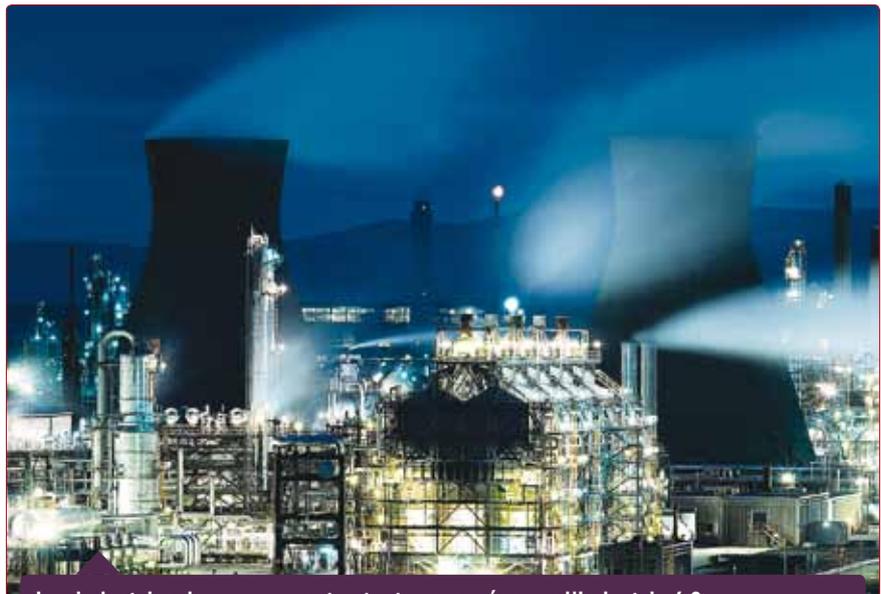
La condition culturelle : certains acteurs, voire certains pays, ne sont pas assez ouverts. Pour réussir, il faut une ambition de tous les industriels et de tous les politiques. Ces derniers ont un rôle important à jouer dans la formation initiale et continue (voir plus bas).

La condition technologique : les technologies indispensables au passage de la 3.0 à la 4.0 sont déjà là. Ce qui importe dorénavant, c'est la capacité des industriels de métiers différents (automaticiens et informaticiens, par exemple) à faire communiquer leurs outils de façon intelligible et simple. La standardisation jouera donc un rôle important.

La condition organisationnelle : l'organisation en silo devra laisser place à une organisation interdisciplinaire. Cela sup-

pose que les barrières tombent, ce qui renvoie à la condition culturelle. L'élimination des silos imposera un travail collaboratif entre automaticiens et professionnels des technologies de l'information. Ces deux-là doivent faire converger leurs produits, leurs outils et leurs métiers. Les équipes de mécaniciens, d'automaticiens, d'informaticiens... devront collaborer entre elles en étant organisées par « projet ». Ce sera une clef importante.

Pour Matthieu Lassalle, directeur général de Rockwell Automation France, qui a décrit les conditions ci-dessus, cela ne suffit pas car il faudra savoir traiter des quantités infinies de données : « Pour piloter finement les ateliers, voire les usines 4.0, il faudra donner du sens à un grand nombre d'informations présentes dans les machines et les différents systèmes de productions et d'exploitation. Si l'on n'est pas vigilant, on pourra très vite



Les industries de process sont autant concernées par l'Industrie 4.0 que les industries plus manufacturières. Vision d'une usine chimique.

Matthieu Lassalle, directeur général de Rockwell Automation France



« Pour piloter finement les ateliers, voire les usines 4.0, il faudra donner du sens à un grand nombre d'informations présentes dans les machines et les différents systèmes de productions et d'exploitations. Si l'on n'est pas vigilant, on pourra très vite se noyer sous cette masse de données. La solution passe d'abord par la contextualisation de ces informations. [...] Cette contextualisation de l'information ne peut se faire sans la simulation de différents scénarios potentiels qui peuvent se produire sur une ligne de production ou une machine. »

se noyer sous cette masse de données. La solution passe d'abord par la contextualisation de ces informations. Cette contextualisation ne peut se faire sans la simulation de différents scénarios potentiels qui peuvent se produire sur une ligne de production ou une machine ».

Produits et services deviennent indissociables

Prenons l'exemple d'un spécialiste de la gestion de l'énergie. Son organisation et ses processus évolueront : par exemple,

au lieu de vendre un composant pour la protection contre les interruptions d'alimentation électrique, ses équipes proposeront une solution complète pour la gestion de l'énergie d'une installation, c'est-à-dire un contrat de gestion du composant associé à un service qui comprend le maintien en condition opérationnelle des installations. La composante « service » devient une composante indispensable. Selon l'« Oxford report », l'utilisation de contrats de services basés sur la performance fera, en 2015, un bond de 65 % et le diagnostic à distance un bond de 56 %.

Pascal Pradine, directeur commercial Systèmes de Yokogawa France

« Le risque comme toujours sera de vouloir aller trop loin dans les fonctionnalités. La mise en œuvre devrait affronter principalement des problèmes d'interface et d'interopérabilité. Il faudra donc tirer des enseignements des précédentes normalisations et se



rappeler des expériences ratées et de celles plus diffusées comme les protocoles de communication FieldBbus Fondation ou ProfiBus DP. En d'autres termes, il faudra qu'un organisme impartial garantisse les compatibilités. »

Jean-Claude Reverdell, directeur commercial de SEW Usocomme France

« L'Industrie 4.0 suppose une intégration horizontale. On réalise tout de A à Z, sans intervention humaine, en interaction entre les produits et les machines, et les machines entre elles. Nous sommes vraiment dans un système global interconnecté. En comparaison, l'Industrie 3.0 a été la phase de l'intégration verticale, avec l'automatisation systématique des processus. Dans le monde 3.0, les machines automatisées ne communiquent pas encore entre elles. Dans le monde 4.0, elles se « parleront ». »



« Pour ce faire, les techniciens doivent améliorer leur capacité à suivre les flux d'informations entre les phases de conception du composant, sa fabrication, et son utilisation finale. Ils doivent notamment améliorer leurs capacités à procéder à des diagnostics à distance et intégrer les données qui remontent quotidiennement du terrain », déclare Luiz Bautzer, directeur du développement de PTC France. D'où l'importance d'outils de gestion de l'information d'après-vente étroitement liées aux outils de conception et de fabrication. Ayant la bonne référence, au bon endroit, le technicien pourra partir chez le client, avec la certitude d'avoir la bonne pièce de rechange.

Luiz Bautzer poursuit : « Cela implique l'utilisation d'outils de gestion de la traçabilité des produits, de la conception à la fin de vie. D'où justement l'acquisition par PTC, en octobre 2012, la société Servigistics, un éditeur d'une suite logicielle de gestion du

Hadrien Szigeti, analyste stratégique Delmia chez Dassault Systèmes

« Aujourd'hui, nous assistons non pas à une mais à deux révolutions industrielles, poussées à la fois par l'émergence de l'informatique dans tous les métiers industriels (manufacturing 3.0) et par la nouvelle connectivité de tous les équipements de production (manufacturing 4.0). [...] La question qui se pose est de savoir où placer l'intelligence de production, celle qui constitue la propriété intellectuelle d'une société industrielle. Lorsqu'on a répondu à cette question, on peut orienter sa stratégie industrielle 4.0. »

cycle de vie des services ». Servigistics est spécialisé dans la gestion de divers processus d'après-vente : la production de la documentation technique et les catalogues de pièces de rechange, l'optimisation de la gestion et du prix des pièces, la gestion de la garantie et l'optimisation des stocks.



Ligne d'assemblage de pièces électriques, avec la mise en place de puces RFID sur les palettes afin de suivre la production de bout en bout.

L'objectif est d'aider les clients à gérer les données qui remontent de l'expérience des consommateurs finaux et mieux maîtriser la gestion de l'après-vente des produits intelligents et connectés.

« Les entreprises comme John Deere ou Caterpillar passent ainsi d'un modèle de la vente d'un produit à la gestion dans la durée, d'une solution personnalisée fondée sur la fidélisation des clients », conclut Luiz Bautzer.

Dr Karsten Koenigstein, directeur des Ventes EMEA de Bosch Software Innovations

« L'enjeu de la maintenance prédictive consiste à anticiper un défaut machine avant qu'il ne survienne. Avec l'Industrie 4.0, les machines étant interconnectées, les données issues des systèmes de surveillance sont analysées afin de déterminer tout facteur indiquant une probabilité de défaut. Les pannes deviennent prévisibles permettant ainsi de planifier l'entretien des machines avant qu'elles ne se cassent, et éviter les coûts d'un arrêt de la production. La durée de vie des machines est optimisée, la production sécurisée et les coûts de maintenance maîtrisés. »



maintenance, leur surveillance restera donc un enjeu capital. Le personnel de pilotage et d'intervention prédictive sera une des pierres angulaires de l'usine 4.0. Dominique Forveille rappelle que « les questions importantes relatives au personnel déjà en place est une question que se posent déjà certains industriels allemands : Ai-je les bonnes compétences ? Puis-je les former ? Où trouver les nouveaux profils à recruter ? ». Il est probable que de nouvelles spécialisations et de nouveaux métiers naissent. Il faudra, par exemple, des compétences transversales car tout fonctionnera en réseau. Beaucoup de paradigmes changeront. Les savoirs et les expériences vont s'élargir.

Quoiqu'il arrive, l'État devra s'investir dans cette problématique et préparer les formations de demain, de préférence en concertation avec les industriels, car il y va de l'avenir du pays.

Une chance pour l'Europe et la France

L'Industrie 4.0, c'est aussi une chance pour réindustrialiser l'Europe. En comparaison avec l'Asie, les coûts de production y sont plus élevés. L'Industrie 4.0 permettra à la fois de gagner en efficacité grâce à une automatisation plus poussée et au rapprochement de la production de son marché.

« La France a toujours été un marché innovant, comme elle l'a montré, par exemple, avec le Minitel, largement utilisé dix ans avant que les autres pays n'utilisent Internet. L'Allemagne, qui a pris de



La vision de l'Industrie 4.0 par Siemens, de la conception de la pièce à l'usage sur machine-outil.

À nouvelles compétences, nouvelles formations

Parce que la conception et la conduite de l'usine 4.0 seront différentes de celles de l'usine 3.0, « il faudra donc adapter l'entreprise et le personnel. Il y aura certainement moins de salariés dans une usine 4.0 qu'il n'y en a aujourd'hui. Ils seront cependant plus qualifiés et bénéficieront d'une formation privilégiant le pilotage opérationnel et la maintenance prédictive », affirme Dominique Forveille, directeur général de Weidmüller France.

Bien que ces machines soient équipées de moyens de télédiagnostics et de télé-

Jean-Pascal Tricoire, Président-Directeur général de Schneider Electric

« Dans la continuité de l'Internet of people, nous assistons au développement de l'Internet of things : une maille entre éléments matériels, une sorte de « réseau social » pour objets. Au cœur de la convergence des technologies de l'information et des techniques de production, cette communication entre objets contribue aujourd'hui à la naissance de l'industrie intelligente : celle où les outils de production sont interconnectés, « conscients » et actifs.

La diffusion à large échelle de ce principe présuppose la création d'interconnexions au sein d'un écosystème hétéroclite et hiérarchisé. Les défis auxquels l'industrie intelligente doit faire face pour se développer sont nombreux : augmentation nécessaire des capacités de calcul et de stockage, cybersécurité, standardisation des échanges. »

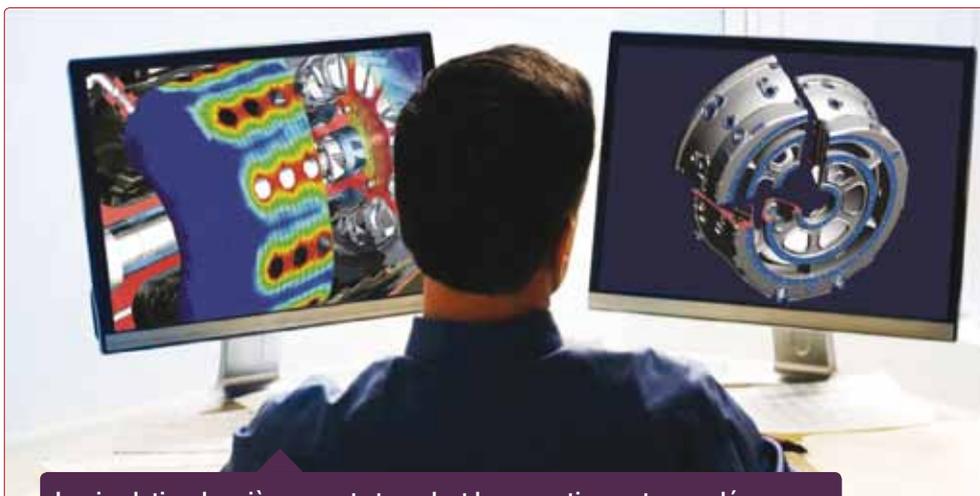


Dominique Forveille, directeur général de Weidmüller France

« Les équipements industriels, qui s'échangeront des données, seront plus intelligents. Le traitement de l'information leur permettra de s'autoadapter aux événements qui se produiront. Les réseaux Ethernet IP et Internet seront les vecteurs privilégiés



de ces échanges. Quel que soit l'événement – une nouvelle commande, une panne de composants, un manque d'approvisionnement en matières premières... – il faut que la machine envoie l'information et prenne la décision à la place de l'homme. »



La simulation des pièces avant et pendant la conception reste une clé essentielle de l'Industrie 4.0.

l'avance sur la France avec l'initiative 4.0, a d'ores et déjà lancé de multiples programmes, menés en concertation par des syndicats professionnels, de grandes entreprises, comme Siemens, et le gouvernement », affirme Urs Endress, président d'Endress+Hauser France. Pour continuer à compter parmi les leaders industriels, l'Hexagone doit aussi se lancer dans la révolution qui démarre. Sans attendre.

Siegfried Russwurm, président du secteur industrie de Siemens

« Pour ma part, je compare l'Industrie 4.0 à un ordinateur qui joue aux échecs, qui ne fait que comparer des possibilités afin de trouver la bonne stratégie. Notre échiquier de production est un peu plus compliqué : il y a plus de chiffres, plus d'options et des règles plus complexes. Il ne s'agit de faire gagner le roi mais trouver le moyen le moins cher, le plus performant ou le plus efficace [...]. L'Industrie 4.0 permet de comparer différents



scenarii à partir de modèles virtuels et de choisir les meilleures solutions. Voilà ce que l'association des mondes virtuel et réel est capable de faire. » [lire interview complète dans Jauto-matise n°88 de mai-juin 2013]



Pas d'Industrie 4.0 sans hommes.

Alors, comment aborder concrètement cette Industrie 4.0 ? Plusieurs choix s'offraient à nous, par grandes problématiques, vu du côté client, par technologies... ? C'est cette dernière méthode que nous avons privilégié, simple à comprendre, elle représente un cheminement plus aisé pour les futurs acheteurs. ▲

Quand les technologies accompagnent l'homme

par Julien Roitman, Président des Ingénieurs et Scientifiques de France

Notre civilisation est largement fondée sur les technologies. Venant du grec *techné* (artisanat, art, compétence), ce terme de savoir-faire englobe aussi bien la conception et la fabrication de nos outils techniques que leur usage. Les objets que nous manipulons dans chacun de nos gestes quotidiens mettent à contribution

Les technologies accompagnent l'homme depuis ses premiers pas : au taillage de la pierre ont succédé la conquête du feu, la maîtrise progressive de la construction, du tissage et de la métallurgie, qui d'étape en étape nous ont amenés là où nous en sommes aujourd'hui. Ce perpétuel devenir est une des caractéristiques qui différencient les technologies, toujours en

de progrès techniques, tout comme les technologies ont entraîné nombre de découvertes scientifiques. Vouloir méconnaître les unes reviendrait à sacrifier les autres.

La science connaît parfois des révolutions, certains faits nouveaux venant remettre en cause des théories bien établies. Les révolutions technologiques éclosent plutôt quand le contexte économique et social s'y prête : l'innovation ne procède pas de la seule technique, il lui faut rencontrer un marché, des clients, une attente, faute de quoi elle ira rejoindre le cimetière des inventions « *en avance sur leur temps* »...

“L'innovation ne procède pas de la seule technique, il lui faut rencontrer un marché, des clients, une attente, faute de quoi elle ira rejoindre le cimetière des inventions « en avance sur leur temps ».”

des prodiges d'inventivité, dont l'usage répété nous a fait oublier combien de connaissances et d'intelligence il a fallu pour les concevoir.

Dans les régions émergentes on est encore frappé aujourd'hui par l'admiration des gens pour les réalisations techniques, qu'il s'agisse de l'électricité ou d'une ligne de chemin de fer. Alors que dans notre monde développé, le moindre bambin jongle avec des télécommandes dont le fonctionnement lui est aussi naturel que de voir le soleil se lever : nous avons perdu notre capacité d'émerveillement devant ce que l'homme a été capable de développer pour nous faire vivre dans de meilleures conditions. Ce paradoxe explique d'ailleurs pour une bonne part la baisse continue des effectifs d'étudiants en sciences et la relative méfiance du public pour les progrès scientifiques et techniques dans les pays occidentaux.

recherche d'amélioration d'efficacité, de qualité, de performance, des sciences qui cherchent à connaître, à comprendre et à modéliser un monde dont les lois sont par définition immuables.

Bien que de nature différente, sciences et technologies sont toutefois indissolublement liées, recherche fondamentale et recherche appliquée étant les deux faces d'une seule et même médaille : les sciences sont à l'origine de quantité

On retrouve d'ailleurs cette logique dans l'évolution de l'industrie. Après le foisonnement anarchique de ses débuts, elle s'est attachée à optimiser en permanence l'affectation des ressources rares : pour utiliser au mieux les machines qui représentaient des investissements hors de prix, elle a conçu les 3x8 et le système Taylor. Et c'est lorsque le coût de la main-d'œuvre est devenu prohibitif par rapport aux attentes de qualité et de délai qu'elle s'est tournée vers l'automatisation.

“Avec son concept d'usine intelligente, flexible, l'industrie « 4.0 » imaginée par le gouvernement allemand est au confluent de toutes ces évolutions. Fondée sur le numérique, elle suppose une communication totale, aussi bien entre ses différents composants internes qu'avec l'extérieur.”

En prenant conscience depuis quelques années que la nature ne pouvait pas se réparer à l'infini et que les ressources de notre planète n'étaient pas illimitées, l'industrie comme l'ensemble de la société ont franchi une nouvelle étape : les ressources rares sont maintenant les matières premières, l'énergie, voire l'air et l'eau. Et plus qu'un altruisme généreux ou une législation tatillonne, ce sont les conséquences et le coût des dégâts possibles qui nous amènent à nous préoccuper d'environnement et de l'usage le mieux adapté. Nous sommes en train de passer d'une culture de gaspillage à une culture de recyclage.

Cette mutation ouvre de nouvelles perspectives à l'industrie, qui ne pourra pas faire l'impasse sur une durée de vie nécessairement prolongée de ce qu'elle aura produit : plus grande standardisation des pièces entre modèles, entre séries, entre produits, voire entre constructeurs ; systèmes complexes intégrant des technologies de natures complètement différentes ; composants et matériaux limitant la consommation énergétique ; produits intelligents connectés pour alerter en cas d'incident ; systèmes prédictifs pour la gestion du risque et de l'incertain, etc : autant de technologies limitées aujourd'hui à des produits évolués coûteux comme l'automobile, mais qui vont descendre en gamme.

De même un volet de services commence à émerger, qui ira bien au-delà du traditionnel service après-vente : accompagnement, conseil, installation, mais aussi gestion voire opération des produits et systèmes vendus. À titre d'exemple, imaginons la différence pour un constructeur entre un immeuble standard qu'il vend pour s'en désintéresser ensuite, et un autre dont il sait qu'il va devoir gérer le fonctionnement pendant quelques dizaines d'années : ce ne sera sans doute pas la même conception, ni les mêmes matériaux, ni les mêmes installations. On commencera à parler de bâtiment basse consommation, d'immeuble intelligent, etc.



Julien Roitman

- ▶ Ingénieur diplômé de Supélec, titulaire d'une Maîtrise de Physique de l'UPMC Paris, et ancien Auditeur puis Conseiller du CHEAR.
- ▶ Il préside depuis juin 2010 le Conseil National des Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF), après avoir conduit pendant trois ans l'Association des Supélec.
- ▶ Entré en 1970 dans le groupe IBM, il y a effectué la totalité de sa carrière, occupant en France et à l'international différents postes de responsabilité, ce qui l'amène à entrer au Conseil d'Administration de l'IDATE et au Comité de Direction d'IBM France avant d'en être nommé en 2001 Directeur Général des Opérations, fonction qu'il exercera jusqu'à son départ fin 2005.

Aucune de ces évolutions ne serait envisageable sans une complète maîtrise de l'information, qu'il est indispensable

de pouvoir saisir en permanence, stocker, gérer, communiquer, restituer. D'où la place prépondérante prise par le numérique sous toutes ses formes (informatique, télécom, robotique...), qu'il s'agisse d'infrastructures, de production, de vie de tous les jours ou de loisirs. Internet et les smartphones sont devenus les instruments de notre quotidien comme le journal ou le téléphone l'étaient pour nos grands-parents.

Avec son concept d'usine intelligente, flexible, l'industrie « 4.0 » imaginée par le gouvernement allemand est au confluent de toutes ces évolutions. Fondée sur le numérique, elle suppose une communication totale, aussi bien entre ses différents composants internes qu'avec l'extérieur, qu'il s'agisse de fournisseurs ou de clients. Elle connaît donc à tout moment ce qu'on attend d'elle et peut optimiser en permanence ses ressources en machines, en énergie, en matières premières, et bien sûr en temps des hommes qui la pilotent. Elle devrait ainsi permettre des séries limitées, voire des productions personnalisées à l'unité en fonction de la commande d'un client (l'impression de livres « à la demande » en est aujourd'hui un bon exemple).

Cette numérisation intégrale pourrait aussi ouvrir la porte à de nouvelles possibilités de simulation immatérielle (à l'instar du Falcon 7X de Dassault entièrement développé sur ordinateur).

On ne saurait conclure sans rappeler que le progrès scientifique et technique n'a de sens que s'il améliore la condition de l'homme. C'est le rôle des ingénieurs, des chercheurs que de mesurer les conséquences de leurs découvertes et de leurs inventions, d'en prévoir dès le départ la nécessité de maîtrise, d'y concevoir des complémentarités entre homme et machine, d'en faire la pédagogie auprès du grand public pour le compte duquel ils sont censés œuvrer et qui a son mot à dire. La technologie est un bon serviteur mais ce serait un bien mauvais maître. ▲

Capteurs : les sentinelles de l'Industrie 4.0

En devenant de plus en plus intelligents, les capteurs gagnent en pertinence (la bonne mesure), en précision (la finesse de la mesure) et en autonomie décisionnelle (l'ordre d'agir peut partir du capteur). Leur rôle de sentinelle de la maintenance préventive ira grandissant. De fait, ils sont un élément clef de l'usine numérique, voire de l'Industrie 4.0.

À l'origine, un capteur est un organe qui récupère une mesure (niveau de cuve, température de four...) ou un état (ouvert-fermé, marche-arrêt). Le capteur lit une information, numérique ou analogique. Dans ce dernier cas, il la numérise en la traduisant en bits (0011100011). Il est relié à l'objet à mesurer et par un autre lien (filaire ou hertzien) à un équipement, souvent un automate ou un module d'entrées, auquel il transmet l'information recueillie. À charge pour l'automate de donner les instructions à l'actionneur en fonction des informations qu'il a reçues.

Les informations émises par plusieurs capteurs peuvent être envoyées à un concentrateur qui les renvoie, à son tour, à l'automate. Ce réseau de terrain, par exemple de type HART pour les capteurs d'instrumentation, permet d'optimiser le câblage.

Évolution actuelle : le capteur envoie directement l'information sur le réseau Ethernet, filaire ou hertzien (lire l'article « Les réseaux et les protocoles », page 25). L'information qui y circule est récupérée par l'équipement auquel elle est destinée.

Le capteur : plus précis et plus autonome

Les capteurs sont de plus en plus sophistiqués, à l'image des capteurs de vision industrielle. Même basique, on les rend intelligents en leur donnant la capacité

de diagnostiquer la moindre information qu'ils viennent de collecter.

Exemple d'un capteur optique positionné sur une ligne de production. Il analyse la lumière réfléchiée par le produit qui passe devant lui. Il peut identifier le produit et détecter d'éventuels défauts, grâce à un référentiel contenu dans une base de données.

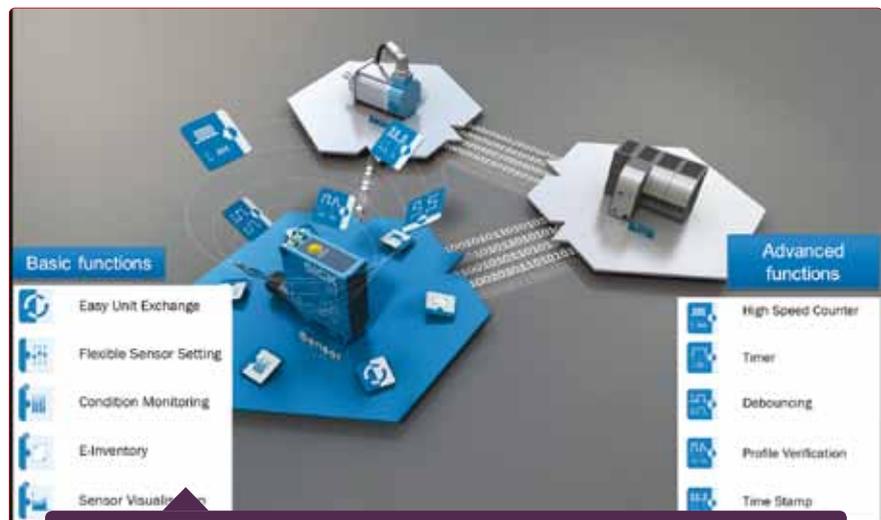


Schéma représentant un réseau d'objets communicants via le protocole IO-Link (Photo Sick).

La question du paramétrage régulier des capteurs se pose aussi car de bons paramètres influent sur la qualité de la mesure, et donc sur la qualité de la fabrication. Mais comment procéder aux ajustements sans interrompre la production ? Les produits de certains fabricants peuvent être automatiquement paramétrés, en continu, en s'appuyant sur un système d'autorégulation via les automates.

« Grâce au protocole IO-Link, l'information délivrée par les capteurs passe de quantitative à qualitative. Exemple d'un capteur de niveau placé dans une citerne contenant du chocolat : le capteur est capable de dire si la citerne ne se vide pas ou si le capteur est lui-même obturé par le chocolat. Ici, on obtient la bonne information grâce à l'analyse de la fréquence de vibration de la tige du capteur », déclare David Ecobichon, responsable Produits chez Sick France.

Le capteur devient autonome. Avant l'avènement des automates, les opérateurs manipulaient eux-mêmes les actionneurs. Cette fonction a ensuite été confiée aux systèmes centralisés de supervision qui reçoivent des informations des capteurs

avant de lancer un ordre aux actionneurs. Aujourd'hui, la décision d'agir peut se prendre au niveau du capteur parce qu'il embarque de plus en plus d'intelligence.

On pourrait alors évoquer la décentralisation de l'intelligence. Initialement confinée dans l'automate, elle se diffuse au fil des ans, au travers des composants d'automatisme, dont les capteurs.



Machine de John Deere équipée de capteurs communicants via un satellite avec le centre de maintenance du fabricant (Photo PTC).

Le capteur : un rouage essentiel de la maintenance préventive conditionnelle

Les capteurs participent également au passage de la maintenance préventive à la maintenance préventive conditionnelle. La logique de la première est calendaire, indépendamment du temps réel de fonctionnement de l'objet surveillé. Par exemple, tous les six mois, ordre est donné de vérifier tel ou tel équipement.

La maintenance préventive conditionnelle consiste, quant à elle, à ordonner une révision d'un équipement en fonction des conditions réelles d'utilisation. Ce type de maintenance nécessite l'instrumentation de l'équipement à surveiller, et donc l'utilisation d'un plus grand nombre de capteurs. ABB, par exemple, emploie la maintenance préventive pour la révision de ses moteurs en tenant compte du temps de fonctionnement réel constaté.

Exemple de l'échangeur thermique : il est muni de plusieurs capteurs qui servent au contrôle de différents paramètres, tels la baisse et montée de température, pression, débit... Les informations recueillies – quand elles sont comparées aux caractéristiques fournies par le constructeur de l'échangeur – permettent aussi d'en vérifier le rendement réel. Grâce à un algorithme spécifique, un ordre de maintenance

prédictive pourra être lancé pour éviter une panne potentielle au vu des données recueillies et traitées.

« Aujourd'hui, les algorithmes en question ne sont pas véritablement embarqués dans les capteurs. Mais la tendance du marché nous y mène car cette décentralisation des commandes doit éviter en premier lieu la maintenance corrective, améliorant du coup le fonctionnement d'un site industriel. Pour quel avantage ? L'arrêt d'un équipement ou d'un atelier est planifié et non subi, le coût de l'arrêt

est maîtrisé, la qualité de la production n'est pas sujette à fluctuation, etc. », affirme Jean-Michel Ruscica, responsable commercial des Produits « contrôle-commande » chez ABB France.

À terme, les capteurs-actionneurs gagneront encore en intelligence. Il sera alors possible d'obtenir un diagnostic sur l'état de santé d'un équipement grâce une suite statistique capable de formuler la prédictibilité des comportements d'une machine, voire d'un atelier. Tout à fait le sens de l'Industrie 4.0. ▲

L'INDUSTRIE PREND LA CLEF DES CHAMPS AVEC JOHN DEERE

Voilà une application exemplaire de l'Industrie 4.0 hors des murs de l'usine. Les moissonneuses-batteuses de John Deere sont aujourd'hui plus intelligentes grâce à leur connexion (via un réseau satellitaire) à un logiciel de maintenance prédictive. « Ce logiciel – qui reçoit les données fournies par les organes critiques des moissonneuses-batteuses, à partir d'un boîtier auxquels les capteurs sont reliés – est capable de prédire une rupture ou une panne, informe en continu l'agriculteur et peut lancer le changement préventif de la pièce qui a montré des signes de fatigue avancée. L'objectif est d'éviter une panne de la machine pendant les moissons, car son arrêt aura un impact négatif sur la marge de l'exploitant agricole », déclare Luiz Bautzer, directeur du Développement de PTC France.

La maintenance préventive permettra de mieux cibler la révision annuelle qui précède la campagne de récolte, et permettra de programmer une maintenance préventive expresse, la nuit, entre deux missions au champ. En effet, lorsque la campagne démarre, les machines ne s'arrêtent quasiment pas (sauf lorsqu'il pleut).

Exemple de données collectées : température de l'huile et des pièces mécaniques critiques, enregistrement de l'amplitude des vibrations des courroies de transmission, etc. Les données relevées peuvent être élargies à l'environnement de la machine (hygrométrie du sol, température ambiante, etc.). Ces indications enrichiront l'analyse pertinemment.

Un contrôle/commande communicant

Automate : le garant discipliné de la production 4.0

L'automate – en tant que composant d'automatisme ou sous forme de logiciel dans un ordinateur industriel – est capable de piloter une fabrication et d'informer, si besoin en temps réel, le technicien chargé d'en suivre le bon déroulement. Sa position, au plus près du processus productif, entre capteurs et superviseur, en fait le garant efficace et discipliné de l'usine numérique. Grâce à son intelligence, il progresse en autonomie décisionnelle.

L'automate : un outil en constante évolution

L'automate (qui pourra prendre la forme physique d'un Automate Programmable Industriel traditionnel – API –, d'un PC industriel, voire d'un PAC) est programmé pour piloter une fabrication. Il envoie des ordres aux actionneurs, qui les exécutent, en fonction de la concordance du scénario à exécuter et des données de production issues des capteurs et traitées par le logiciel de supervision. L'automate qui a le double avantage d'un déploiement évolutif et modulaire – assure le contrôle-commande d'applications toujours plus

Lors de la Foire de Hanovre (8-12 avril 2013), la démonstration de l'usine miniature du DFKI, centre de recherche allemand sur l'intelligence artificielle, a impressionné bien des visiteurs. En effet, ils ont pu voir un badge en plastique en cours de fabrication, équipé d'une puce RFID, envoyer les instructions nécessaires à sa réalisation directement aux quatre machines chargées de le façonner : couleur, texte à graver, etc. Le tout sans même passer par l'automate. Ce scénario, où les ordres partent de l'objet même à usiner, peut être interprété comme l'annonce de la fin de l'automate, équipement sur lequel repose aujourd'hui en grande partie la production. Mais cet avenir n'est pas si sûr...

Si, dans l'usine du futur, les machines communiqueront intensément entre elles et garantiront leur propre surveillance, on peut affirmer sans conteste que l'automate continuera d'être un acteur de cet écosystème. En effet, il assure déjà, à minima, le contrôle-commande du cœur

du réacteur industriel : la production. Son potentiel grandira à l'avenir car il n'a pas fini de gagner en intelligence et en capacités de communication.



Interface utilisateur de l'automate S7-1500 de Siemens.

diverses : programme d'usinage d'une machine-outil, de pilotage de robots, d'îlots entiers de production, d'un processus de transformation chimique (il a aujourd'hui les capacités d'un traditionnel système DCS), de la consommation d'énergie de machines ou d'un bâtiment, du système d'alarme... Il accroît la productivité de cellules de fabrication en améliorant, entre autres, leur flexibilité ! Son rôle – difficilement remplaçable – est encore plus si l'on fait jouer la variable « coût ». Équiper chaque objet à usiner, à manipuler et à déplacer d'un capteur-actionneur « intelligent », comme dans l'exemple cité en introduction, sera autre-

actionneurs grâce à l'arrivée de concentrateurs et d'autocommutateurs. L'évolution du réseau d'échange de données, à l'accent Ethernet toujours plus prononcé, prend la forme d'une architecture décentralisée avec des automates plus petits.

Pour faciliter la programmation de l'automate, les fabricants de ces équipements tentent d'insérer les paramètres de leurs équipements de manière simple, à l'aide de bibliothèques de programmes prêtes à l'emploi. La programmation s'apparente alors à du « plug & play ». Ainsi, l'exploitant du site de production peut disposer d'un boîte-à-outils logicielle



Automates et PC industriels peuvent être déportés au plus près de l'application, même dans un environnement difficile. CompactLogix de Rockwell Automation.



Interface homme-machine imaginée par Bosch-Rexroth.

grâce à laquelle il peut, dans le cas idéal, programmer tout à la fois son automate, définir ses interfaces homme-machine, configurer ses variateurs de fréquences, piloter ses commandes d'axes... De tels outils apparaissent sur le marché depuis quelques années (lire l'encadré « La boîte à outils « Open Core Engineering » »).

ment plus coûteux... sans bénéficier d'une gamme de services aussi importante que celle d'une poignée d'automates.

L'automate peut gérer aussi indifféremment les commodités d'un bâtiment (éclairage, chauffage, climatisation...) que les lignes de production. Il s'adapte, de surcroît, aux environnements hostiles : humidité élevée, poussière envahissante, vaste amplitude de températures, vibrations assassines, parasites électromagnétiques...

Dans les années 1980-1990, l'architecture de l'automate devient centrale. Il peut commander plusieurs machines à la fois et ses capacités de traitement grossissent avec la multiplication des entrées/sorties. Dans les années 2000, on l'allège des entrées/sorties intégrées, que l'on déporte au plus près des capteurs et

LA BOÎTE À OUTILS « OPEN CORE ENGINEERING »

Bosch-Rexroth, comme plusieurs des ses confrères, souhaite faire tomber la barrière entre la programmation de tâches dans un menu fermé (automate) et la création d'applications sur mesure (du type commande numérique, par exemple). Avec la suite logicielle « Open Core Engineering », un usineur pourra programmer ses automates et développer, par exemple, une application de gestion d'axes d'une machine-outil.

« Comparé à un automate d'ancienne génération annonçant une erreur sur tel ou tel produit, l'Open Core Engineering est aussi potentiellement capable de dire quelle erreur est survenue, sur quel produit, accompagnée d'un message d'autodiagnostic avec un mode d'emploi pour réparer », assure Vincent Caulet, responsable Factory Automation de Bosch-Rexroth France. La personne chargée de développer les applications pourra s'appuyer sur des langages de programmation pérennes (C/C++, Visual Basic, LabView, Java...) et intégrer des smartphones et tablettes, compatibles iOS et Android, au processus d'automatisation pour assister les opérateurs de machines.

« Notre solution permet aussi aux machines et à certains composants de machines de s'échanger des informations et de savoir, à tout moment, ce qui va se passer sur la ligne de production. Le client pourra accéder de multiples façons et de n'importe où à ces informations à l'aide de terminaux mobiles », conclut Géraldine Daumas, responsable marketing de Bosch-Rexroth France. À l'évidence, l'industriel allemand a déjà pris le chemin de l'Industrie 4.0.

L'ORDINATEUR INDUSTRIEL A ACQUIS SES LETTRES DE NOBLESSE

Entre les années 1980 et aujourd'hui, l'ordinateur industriel a progressé de manière spectaculaire. Qui se souvient encore de la version « rackable », souffreteuse aux moindres dépôts de poussières crasses ? Aujourd'hui, l'ordinateur s'est endurci, résistant aux chocs, aux ambiances humides, etc. Adieu le ventilateur et bonjour le double disque dur qui sécurise les données enregistrées (version Raid), voire le disque dur statique. Le PC industriel a même diminué en taille, gagnant ainsi en facilité d'intégration dans l'armoire, au plus près des machines. Sa puissance de calcul s'est accrue. Il n'est pas rare de rencontrer des bêtes de courses avec un microprocesseur de dernière génération, Core i7, avec 16 Go de mémoire RAM.

« Mais l'actuel ordinateur tout terrain - que l'on appelle PC Fanless - reste un système ouvert et non propriétaire. Il a gardé inchangé sa capacité d'interopérabilité avec les équipements - produits et logiciels - des autres équipementiers : liaison avec des automates ou entrées sorties déportés de n'importe quel constructeur, hébergeant de puissantes supervisions ou des simples logiciels d'interface homme-machine. Il permet également, grâce à ses extensions, l'installation de cartes vidéo, d'entrées/sorties, réseaux de communication... Enfin, sa pérennité est assurée avec un cycle de vie de plus de 7 ans car on peut conserver le même PC industriel en cas de migration du système d'exploitation », souligne Vincent Binet, responsable commercial du département « Hardware » de Factory Systèmes. Aujourd'hui, nombre de machines-outils à commande numérique sont pilotées par un PC industriel. Cela témoigne du niveau de confiance accordé par les constructeurs !

exploitation propriétaire. Les virus connus ont attaqué les logiciels de supervision, d'un niveau (de la couche OSI) plus élevé. Cependant, en affectant le superviseur, l'incidence sur l'API peut avoir des conséquences graves (lire article « Pas d'usine numérique sans sécurité informatique », page XX). La sécurité d'une installation ne se résume pas à un bouclier contre ver, virus et chevaux de Troie. Elle doit garantir aussi la fiabilité du transfert de données intègres entre différents équipements. Ce point est particulièrement sensible à l'heure de l'accès par Internet au système d'information de l'usine. L'approche « sécurité » doit aussi gérer les accès locaux en fonction de la mission de chaque opérateur.

Pour le fabricant d'une machine, l'accès à distance permanent permet de détecter les arrêts machines ou de pré-diagnostiquer les pannes. Mais si l'on ac-

Tendances observées également : la décentralisation de l'intelligence avec un mouvement d'intégration de l'automate programmable dans un moteur électrique ou encore dans un variateur de vitesse (In-Drive Mi de Bosch-Rexroth). L'intégration, dans un même processeur, du traitement des données des fonctions de communication et de l'applicatif intègre un peu plus encore la mission de l'automate au cœur de la production (voir encadré ci-dessus).

Sécurité et accès distant : deux interrogations légitimes

L'accès à distance et la sécurité sont sérieusement pris en main. L'API est relativement protégé par son système d'ex-



Plateforme d'automatisme Schneider Electric.

UN MICRO-PROCESSEUR CONCENTRE LES FONCTIONS DE COMMUNICATION

Schneider Electric a dévoilé, avant son lancement officiel programmé pour la fin de l'année, le Modicon M580 ePAC. L'objectif de cet automate ? Être le premier e-automate à offrir une communication transparente à tous les niveaux des procédés industriels de l'IT au bus de terrain. Son microprocesseur double cœur - un pour l'applicatif, l'autre pour la communication - tourne à 600 MHz et affiche une capacité de traitement deux fois plus importante que celle d'un Quantum, autre automate de Schneider Electric.

« Nous avons intégré dans le microprocesseur le traitement de la couche physique du réseau Ethernet et celle de la couche protocole de communication, en l'occurrence le Common Industrial Protocol d'Ethernet IP », déclare Serge Catherineau, responsable marketing France de Schneider Electric. Il précise : « Le bus fond de panier de ce nouvel ePAC est désormais Ethernet standard et se prolonge librement en bus de terrain Ethernet. Il garantit ainsi le même niveau de performance pour les modules d'entrées/sorties In Rack et ceux connectés en bus de terrain Ethernet. Sur cette nouvelle architecture se connecte implicitement les équipements de distribution électrique avec des fonctions de management d'énergie pour obtenir un système ouvert et complet. La transparence implicite des données via Ethernet et Internet permet de relier simplement les différents mondes de l'entreprise : de l'atelier à l'IT pour répondre simultanément aux nouveaux défis de flexibilité et d'optimisation de la production ainsi que de gestion de l'efficacité énergétique. »



Plateforme sous forme de PAC de chez National Instruments, avec sa programmation graphique.

cède aux informations sur la machine, le contrôle-commande, lui, devrait rester une fonction locale. On ne peut pas envisager de déporter le contrôle-commande, sauf, peut-être, des tâches rudimentaires, à cause des technologies web auxquelles on a recours (les outils de la télémaintenance et de détection de pannes passent, en effet, majoritairement par des serveurs web). Ces technologies n'autorisent pas un temps de réaction capable de garantir des actions en quasi temps réel, essentielles en contrôle-commande. À n'en pas douter, la taille des tuyaux et la garantie de débits minimum participeront au succès de l'Industrie 4.0. ▲

Réseaux et protocoles dans les ateliers : la base de l'édifice de l'Industrie 4.0

Communiquer, c'est bien. Se comprendre entre équipements, c'est mieux. Tel se présente l'enjeu qui anime les débats autour des protocoles et des réseaux d'automatismes industriels depuis plusieurs décennies. Cette communication doit aujourd'hui prendre un format vraiment universel et s'étendre à la fois au cœur de la machine et vers les couches supérieures (de la supervision jusqu'au concept élargi d'Industrie 4.0). Les bus de communication (protocoles), via leurs différents supports physiques (réseaux) doivent donc s'harmoniser.

Face à un parc de bus de terrain et de réseaux de capteurs-actionneurs historiques solidement installés (Profibus, ModBus, As-i...), les promoteurs de l'Ethernet industriel poussent à la roue. Cependant, dans la phase actuelle, il ne faut pas oublier les petites machines autonomes (ou parties de machines) et les applications simples pour lesquelles un bus de terrain d'ancienne génération suffit à répondre au cahier des charges.

Homogénéiser le format des échanges de données et découpler les capacités de communication, tel est le vaste chantier actuellement en cours dans l'industrie. Si l'interopérabilité totale entre équipements de différentes provenances n'est pas encore une réalité, le concept d'Industrie 4.0 trouve toutefois un allié de circonstance avec le protocole Ethernet industriel. Explications.

Un bus de capteurs-actionneur, tel AS-i/As-i Safe, conserve une légitimité pour nombre de projets ! Idem pour des bus spécialisés, comme Profibus-PA dans le monde des atmosphères explosibles (Atex). Nous ne sommes donc encore qu'à l'an I de l'Ethernet dans l'industrie.

Vers un langage commun...

En réponse à l'enjeu d'une communication « universelle », Ethernet prend place sur le front des automatismes. Mais leur langage est-il vraiment commun ? Oui dans le sens où émergent de grands standards, plus ou moins suivis des fabricants

qui déclarent adapter leurs produits à un ou plusieurs des standards Ethernet. Parmi ces standards, on peut citer ProfiNet (géré par l'association Profibus International), DeviceNet, CIP et Ethernet IP (gérés par l'association ODVA), EtherCat (Forum ETG), Sercos (Association Sercos International)... En revanche, point de salut en matière de communication entre ces différentes grandes chapelles.

L'Ethernet TCP/IP standard constitue une couche physique basse pouvant véhiculer des protocoles tels qu'Ethernet IP ou ModBus TCP dans le cadre d'une automatisation séquentielle classique. Cette

stratégie emploie des composants également standards (tel que les autocommutateurs ou switches) bien qu'adaptés aux environnements sévères. En revanche, l'utilisation de fonctionnalités réclamant un déterminisme à toutes épreuves, c'est-à-dire un temps de réponse très court et maîtrisé, tel que l'exige le contrôle de mouvement ou la sécurité machine, nécessite un Ethernet amélioré. Les protocoles (par exemple ProfiNet IRT ou Sercos III) doivent être véhiculés par un Ethernet modifié et... propriétaire. Interviennent alors des switch spécifiques capables de distinguer les trames prioritaires pour en assurer le déterminisme.

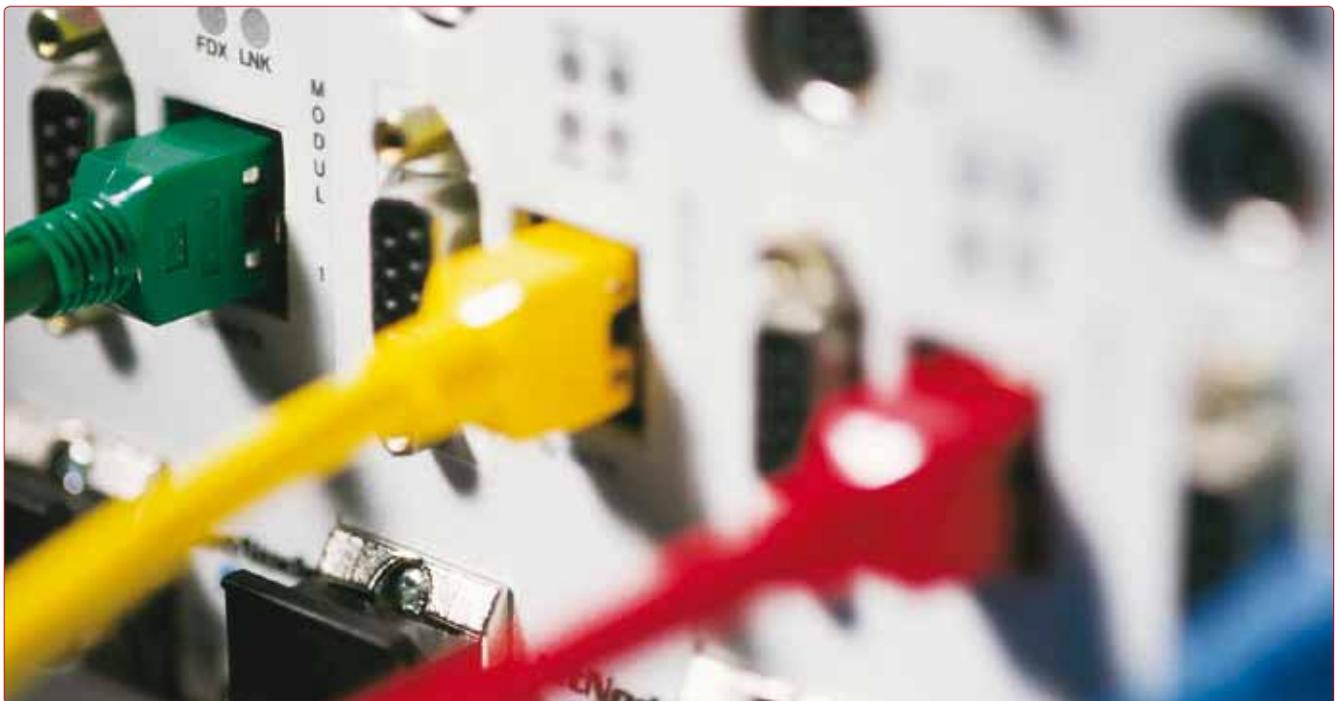
La tendance de l'Ethernet industriel s'inscrit tel un mouvement de fond, ouvrant de sérieuses perspectives aux concepteurs

un choix élargi de réseaux (pour un protocole donné), c'est-à-dire du support physique par lequel transistent les signaux. Trois types de supports physiques sont aujourd'hui assez couramment employés pour Ethernet mais aussi pour les autres bus, même chez les industriels réputés les plus septiques (automobile, aéronautique, métallurgie...). Le réseau cuivre, constitué pour Ethernet de paires torsadées, demeure le plus utilisé. La fibre optique, via des convertisseurs, permet quant à elle de transmettre le protocole par signaux optiques sur longue distance (plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres) ou encore d'assurer la déconnexion galvanique du réseau. Il s'agit là d'empêcher le passage de toute perturbation électrique (surtensions, parasitages). Enfin, la transmission radio,

un courant d'alimentation (Power over Ethernet, PoE) au bénéfice de capteurs ou de petits actionneurs. À ce titre, l'autocommutateur d'injection du courant, certes spécifique et plus coûteux, évite tout câblage d'énergie parallèle.

Dans la balance « *Ethernet ou bus classique* », il convient aussi de prendre conscience qu'Ethernet introduit de nouvelles perspectives à même de remettre en cause la façon de concevoir, d'exploiter ou de maintenir les machines. D'où l'intérêt de peser la pertinence d'Ethernet, projet par projet, face aux solutions plus traditionnelles.

La remise en cause est vraiment profonde et quasiment structurelle. Les premières expériences Ethernet sont d'ailleurs



de machines ainsi qu'aux exploitants. Sur ce point, les offreurs sont unanimes. Cependant, il faut bien rester conscient que l'Ethernet reste en proie à plusieurs grandes chapelles auxquelles s'associent les différents constructeurs. Malgré tout, l'interopérabilité totale au niveau de la machine, sans bidouille et sans passerelles, n'est pas encore pour tout de suite.

Ethernet IP ou bus classiques ?

Outre le fait d'opter pour un bus (protocole) Ethernet industriel, la nouvelle façon de concevoir une machine passe aussi par

aujourd'hui éprouvée et bien acceptée, apporte une grande flexibilité à la machine pour ses parties mobiles ou encore en permettant à un opérateur de se mouvoir avec une interface vraiment mobile.

En matière d'Ethernet industriel, les connectiques de la première heure ont, depuis une bonne dizaine d'années, fait place à des solutions endurcies contre les chocs et étanches à l'eau comme aux pollutions ambiantes. Les câbles à paires torsadées, spécifiques pour certains offreurs (et à ce titre d'un coût relativement élevé !) permettent aussi de faire passer

assez souvent déterminantes pour les concepteurs et bureaux d'études. Elles correspondent généralement à une nouvelle façon d'aborder la machine et ses interfaces. Après, reste à savoir « *vendre* » la valeur ajoutée à son client. Cela reste un autre exercice...

Pour le fournisseur, l'Ethernet industriel ouvre la voie à des architectures plus souples et évolutives. Cette souplesse permet d'ajouter des équipements ou des modules d'entrées/sorties déportés, en théorie aussi simplement qu'une imprimante sur un réseau informatique.

Une base solide pour aborder l'Industrie 4.0

En descendant jusqu'à un niveau très proche du terrain, voir en relation avec les capteurs et actionneurs, Ethernet permet de tisser un lien direct avec un Scada, un superviseur ou un MES, pour extraire à la source les données utiles à une analyse et à une prise de décision. Et cela de façon tout à fait transparente pour les composants d'automatisme intermédiaires, restant quant à eux focalisés sur le contrôle de la machine. C'est le cas par exemple pour l'analyse de la performance industrielle de la machine ou la mesure de consommation d'énergie via du sous-comptage.

Les bus spécialisés du monde de l'instrumentation tels que FF, Profibus-PA ou Hart cèdent en partie leur place à l'Ethernet. La volonté qu'avaient les fournisseurs à rester sur leurs positions historiques, tombe à présent. Conséquences : l'intégration de pages web dans les instruments et les mécanismes simplifiés de diagnostic-paramétrage via le bus Ethernet unique de la machine.

La tendance au déploiement d'Ethernet dans l'usine, à minima au niveau des interfaces avec le monde de la gestion, prépare en silence le basculement dans

LE DÉBAT N'EST PAS SEULEMENT TECHNOLOGIQUE

Si l'inconscient collectif garde en mémoire une échelle de prix dissuasive pour le point de connexion Ethernet, l'approche financière a cependant évolué. Les coûts sont à la baisse, notamment pour les concepts sur Ethernet dit standard. Cependant, malgré un coût du point de connexion Ethernet plutôt à la baisse, une architecture Ethernet complexe et redondante peut vite alourdir la facture, du fait d'équipements actifs tels que les autocommutateurs (aiguillages indispensables), parfois très spécifiques au protocole constructeur. Mais le jeu en vaut peut-être la chandelle au regard des services apportés ? Là se place un débat de fond qui n'est plus seulement technologique.

Il faut considérer les nouvelles franges de valeur ajoutée et les services même offerts par la machine. Le contrôle de mouvement, poussé éventuellement jusqu'à la robotique, par exemple au service du packaging, trouve ici un niveau d'intégration quasi total grâce à des plates-formes d'automatismes multifonctionnelles. La gestion de la sécurité machine sur un bus unique (et non plus câblé en fil à fil ou sur un bus dédié), renforce cette idée d'optimisation.

Autre objet de réflexion, l'Ethernet, via un principe d'intégration horizontale permet de réduire le nombre de composants comparativement à l'imbrication de différentes technologies de contrôle. Maîtrisée, l'ingénierie logicielle tend pour sa part à (théoriquement) réduire les coûts de conception. Coté exploitation, l'intégration verticale avec le système d'information donne des pistes pour réduire les coûts de possession.

l'univers transparent, élargi et partagé de l'Industrie 4.0. Parmi les réticences exprimées, on peut à juste titre considérer le problème de la cyber-sécurité. Ce thème, pris très au sérieux par les majors de l'automatisme industrielle, fait aujourd'hui l'objet de solides développements.

En conclusion, on peut affirmer que la fluidité des échanges entre composants d'automatisme décentralisés, les capaci-

tés de diagnostic à distance (maintenance préventive et curative) et la faculté à établir un lien permanent avec les couches de supervision définissent bien les enjeux des protocoles d'automatisme. Si la diversité des standards semble immuable, marketing oblige, elle ne doit pas cacher les grandes avancées jusqu'alors effectuées en matière d'harmonisation des langages. La guerre des bus n'aura pas fait que des victimes. ▲



Automate Sysmac d'Omron.

Commandes numériques et robots prêts pour l'Industrie 4.0

La commande numérique a un pied dans l'Industrie 4.0

Utilisée quasi exclusivement pour la programmation et la conduite des machines-outils, la commande numérique (CN) a connu une amélioration constante de ses performances – rapidité, précision, souplesse d'utilisation – permettant de réaliser des pièces toujours plus complexes. Elle a d'ores et déjà un pied dans l'Industrie 4.0.

À l'origine, la CN était utilisée à la programmation de « 3 axes » d'une machine-outil. Les dernières générations de CN, par exemple celles de Fanuc, peuvent contrôler 40 axes, gérer 10 programmes indépendamment et interpoler 24 axes. « La commande numérique intègre un programme équivalent à un

automate qui gère différentes fonctions de la machine-outil, comme l'arrosage, l'ouverture-fermeture des portes, etc., et un programme spécifique qui commande les axes de la machine-outil, des fonctions d'interpolations complexes qui ne peuvent pas être réalisées par un simple automate », déclare Marc Gaufreteau, responsable commercial « Commande numérique » chez Fanuc France.

La CN « parle » à ses périphériques

On peut dire que l'échange d'informations entre la CN et les éléments périphériques de la machine-outil, typiquement un robot de chargement, et l'équipement de super-

vision va dans le sens de l'Industrie 4.0. « Les informations collectées par le superviseur – états de la machine-outil : en cycle, arrêt, panne... – sont précieuses au service de la maintenance et au responsable de la production.

L'information collectée par la CN sur chaque pièce usinée peut également être enregistrée sur une puce – RFID ou autre – ou sur un serveur et servir pour la traçabilité, notamment dans l'aéronautique et l'automobile. Avec ce type d'information, on pourra connaître le lieu de fabrication, les conditions d'usinage... Enfin, les informations collectées par la CN peuvent être envoyées à un MES, lui-même rattaché à un ERP », témoigne Marc Gaufreteau.

La maintenance prédictive déjà à l'œuvre

Nous n'en sommes encore qu'au début. La CN est capable d'analyser, par exemple, différents paramètres issus des moteurs électriques. Les données collectées donnent des informations claires sur l'état de dégradation des dits-mo-



Commande numérique modèle iB de Fanuc.

TÉLÉDIAGNOSTIC ET TÉLÉCONTRÔLE DISPONIBLES

La question de la sécurité, au sens d'attaques virales et/ou de piratage, de la commande numérique est pertinente, même si elles ne sont pas encore concernées à ce jour. Il existe une fonction dans certaines CN qui permet de diagnostiquer et de contrôler à distance une commande numérique. « La majorité de nos clients la refuse car l'échange de données doit passer par Internet », explique Marc Gaufreteau.

teurs. Le responsable du site industriel peut ainsi planifier le changement du (ou des) moteur(s) prochainement hors d'usage. De quoi éviter ainsi la panne et son lot d'actions curatives, toujours plus coûteuses car imprévisibles. En effet, elle peut se produire au cours d'un cycle d'usinage. La maintenance prédictive améliore la productivité des machines, et donc les marges financières.

Comment la CN collecte les données de la machine-outil ? Selon Marc Gauffre-teau, « son moteur est, par exemple, relié à un variateur de fréquences. Celui-ci peut être utilisé pour réaliser des me-

asures de résistance. Dans les faits, il est employé comme un capteur. Ainsi, la CN est capable de définir elle-même un plan de maintenance grâce au contrôle direct des faiblesses de certaines pièces car on lui a intégré les phénomènes physiques qui usent ces pièces ».

En effet, la CN fait corps avec l'entraînement. Cette notion d'entraînement prend en compte la chaîne complète de transmission, à la fois mécanique (les axes, les arbres, les courroies...), électriques (les moteurs) et électroniques (variateurs de vitesse et servomoteurs). C'est déjà demain. ▲



Boîtier et logiciels de programmation pour CN et robots Fanuc.

La télémaintenance : premiers pas des robots dans l'Industrie 4.0

GIMÉLEC : Quelles seront les prochaines grandes évolutions technologiques des robots ?

PHILIPPE CHARLES : Je perçois sept grandes tendances. Dans le désordre, il y aura :

- la réduction de la taille de la baie de commande grâce à la réduction du nombre de composants, de la taille de l'électronique de puissance, de la généralisation du media Ethernet et de l'intégration, toujours plus poussée, du matériel informatique,
- l'augmentation des performances, notamment la capacité de charge moyenne des robots,
- la diversification des gammes et des architectures mécaniques de robots, en particulier vers des robots spécialisés,
- l'accroissement de la précision des robots en position et trajectoire. À l'inverse, la répétabilité des robots ne va pas beaucoup s'améliorer : les robots sont déjà plus répétables que ne le demandent les applications industrielles,

En 40-50 ans, l'évolution des robots industriels a fait des bonds spectaculaires. Plusieurs avancées techniques – remplacement des moteurs hydrauliques par des moteurs électriques, pilotage par commande numérique, augmentation des performances des bras polyarticulés, fonctionnement multitâches, communication via les réseaux Ethernet, interface homme-machine sur mesure, fiabilité très élevée (taux de disponibilité supérieur à 99,96 %), programmation CFAO hors-ligne... – et cette évolution n'est pas encore terminée. L'Industrie 4.0 promet de nouveaux développements que nous dévoile Philippe Charles, chef produit dans la division « *Discrete Automation & Motion* » d'ABB France.

- l'intégration de plus en plus poussée des fonctions de sécurité avec les fonctions de mouvement du robot,
- l'intégration de plus en plus poussée de capteurs (au sens large : vision, capteur d'efforts, etc.),
- la collaboration homme-robot va se développer. On parle de « *robot collaboratif* ».

En parallèle, d'autres évolutions possibles concernent les composants mis en œuvre dans la conception des robots,

voire des changements issus de ruptures technologiques, typiquement dans le domaine des moteurs, des variateurs et des réducteurs.

Un autre axe de développement spécifique à court-moyen terme concerne la facilité d'utilisation des robots : c'est une évolution importante pour accroître l'utilisation des robots dans toutes les branches industrielles et en particulier dans les PME. Cela concerne aussi bien

l'installation, que la programmation et la maintenance du robot.

GIMÉLEC : Dans un avenir à moyen terme, pensez-vous que les robots industriels pourront se passer des instructions de la commande numérique, de l'automate, des logiciels de FAO, de MES ?

PHILIPPE CHARLES : On ne peut pas faire de généralisation pour toutes les industries : par exemple, la logique de gestion des automatismes et de l'informatique d'une ligne de production automobile est complètement différente de celle d'un atelier de PME. Dès qu'il y a plusieurs robots et machines sur un îlot de production, il y a nécessairement un automate qui synchronise l'ensemble et ce n'est pas près de changer. Par contre, le point commun est à la réduction des coûts des installations industrielles, y compris des automatismes. On peut prendre en exemple l'intégration accrue des réseaux de terrain sur la base d'un media Ethernet où peuvent circuler des données de



Collaboration entre plusieurs robots ABB pour effectuer une tâche.

tous types : protocoles de communication divers et variés, informations relatives au contrôle-commande, informations de sécurité, etc.

Quand le robot est connecté à Ethernet, il peut remonter des informations de toutes natures à un serveur central : archivage des programmes quand le volume de données ou la diversité de pièces sont très importants, dans l'aéronautique notamment ; suivi des aléas de production ; etc. Cela se développera si les industriels investissent dans le déploiement d'un réseau Ethernet dans leurs ateliers. C'est

RAPPEL SYNTHÉTIQUE DES GRANDS PROGRÈS DES ROBOTS

Nicolas Couche, responsable Produits à la division Robots de Fanuc France, nous décrit les étapes clés des robots, des machines de plus en plus « *intelligentes* » :

D'HIER À AUJOURD'HUI :

- Utilisés à la manutention.
- Intégrés dans les processus de fabrication : peindre, cisailer, etc.
- Associés au contrôle de pièces (notamment en fin de fabrication) et à l'inspection de colis (check-list), par exemple.
- Mobilité des robots placés sur AGV ou rails.
- Réalisation de tâches de plus en plus complexes grâce à l'ajout d'un second bras, par exemple un bras est utilisé à la manutention pendant que l'autre assure une tâche de fabrication.
- Analyse fine des dérives, surveillance de l'état de santé des robots et alerter des équipes de maintenance avant la panne. Grâce à la maintenance proactive, on planifie le changement des pièces « *affaiblies* », optimisant ainsi la production, donc les marges.

DEMAIN :

- Programmabilité des robots plus faciles.
- Adaptabilité : les robots pourront effectuer différentes tâches selon l'objet à traiter grâce à un système de vision plus évolué. Ils pourront faire la différence entre des milliers de pièces différentes et lancer l'opération qui convient. Cette équation permet d'abaisser le niveau de retour sur investissement en étant plus flexible sur les petites séries.

souvent l'absence de réseau Ethernet qui limite les possibilités des robots existants.

GIMÉLEC : Comment s'inscriront les robots dans un environnement de type Industrie 4.0 ?

PHILIPPE CHARLES : La baie de commande IRC5 de nos robots possède plusieurs fonctions qui vont dans ce sens. Ont été développées, par exemple, des méthodes d'analyse des données de la baie à des fins de télémaintenance et de maintenance prédictive. C'est pour nous clairement une application privilégiée dans le concept « *Industrie 4.0* » :

– beaucoup d'industriels sont confrontés à la nécessité d'augmenter leur productivité ; ils doivent entre autres réduire les arrêts de production au strict minimum et réduire les coûts de maintenance. Il y a d'ailleurs un paradoxe : les robots sont tellement fiables, que les utilisateurs ont tendance à oublier le robot et peuvent alors se faire surprendre par l'usure normale de certains composants

– pour ABB, le métier de service tend de plus en plus à être proactif. Cette approche est basée sur des développements réalisés en interne, par ABB, grâce à son expertise et par l'utilisation au mieux les technologies disponibles, y compris sur

des robots de la génération précédente,

– d'une manière générale, tous les robots installés d'un même type ne sont pas « *égaux* » entre eux car l'usure de leurs organes internes dépendra de la façon dont ils seront utilisés et des cycles induits par leur programmation : débaitements, vitesses, couples, etc. C'est là que le suivi individualisé du robot prend toute son importance dans le cadre de la maintenance prédictive.

Dans la même veine, ABB a également mené des réalisations dans le domaine du service :

– le « *Remote Service* » est un boîtier qui collecte les informations pertinentes pour la maintenance et l'exploitation du robot avant de les envoyer vers un serveur. La connexion peut se faire par réseau Ethernet ou par GPRS. Ces données servent entre autres à générer des alertes et des rapports automatiques en cas d'anomalies, au support technique, ainsi qu'à l'analyse prédictive,

– l'analyse prédictive pour évaluer l'usure de composants sensibles comme les faisceaux de câbles et les réducteurs du robot,

– l'« *Easy-to-Maintain* », une tablette PC de vidéo guidage pour faciliter les opérations de maintenance mécanique. ▲

Logiciels : la bibliothèque de l'usine numérique

Vers la convergence des logiciels

L'industrie 4.0 trouve sa fortune dans l'expansion continue de la numérisation de l'économie. Cette numérisation n'aurait pas été possible sans l'existence de logiciels toujours plus performants : CFAO, PLM, MES, GMAO, ERP... Présentation des outils phares au service de l'usine numérique et de son environnement.

Conception et fabrication assistées par ordinateur

Le passage du plan dessiné à la main au plan numérique réalisé à l'aide d'un ordinateur a fait chuter d'environ 30 % le taux d'erreurs des cotations, répétées autant de fois qu'il y avait de plans à reproduire. Inutile d'être ingénieur pour comprendre l'intérêt de la conception assistée par ordinateur.

En fait, le potentiel de la CAO est plus grand encore. On peut, en effet, concevoir des produits en trois dimensions, les outils pour les fabriquer et étudier leur comportement à travers des simulations numériques. Si les premiers logiciels proposaient un historique figé (pas de retouche possible), les versions suivantes ont facilité, grâce à la conception paramétrique, les modifications des pièces étudiées. Et cela à différents niveaux : calcul, représentation graphique, dessin de plan, manipulation d'objets 3D, gestion de grands assemblages.

La fabrication assistée par ordinateur (FAO), quant à elle, permet de traduire le fichier CAO en un fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil.

Il y a trente ou quarante ans, les initiatives jaillissaient dans le désordre : naissance de l'ancêtre des progiciels de gestion intégrée (ERP), de la CAO, des logiciels de maintenance... Depuis quelques années, un mouvement perceptible se dessine : les fonctions de ces logiciels, toujours complémentaires, convergent de plus en plus. Jusqu'à n'en faire plus qu'un ?

La FAO va décrire précisément, via la commande numérique, les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. Certains logiciels de FAO sont capables de lire directement les fichiers des grands éditeurs de CAO. Dans d'autres cas, CAO et FAO sont intégrées et ne nécessitent pas de transfert.

Tout sera-t-il possible ? C'est oui pour Bernard Charlès, P-DG de Dassault Systèmes : « Numériser le monde, numériser la conception, la simulation, la fabrication, la présentation des produits dans les rayons d'un supermarché, mais aussi l'utilisation qu'en aura le client avant la décision de les développer. » [cad-magazine n°171, page14, jan.-fév. 2013].

Gestion du cycle de vie des produits (PLM)

La meilleure façon d'illustrer les bénéfices d'un Product Lifecycle Management (PLM), c'est de rappeler l'exemple emblématique du Falcon 7X. Dassault Aviation a réussi l'assemblage physique de l'avion d'affaires sans passer par un prototype physique ni le moindre ajus-

tement. Les délais d'assemblage et d'aménagement ont été, de fait, considérablement réduits.

Les logiciels de Product Lifecycle Management (gestion du cycle de vie du produit) sont utilisés pour créer et gérer les produits tout au long de leur vie. De fait, le PLM met l'accent sur la définition des produits qui seront régulièrement modifiés au cours de leur vie, de la conception initiale jusqu'à la mise à la retraite (démantèlement ou recyclage).

Le PLM est composé de plusieurs outils informatiques : la CAO, la gestion de la maquette numérique (au moyen de modèles 3D), la simulation numérique, la gestion électronique des données et documents techniques (GEDT), la gestion de configuration, la gestion des modifications, la gestion des connaissances métier et la gestion des projets (pour de futurs développements).

Parallèlement, plusieurs services sont sollicités par le PLM : le marketing, le bureau d'étude, l'atelier de fabrication, le financement, des approvisionnements, du

stockage, de l'après-vente, etc. Cela suppose une collaboration étroite entre les différents services.

In fine, le PLM apporte plusieurs bénéfices : il réduit le temps entre la conception et la mise sur le marché des produits, le coût des prototypes, les déchets et, théoriquement, améliore de la qualité.

Les secteurs aéronautique et automobile ont été les premiers à adopter le PLM. Il est employé aujourd'hui partout : emballage, textile, jouets...

Enfin, le PLM a tendance à devenir un logiciel de Service Lifecycle Management (SLM) car le service sera associé encore plus fortement au produit. Selon Marc Diouane, vice-président exécutif Global Services de PTC, « la demande des clients évolue. Ils souhaitent fournir plus qu'un produit, un service complet. Une démarche présente dans le domaine aéronautique et qui arrive désormais dans les secteurs automobile et high-tech notamment. Cela bouleverse le processus amont de conception en intégrant par exemple des spécialistes support dès le départ. Notre rôle est de fournir des solutions techniques intégrées, d'aider les industriels à optimiser leurs processus et de couvrir le cycle de vie du produit, depuis la première esquisse jusqu'aux services qui l'accompagnent ». (cf. cad-magazine n°171, page 16, jan.-fév. 2013).

Système d'ordonnancement de la production (MES)

Une enquête de Manufacturing Enterprise Solutions Association (Mesa) auprès des utilisateurs de logiciels MES a révélé que 67% des entreprises, ayant répondu à son enquête, ont réduit les documents de tra-

vail, 55% le temps de travail perdu, 36% les temps de saisie, 35% les temps de cycle de fabrication, 32% les en-cours et 22% les délais. Tout cela grâce à l'optimisation des flux de production, à l'augmentation de la réactivité et à une traçabilité sans faille.

Parmi les principales fonctions d'un Manufacturing Execution System (MES), gravées dans le marbre par l'organisme de normalisation ISA, citons l'ordonnancement (gestion des ordres de fabrication), le cheminement des produits-des lots et le suivi des opérations en temps réel, la collecte et l'acquisition de données, la traçabilité.

In fine, un MES délivre aux automates (contrôle-commande) les données nécessaires à l'exécution de l'ordre de fabrication. Il recueille aussi les données issues de la production pour en rendre compte à la planification. « On dit que le MES est le vecteur de l'efficacité, mais c'est aussi un vecteur d'amélioration de la rentabilité. Quand on gère une unité de production, on fabrique des produits qui ont un prix de revient, prix qu'on cherche à optimiser. Avant le MES, on calculait le coût standard sans prendre en compte la variance entre le standard et le coût réel. Avec le MES, on a un bras armé pour cela. Il faut travailler sur un axe descendant de l'ERP vers le MES, mais le MES est aussi contributeur d'informations utiles à l'ERP pour boucler le closing ». (cf. Jautomatise n°89, page 67, juil.-août 2013).

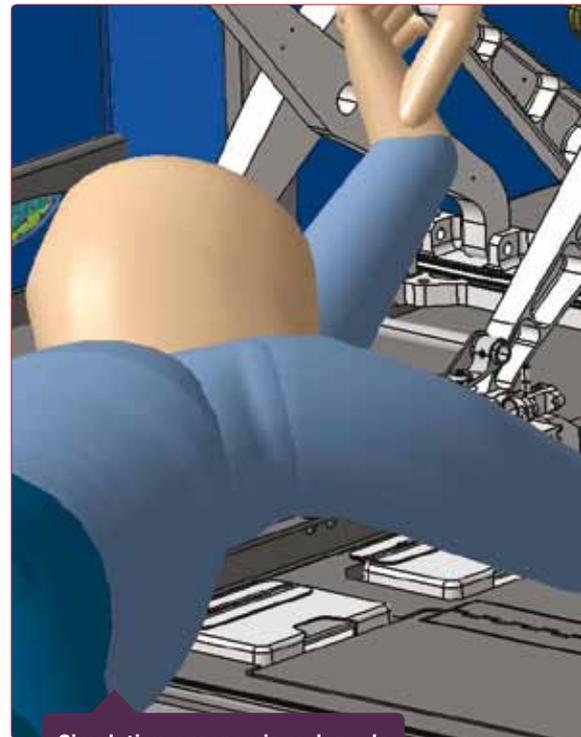
On le voit, le MES se situe entre l'ERP en amont et le contrôle-commande en aval. Il a été créé pour suppléer l'absence de communication entre le système d'automatisme et le système de planification. Il sert aussi à faire exécuter la production. C'était une façon de faire de l'Industrie 4.0 avant l'heure.

Progiciel de gestion intégré (ERP) et gestion de la production assistée par ordinateur

SAP, numéro un ou deux mondial de l'ERP, a publié le 23 mai dernier un communiqué dans lequel il laisse entendre qu'il s'impliquera dans l'Industrie 4.0 car ce concept couvre une grande partie de ses compétences : « L'Industrie 4.0 se traduira par des connexions entre machines intelligentes, systèmes de gestion

d'entrepôts et systèmes de production. Ils pourront s'échanger des informations de manière autonome sur leurs propres activités et se contrôler les uns les autres ».

« Ce type de progiciels permet de gérer de nombreuses fonctions de l'entreprise : gestion commerciale, logistique, ressources humaines, comptabilité,



Simulation ergonomique lors de la conception du Falcon 7X en utilisant un logiciel Dassault Systèmes.

contrôle de gestion... Grâce à l'ERP, le personnel de différents départements de l'entreprise travaille dans un environnement homogénéisé. Parce qu'il repose sur une base de données unique, l'ERP en assure l'intégrité, la non-redondance de l'information, ainsi que la réduction des temps de traitement », déclare Arnaud Martin, P-DG de l'éditeur d'ERP Clip Industrie.

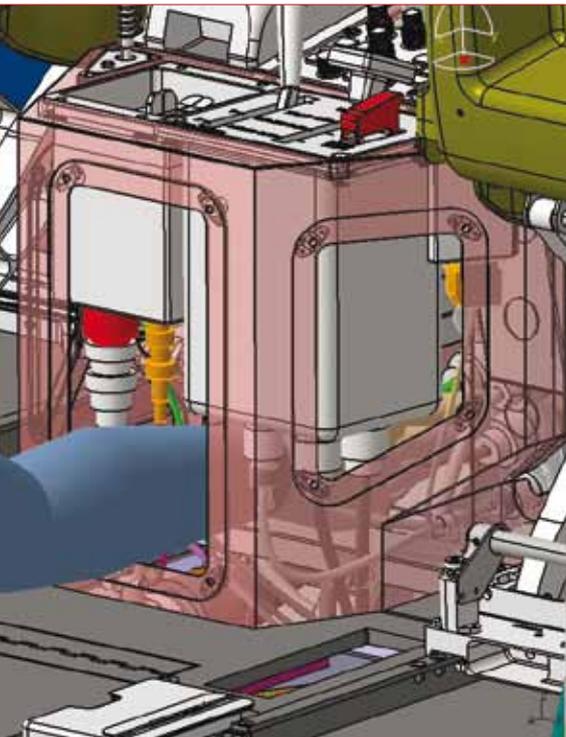
L'« ERP industriel » trouve son origine dans le besoin de planifier la production (il peut aussi être interfacé avec des logiciels de gestion d'entrepôts, de la relation client, de la maintenance, etc.).

Le module industriel s'apparente à la gestion de la production assistée par ordinateur (GPAO). En fait, ce logiciel est couramment intégré aux ERP depuis la fin



Logiciel Delmia pour la simulation virtuelle d'une ligne robotisée.

des années 1970-début des années 1980. Ses principales fonctions sont : la gestion des stocks et des achats, la gestion de commandes, la gestion des produits engendrés par ces commandes, la gestion des articles entrant dans la fabrication de ces produits et de leurs nomenclatures-gammes, la gestion de l'emploi du temps du personnel de la production, la création



et gestion du calendrier de fabrication, les expéditions des produits et la facturation.

Comme dans les logiciels présentés plus haut, une donnée nouvellement saisie dans le système d'information, est aussitôt récupérée par les autres modules du système, selon une programmation prédéfinie. Cette fonction est assurée par le un moteur de gestion des flux (workflow).

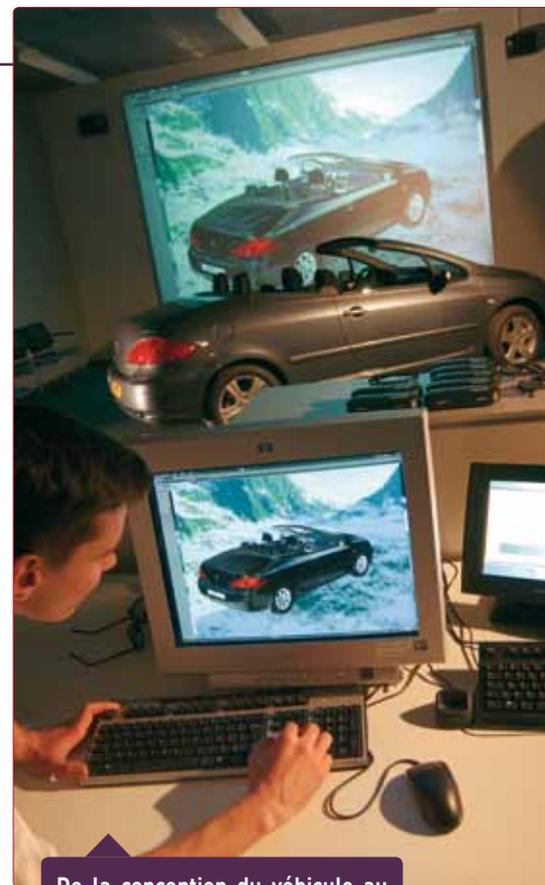
« L'ERP facilite également la traçabilité. C'est très important pour les secteurs de l'aéronautique et de l'industrie du médicament », ajoute Arnaud Martin. Pour lui, « les deux grandes tendances de l'ERP sont la mobilité et la simplification d'usage ».

Enfin, un ERP est également capable de communiquer avec les fournisseurs pour les commandes de matières premières ou avec les transporteurs, le partage du même système d'information facilitant la communication interne et externe à l'entreprise.

Gestion de la maintenance assistée par ordinateur

La gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) est destinée aux services de la maintenance. Le véritable enjeu d'un tel outil, c'est prévenir la casse. Mieux vaut être maître du calendrier des réparations car cela coûte toujours moins cher que la réparation d'une ligne de fabrication tombée en panne en plein cycle de production. La GMAO fournit justement des indicateurs qui facilitent les prises de décisions, par exemple le maintien d'un équipement dans un état de marche ou son rétablissement. Principales fonctions qui font un logiciel de maintenance sont : la gestion des équipements (inventaire des équipements et localisation des équipements), la gestion de la maintenance (ce module comporte souvent des fonctionnalités ouvertes à des utilisateurs extérieurs au service de maintenance), la gestion de la mise en sécurité des installations pour les travaux de maintenance (consignation, centralisation, autorisation de sécurité, déconsignation...), la gestion des stocks, la gestion des achats, la gestion du personnel, la gestion des coûts et les indicateurs clés de performance.

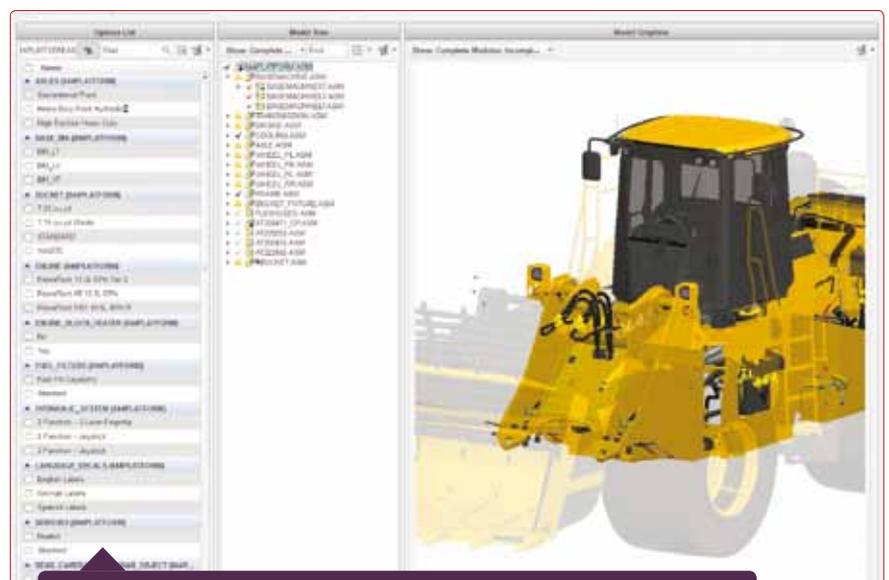
La GMAO a été enrichie de nouvelles fonctions, comme les réglementations techniques ou la gestion des plans des bâtiments, etc. Ces extensions font évoluer son appellation en logiciel de gestion des actifs ou Enterprise Asset Management (EAM).



De la conception du véhicule au véhicule final.

Et les autres

Il existe d'autres logiciels utiles à l'Industrie 4.0 – gestion des entrepôts (WMS), des laboratoires (LIMS), de la relation client (GRC), de la chaîne d'approvisionnement ou logistique (SCM)... La présentation, succincte, des logiciels nécessaires à la production montre en filigrane que les frontières entre les uns et les autres s'estompent. Les briques logicielles qui participent à la construction de l'Industrie 4.0 ne feront peut-être plus qu'une suite à l'avenir. ▲



Modélisation avec logiciel Créo de PTC d'un engin de travaux publics.

La supervision dans le sens de l'histoire de l'Industrie 4.0

Les logiciels de supervision forment un poste d'observation sans égal : ils affichent le moindre incident en temps réel, puis l'archivent. Au-delà de l'appui au contrôle-commande, la collecte de millions de données relatives à la production peut servir à d'autres applications, ceux de la maintenance par exemple... Il « suffit » de les interfacier. C'est l'un des enjeux de l'Industrie 4.0.

Des années lumières se sont écoulées entre la supervision d'hier et d'aujourd'hui : fini les immenses panneaux de contrôle figés avec vumètres, voyants lumineux, alarmes sonores... L'ordinateur qui s'est imposé, a progressivement pris le contrôle de l'ensemble de l'usine, évoluant du pupitre opérateur au pied de la machine à une salle de contrôle d'où l'on peut surveiller plusieurs équipements, ateliers ou sites de production à la fois.

La supervision, système informatique interactif qui se situe entre les automates d'atelier et la gestion de la production, fournit aux opérateurs les informations

leurs permettant de prendre des décisions pour assurer la bonne conduite d'une fabrication (lire encadré ci-contre).

Superviser à distance plusieurs ateliers ou usines n'est plus de la science-fiction. Certains offreurs appellent « *hypervision* » ce progrès. Il a été possible grâce à l'évolution de l'informatique qui est passée de l'architecture « *monoposte* » à une architecture « *client-serveur* » (renforcée ici par les progrès de la virtualisation qui rend indépendante la couche physique de la couche applicative) et à l'évolution des réseaux de (télé)communications, de plus en plus interopérables (lire article sur « *Les réseaux et les protocoles* », page 25).

CE QUE FAIT UN LOGICIEL DE SUPERVISION

Le superviseur fait exécuter, par les automates, un ensemble d'opérations de commande au système productif (marche-arrêt, envoi de consignes...). L'ordre peut avoir pour origine une opération de fabrication, de correction, de sécurité, de test, etc.

Les acquisitions de données sont obtenues via l'automate. Une interface homme-machine, qui permet de représenter graphiquement le mode opératoire, permet aussi de programmer les alarmes, la gestion des droits de chaque utilisateur, l'évolution des indicateurs clefs...

L'archivage des données dans une base favorise la traçabilité des opérations de fabrication. Les bases de données sont aussi partagées de plus en plus, en temps réel, avec les automates.

Enfin, différentes applications peuvent être surveillées : la gestion technique centralisée des bâtiments (éclairage, chauffage...), la télégestion d'infrastructure de type eau ou gaz (Scada), les industries de procédés et/ou batch (pétrochimie, industrie du médicament) et les industries manufacturières (production par îlot).

« Autrefois, l'opérateur consultait un pupitre de contrôle par machine ; aujourd'hui, il peut consulter les indicateurs clefs de plusieurs équipements sur sa tablette, qu'il soit dans les allées de l'usine ou qu'il soit hors de l'usine », déclare Grégory Guiheneuf, directeur du marketing de Factory Systemes et Wonderware France. À terme, ajoute-t-il, « la réalité augmentée devrait permettre à l'opérateur de visualiser les ordres de fabrication en cours, les données qualité... jusqu'à l'information sur une pièce en particulier simplement en dirigeant sa tablette vers les équipements ».

Un outil de contrôle centralisé puissant

Parallèlement, nous sommes passés de l'utilisation de petites bases de données d'historiques sur chaque ordinateur à un serveur unique hébergeant l'ensemble des données « *process* » d'une ou plusieurs usines, servies par des capacités de calcul phénoménales. « La base de données de Wonderware par exemple, peut traiter jusqu'à 2 millions de points de mesure en temps réel sur un seul serveur, à une cadence d'enregistrement de 300 000 changements d'état par seconde. Le Big Data dans l'usine est bel et bien une réalité », témoigne Grégory Guiheneuf.

Selon Grégory Guiheneuf, « l'évolution des logiciels de supervision sera horizontale et verticale. Horizontale, car le marché a évolué vers des plateformes de supervision distribuées sur plusieurs serveurs capables de traiter au sein d'une seule application de plus en plus de données. Verticale, car ces plateformes offrent également une interface d'échange de données idéale entre le monde de l'automatisation et les logiciels du système d'information de l'entreprise – GMAO, SIG, ERG, PLM, etc. En effet, la supervision n'est plus déconnectée du reste des applica-



Package de logiciels B&R de supervision.

tions de l'entreprise, mais au contraire en lien très étroit avec les logiciels de maintenance, de systèmes d'information géographique, de gestion intégrée, les fameux ERP, etc. ». Cela va justement dans le sens de l'Industrie 4.0.

On trouve d'ores et déjà des superviseurs connectés à des logiciels de gestion de la maintenance. La remontée d'un défaut du superviseur vers la GMAO peut déclencher un ordre de maintenance. De ce fait, la maintenance est faite au bon moment, ni trop tôt, ni trop tard !

Le logiciel de supervision, une plate-forme collaborative

La supervision n'est plus isolée et simplement connectée à sa machine ou à son usine. Connectée au reste du système d'information de l'entreprise, elle permet dorénavant d'augmenter la collaboration entre les équipes sur le terrain et la direction de l'entreprise. L'interface de supervision peut fournir aux utilisateurs une vision 360° de leurs « process », en fonction de leur rôle mais aussi de leur localisation dans l'entreprise. Un même équipement pourra donc être vu de manière très différente en fonction de la mission de chacun.

Un opérateur verra toutes les données « process » de la machine, incluant des données provenant du MES. Un technicien de maintenance verra quant à lui le même équipement avec la liste des dernières interventions, l'historique des données process sur le dernier mois, la documentation technique des équipements, etc. Un responsable de production pourra voir le nombre de pièces produites par rapport à la cadence théorique, le niveau de qualité des derniers échantillons prélevés, etc. C'est en ce sens que la supervision devient un outil collaboratif.

Aussi pour faire face à l'augmentation du volume de données, les éditeurs travaillent sur la contextualisation des données. « Être capable pour un utilisateur novice de rapidement savoir si son process est sous contrôle ou en cours de dérive nécessite de contextualiser la donnée affichée sur le superviseur. Les nouvelles générations de produits offrent ces capacités de traitement en natif pour que l'utilisateur ait toutes les données qui lui permettront de prendre la bonne décision, même si il n'a pas une connaissance parfaite du process », explique Grégory Guiheneuf. ▲



Logiciel de gestion de l'énergie Sinergyplatform de Wonderware.

La Smart-Industrie génère des opportunités inenvisageables il y a peu

Les technologies « intelligentes » et la connectivité étendue sont aujourd'hui deux points clés dont doivent tenir compte les éditeurs de logiciels de gestion du cycle de vie des produits (PLM). S'ils introduisent de la complexité, ces éléments augmentent aussi le champ des possibles. Dixit Andrew Wertkin, directeur technologique de l'éditeur américain PTC.

GIMÉLEC : Quelle sera la place d'un logiciel de PLM dans la chaîne de valeur qui va de la création d'un produit à la fin de vie de ce produit ?

ANDREW WERTKIN : La Smart-Industrie génère des opportunités en matière de gestion du cycle de vie des produits (PLM), des opportunités tout bonnement inenvisageables il n'y a pas si longtemps. La définition même de « produit » dans l'acronyme PLM évolue. Se limitant auparavant à un livrable issu de différents processus de la conception à la fabrication, sa notion s'est élargie : les fabricants interagissent désormais avec leurs produits tout au long des étapes de la fabrication, l'utilisation puis le recyclage. Plus important encore,



Andrew Wertkin, CTO de PTC Monde.

les clients en retirent une valeur ajoutée, car ces produits reposent sur des technologies intelligentes, à la fois en termes de fabrication et d'utilisation. Les fonctionnalités des produits sont créées par la connectivité à d'autres produits et infrastructures. Les fabricants vont donc être

amenés à s'orienter vers des systèmes qu'ils ne contrôlent pas nécessairement de A à Z. L'optimisation des produits, tant au niveau de leur fabrication que de leur utilisation, dépend de la connectivité associée, des machines qui les fabriquent et de l'environnement qui les entoure. L'ingé-

« La Smart-Industrie génère des opportunités en matière de gestion du cycle de vie des produits (PLM), des opportunités tout bonnement inenvisageables il n'y a pas si longtemps. »

nierie des systèmes devient une fonctionnalité PLM essentielle pour appréhender toute la complexité introduite par les technologies intelligentes. La connectivité doit être maintenue tout au long des différentes phases du cycle de vie du produit pour permettre aux fabricants d'innover, de gagner en performance et par là même de se démarquer.

GIMÉLEC : Comment positionner les logiciels de PLM dans la Smart-Industrie ?

ANDREW WERTKIN : La vision de PTC aborde la Smart-Industrie à toutes les étapes : idée, conception, fabrication, utilisation, maintenance et mise au rebut finale.

Chaque phase du cycle de vie peut être optimisée à la fois en termes de coût pour le fabricant, de valeur ajoutée pour le client et d'impact sur l'environnement, grâce à des architectures innovantes plus flexibles, permettant de répondre tant aux multiples exigences des clients qu'aux impératifs parfois plus locaux et de perfectionner ainsi les configurations, en proposant plusieurs variantes physiques. Cela nécessite de faire évoluer les processus PLM pour y inclure des composantes d'ingénierie système et d'ingénierie logicielle. Les comportements et les interfaces doivent être modélisés, les équipes dispersées doivent rester connectées sans interruption en temps réel pour échanger des données autrefois transmises de manière formelle. Il s'agit en outre de mettre en place un ensemble de fonctionnalités clés pendant l'utilisation des produits pour générer de la valeur sur le long terme et ainsi apporter une valeur ajoutée au client. Nous sommes en train d'adopter une approche ciblée sur les besoins actuels des fabricants présents sur le marché de la Smart industrie tant dans notre stratégie produits que d'acquisitions.

GIMÉLEC : Quelles sont les grands choix structurants de la R&D de PTC en matière de Smart-Industries ?

ANDREW WERTKIN : Nos investissements en matière de R&D portent essentiellement sur la planification des produits et services intelligents (Smart Products & Services), leur conception, leur fabrication et les services d'assistance connexes. À l'instar des besoins de nos clients, les technologies intelligentes ne sont pas le fruit d'un seul fournisseur ou d'une seule solution. Via ces produits « intelligents » ou Smart Products, nous tirons parti de partenariats, établissons des normes et garantissons une interopérabilité ; nous élaborons des solutions plus performantes que ne serait la simple addition de technologies différentes. ▲

Les nouveaux outils de l'entreprise étendue : Cloud Computing, Big Data, réseaux sociaux et Impression 3D

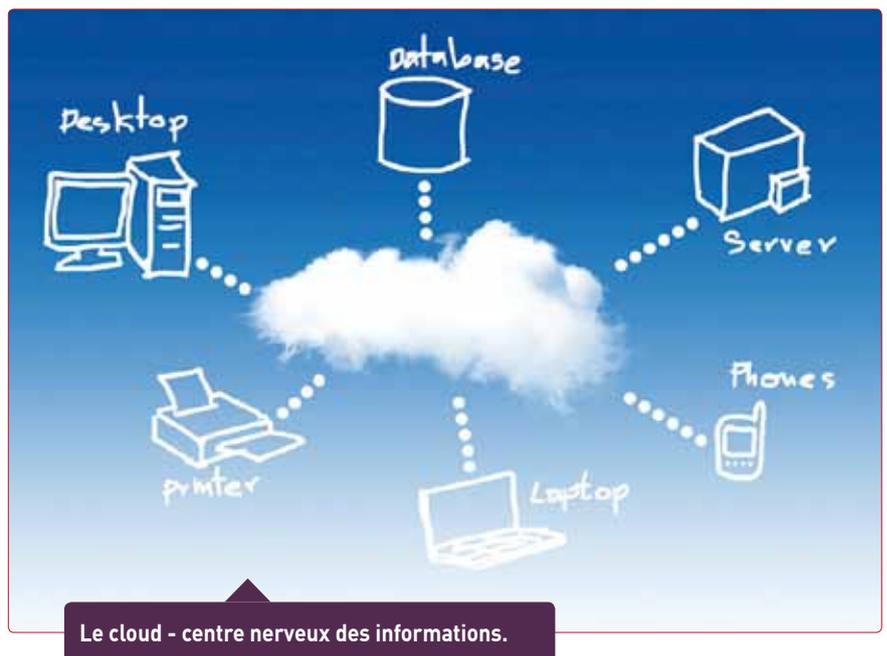
L'Industrie 4.0 et, *a priori*, l'usine numérique seront confrontées à une inflation de données, émises et reçues. Il faudra les exploiter mais pour quelles finalités ? Le Cloud Computing peut faciliter la gestion de son informatique, le Big Data aider à voir clair dans les millions de données à analyser, les réseaux sociaux à tisser un lien fort (voire émotionnel) avec les clients et l'imprimante 3D rapprocher les lieux de production des consommateurs. Rappel de quelques fondamentaux.

Le Cloud Computing ou le système d'information facile

Distinguons d'abord le Software as a service (SaaS) du Cloud Computing. Le premier est une suite logicielle accessible sous forme de service en ligne, payable selon l'usage (forfait ou réel). Le second fournit un ensemble de services via Internet. Son offre comprend un accès avec de la bande passante, du stockage, des applications et des services (gestion de la sécurité, par exemple). L'offre de Cloud Computing se distingue d'une ferme de serveurs par le niveau de la prestation. Le data center arrête son offre à la location de serveurs, à une capacité de stockage et à de la bande passante.

Les fournisseurs de Cloud Computing jouent sur la mutualisation des ressources, offrant des capacités, en théorie illimitées, avec des possibilités de progression quasi instantanées.

L'extension des liens de l'usine numérique hors des murs est l'un des fondements du concept Industrie 4.0. Cloud Computing, Big Data, réseaux sociaux et imprimantes 3D seront, s'ils ne le sont déjà, les outils emblématiques de cette extension.



a) Les avantages du Cloud Computing

- **le coût** : le même service étant amorti sur un grand nombre d'utilisateurs, les coûts de fonctionnement sont proportionnellement plus bas que ceux d'une installation individuelle dans une entreprise,
- **la délégation de service** : plus de gestion de parc de machines ni de mises à jour logicielle. En effet, le client dispose, a

priori, de machines et de mises à jour logicielles récentes. Seul le navigateur par lequel le client accède à ses applications nécessitera quelques ajustements.

- **la réactivité** : face à l'évolution des besoins du client, la réactivité est un point fort, du moins tant qu'existera un niveau de concurrence suffisant entre prestataires,

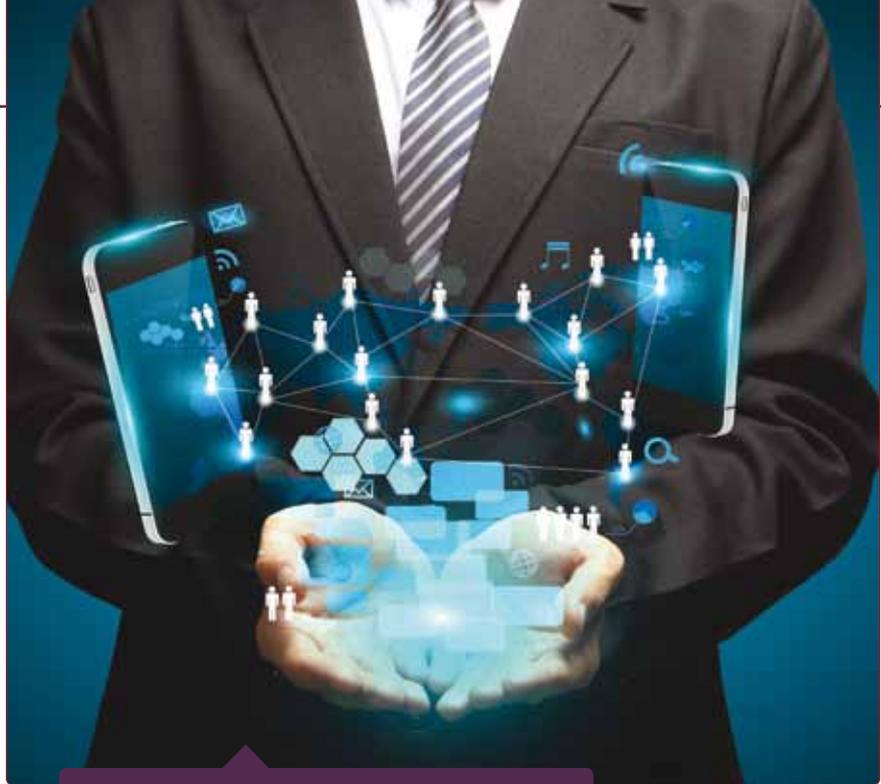
• *In fine*, l'entreprise recentre ses ressources sur son cœur de métier. Et ce n'est pas le moindre des avantages.

b) Les inconvénients du Cloud Computing

- la confidentialité et la sécurité des données : les données étant hébergées en dehors de l'entreprise, c'est donc un risque potentiel de voir ses données piratées ou corrompues. Il faut donc s'assurer que le fournisseur possède une sécurité et une politique de confidentialité à la hauteur des enjeux. Comme il existe des réseaux privés virtuels, pourquoi ne pas opter pour un Cloud Computing privé virtuel ? Enfin, le choix de l'opérateur est très important (lire l'article « *Pas d'usine numérique sans sécurité informatique* », page XX),
- la dépendance : si l'entreprise souhaite des fonctionnalités spécifiques, le fournisseur peut se montrer hésitant, voire immobile. À moins de payer le prix fort, très fort... L'idéal pour les industriels serait la création de leur propre prestataire de Cloud Computing, sous forme de GIE ou de coopérative,
- la propriété des données : puisque les données de l'entreprise sont stockées chez le prestataire, à qui appartiennent-elles ? La réponse n'est pas si évidente que cela. Attention donc à la rédaction des contrats,
- la réglementation et les lois : dans le cas d'un hébergement hors de France, quelle réglementation et quelles lois s'appliquent en cas de conflit avec son prestataire ? La localisation des données est un enjeu capital (cf. l'affaire PRISM).

Le Big Data ou la recherche de sens

Quelle définition donner au Big Data ? Il a la capacité de donner rapidement un sens à un très grand nombre de données non structurées, grâce à leur traitement à grande vitesse. Sa finalité est d'aider son utilisateur à prendre des décisions à partir des résultats de requêtes. Investir dans le Big Data n'est pas une obligation mais il est vivement recommandé de le faire devant l'explosion des données qui s'échangent (et qui continueront à progresser avec la généralisation des capteurs). Bien qu'émergent, le Big Data,



Réseaux sociaux et Industrie 4.0 devront interagir.

qui fonctionne avec de puissants algorithmes, est déjà largement utilisé par les moteurs de recherche, le marketing, les laboratoires de R&D... et les services de renseignement.

Stocker des données et en tirer une synthèse sur le passé de l'entreprise n'est plus suffisant. Grâce au Big Data, ces données peuvent indiquer une direction à suivre, certes avec des probabilités de réalisation. Ainsi, l'entreprise peut construire des modèles prédictifs. Les suivre ou non est une autre question.

La capacité du Big Data de pouvoir rafraîchir un tableau de bord plusieurs fois par jour lui donne un avantage clé, en particulier face aux outils traditionnels d'intelligence économique. Romain Chaumais, cofondateur et directeur des opérations d'Ysance, s'est exprimé sur ce sujet au Cercle des Échos (17 janvier 2013) : « À la différence des solutions décisionnelles traditionnelles, le Big Data apporte une donnée chaude traitée à l'instant T avec un niveau de détail tel qu'il permet d'isoler et d'analyser, au cas par cas, chaque transaction et événement. L'analyse au fil de l'eau des grands flux d'information sur les produits et services, les acheteurs ou les fournisseurs, ou encore les préférences des consommateurs apporte à l'entreprise un avantage concurrentiel non négligeable.

Une réalité du Big Data que l'on cherche de plus en plus à transposer à la Business In-

telligence. Alors qu'il y a à peine quelques mois, le rafraîchissement des tableaux de bord d'aide à la décision se limitait à J+1 (contre mois+1 il n'y a même pas 5 ans !), aujourd'hui les entreprises veulent au minimum un rafraîchissement plusieurs fois par jour, voire plusieurs fois par heure, notamment pour les e-commerçants ».

Les réseaux sociaux ou l'entreprise 2.0

Initier un dialogue, échanger, partager, écouter, entrer en relation... C'est le propre des réseaux sociaux, quels qu'ils soient : Twitter, Facebook, Viadeo, LinkedIn, Youtube, Dailymotion... Formidables vecteurs d'images, positives ou négatives, leur utilisation diffère s'il s'agit d'un réseau social public ou privé.

a) Les réseaux sociaux publics

Facebook, Twitter, Viadeo, etc. offrent des fonctionnalités de partage propices à la viralité. L'internaute a la possibilité d'échanger à tout instant n'importe quel contenu. La diffusion de l'information ne coûte rien. Au-delà de la viralité, les réseaux sociaux donnent l'opportunité à l'internaute de jouer un rôle actif en relayant certaines informations via un blog, un wiki, un commentaire, un avis, un vote...

Il existe de nombreuses réussites de campagnes virales orchestrées par des entreprises BtoC. C'est notamment le cas de Porsche. Pour célébrer ses cinq mil-

DES TÉLÉCOMMUNICATIONS SANS FAILLE AU SERVICE DE L'INDUSTRIE 4.0

La réussite de l'Industrie 4.0 reposera en partie sur une infrastructure de télécommunications irréprochable. Les opérateurs, qui en sont les exploitants, devront être capables de fournir :

- ▲ du très haut débit,
- ▲ une disponibilité des réseaux supérieure ou égale à 99,999 %, même s'ils combinent différentes technologies : fibre, cuivre, hertzien,
- ▲ une sécurité physique et logique sans faille,
- ▲ une accessibilité dans toutes les zones du monde où l'entreprise à une activité,
- ▲ un système de contrôle simple, sécurisé et efficace (temps de réponse entre une commande et sa réalisation de quelques millisecondes, indifféremment de la distance qui sépare le lieu de commandement du lieu d'exécution),
- ▲ un réseau privé concentrique (lieu de production au cœur, les partenaires à la périphérie) avec des autorisations différenciées...

lions de fans sur Facebook, le constructeur a en effet mis au point le modèle 911 Carrera 4S d'après les souhaits exprimés par les internautes. Le capital sympathie n'en est que plus renforcé.

Autre lien inattendu mais efficace : le fabricant de boules Obut a créé une application pour smartphone destinée aux joueurs. À la fin d'une partie, on prend en photo les boules autour du cochonnet et l'application révèle la boule la plus proche. Finis genuflexions, bouts de bois et ficelle. Les personnes âgées apprécient...

Enfin, les réseaux sont de véritables thermomètres qu'il faut savoir utiliser. Leur surveillance permet de savoir à tout instant ce qui se dit sur l'entreprise, qui peut alors adapter aussitôt une stratégie de communication.

b) Les réseaux sociaux privés

Les réseaux sociaux d'entreprise présentent bien des avantages. Les salariés, dont la participation à ces forums est basée sur le bénévolat, partagent leur réflexion. Ils s'échangent les bons tuyaux

et discutent sur les projets. Les salariés se sentent valorisés en accédant aux mêmes informations, en temps réel, dans une organisation peu hiérarchisée. Ce type de travail collaboratif, qui développe les interactions, renforce aussi l'esprit d'entreprise. Sans compter qu'il restera des traces des informations échangées, autant d'éléments qui aideront à constituer une base de données très utile.

Des précautions doivent cependant être prises, à la fois techniques et managériales. L'outil informatique ne doit pas être un moyen de contrôle et une règle du jeu doit être établie pour éviter des dérives potentielles. L'entreprise entre ici dans l'ère 2.0.

Imprimante 3D ou fabrication additive

Les industriels sous-traitent, pour certains d'entre eux, la fabrication de prototype à des prestataires spécialisés en fabrication rapide, appelée de plus en plus impression 3D. Et cela depuis une dizaine d'années. En effet, le système de fabrica-

tion par agglomération de poudre métallique ou plastique a prouvé son avantage économique pour les pièces uniques. La technique ayant fait ses preuves, son emploi a été étendu à la fabrication rapide de petites séries, en général complexes à usiner.

La baisse des coûts de ces machines a vu leur nombre progresser, jusqu'à favoriser l'apparition des Fab Lab, ces espèces d'atelier avec une machine pouvant fabriquer à la demande des biens de nature variée à l'unité. Un préalable à cela : obtenir le fichier CAO qui permet cette fabrication.

Ce mouvement a fait l'effet d'un « gadget » jusqu'au moment où les industriels de poids et les logisticiens s'y sont intéressés. Ford, par exemple, regarde de très près le potentiel de la fabrication additive, notamment pour fournir aux garagistes (ou directement aux clients) des pièces détachées disparues du catalogue, car trop anciennes, via un réseau d'ateliers partenaires. Et des logisticiens, comme UPS, qui lance une expérience de ce type, se voient bien dans le rôle de l'atelier partenaire.

En fait, la fabrication additive pourrait impacter la chaîne d'approvisionnement de manière profonde, du moins pour certains produits, forcément en métal ou en plastique.

À côté de ce mouvement, signalons l'action de PTC, éditeur de logiciels PLM : il travaille aussi avec les fabricants d'imprimantes 3D sur les protocoles de communication.

Les Français ne sont pas en reste puisque Phidias Technologies a mis au point une technologie d'agglomération à partir de lumières ultraviolettes émises par des diodes électroluminescentes. La lumière produite polymérise de la résine, en plusieurs points simultanément, avec précision et rapidité d'exécution. Cette technologie, grâce aux gains de productivité et à l'amélioration de la qualité, ont vite attiré des industriels de la partie. Mise en vente, plusieurs acquéreurs potentiels se sont présentés. Au final, c'est le groupe français Gorgé qui l'a emporté. Affaire à suivre. ▲



Un développement en pleine expansion pour les imprimantes 3D, ici l'un des derniers modèles Objet 260 de Stratasys.

L'Internet des objets : le web 3.0 au service de l'Industrie 4.0

L'Internet des objets, prolongement du machine-to-machine, est une brique essentielle du 4.0. Associé à chaque objet, le capteur mesure les valeurs pour lesquelles il a été programmé et les envoie, à intervalles réguliers, à une base de données où ils sont analysés. Mais la véritable explosion, plusieurs milliards d'envois, est aujourd'hui freinée par deux obstacles majeurs : le coût et la disponibilité d'adresses IP.

Ludovic Le Moan, P-DG de Sigfox, (créée à Toulouse en 2009, Sigfox est une entreprise spécialisée dans les communications de machine-à-machine ou l'Internet des objets) déclarait récemment qu'« aujourd'hui, ce sont plus de 150 milliards d'objets qui ont besoin d'être connectés à travers le monde, des véhicules aux capteurs médicaux en passant par les centrales d'alarmes ou encore les capteurs urbains et ruraux. Mais force est de constater qu'il n'y a que 80 millions d'objets connectés par des réseaux cellulaires. Plusieurs raisons expliquent cette différence entre les prévisions et la réalité, parmi elles le fait qu'il n'existe pas de technologie à cou-

verture mondiale mis à part les réseaux cellulaires. Il existe néanmoins beaucoup d'initiatives pour faire décoller l'Internet des objets ».

Parallèlement, ce que disait Philippe Gautier, cofondateur de Business2Any, il y a trois ans environ reste encore vrai : « L'Internet des objets [...] nécessite d'une autonomie locale en matière de perception, d'analyse, de savoir-faire et de décision. [...]. Il faut donc doter [les objets] d'une intelligence adaptée aux rôles qu'on souhaite leur faire jouer [...]. » (cf. L'actualité du web et du numérique). La mise en œuvre de plusieurs technologies est donc nécessaire au fonctionnement



Suivi de production, de diagnostic en cas de panne sur mobile avec la gamme B&R.

NANOLIKE PRÉPARE LES CAPTEURS DE DEMAIN

Quelle que soit l'application M2M ou Internet des objets imaginée, une solution de connexion

Internet sans fil est nécessaire avec trois obligations : compacte et ultra-simple à intégrer même dans des objets de faible taille, assurant un coût de communication annuel ne dépassant pas quelques euros et garantissant un service de longue durée, même alimentée par une simple pile-bouton.

La technologie mise au point par la société Nanolike participera à rendre ce pari réalisable à court terme : des nanoparticules synthétisées par voie chimique sont déposées goutte à goutte de manière contrôlée sur un support souple ou rigide. Reliés électriquement, les assemblages de nanoparticules constituent le cœur des capteurs et s'applique à un grand nombre de surfaces. Leurs avantages :

- miniaturisation : 100 fois plus petits que les modèles électroniques,
- ultra basse consommation : 1 000 fois moins,
- très forte sensibilité : 50 fois plus sensibles,
- réalisation de capteurs multi-paramètres : 3 en 1,
- très forte intégration avec réduction des coûts d'installation : capteurs numériques maillés, collage de 100 capteurs en 1 seule fois...

du web 3.0, l'autre appellation de l'Internet des objets : la mesure par le capteur, le stockage, le traitement de données, l'émission-réception de ces données en mode sans fil, l'énergie... Malgré les difficultés techniques qu'on devine, l'objet en question n'a cessé de gagner en agilité grâce, notamment, à l'intelligence artificielle et au développement d'une infrastructure dédiée (lire l'article sur Sigfox).



Logiciel Wonderware disponible sur multi-support.

L'élaboration de la version 6, sous la houlette de l'Internet Engineering Task Force, instance internationale de normalisation d'Internet, apporte des améliorations : le format des adresses passe de 4 octets à 16 dans la version 6, ce qui multiplie leur nombre quasiment à l'infini. L'IPv6 permettra aussi de réduire le temps de transit d'un e-mail ou d'augmenter l'efficacité de la navigation web. Parmi d'autres possibilités, citons l'autoconfiguration des équipements, pas anodin pour l'Internet des objets. De même, la confidentialité

pourra être assurée grâce à un chiffrement du datagramme. La migration de l'IPv4 vers l'IPv6 a commencé mais elle est plus ou moins poussive selon les pays. Aujourd'hui, les opérateurs arrivent à fournir plus d'adresses IP qu'il n'est possible grâce à leur allocation dynamique. Les abonnés à Internet ne le savent pas forcément mais ils ne disposent pas d'adresse fixe. Elle change à chaque connexion. Enfin, ce qui est possible avec les abonnés sera impossible avec les milliards d'objets du web 3.0. ▲

Mais plus l'objet contiendra d'intelligence, plus il sera cher. Voilà un premier obstacle qui ralentit son déploiement, le réservant aux objets à forte valeur ajoutée. Quand les capteurs nanométriques (lire encadré ci-contre) se généraliseront, l'Internet des objets pourra vraiment « exploser »... à condition de disposer de suffisamment d'adresses IP, obligatoirement associée à chaque objet.

Pas d'Internet des objets à très grande échelle sans IPv6

La version IPv4 peut théoriquement générer 4,2 milliards d'adresses mais, parce qu'elles ont été attribuées de façon anarchique, les problèmes sont apparus depuis plusieurs années. De plus, elles sont inégalement réparties entre les différents continents. L'Asie, le plus peuplé, est celui qui en a le moins.



La mobilité au service de l'instrumentation avec une application développée par National Instruments

La logistique : un poste clef de l'Industrie 4.0

La logistique est le lien indispensable entre fournisseurs, clients et sites de production. Il ne saurait y avoir d'Industrie 4.0 sans chaîne d'approvisionnement fiable. Pour cela, elle est servie par des outils informatiques de plus en plus précis et de plus en plus communicants. L'interpénétration entre outils de logistiques et de gestion de l'entreprise est déjà une réalité.

La chaîne logistique doit tenir compte des structures anciennes du commerce (fournisseurs de matières premières-fabricant-distributeurs-clients-service après-vente) et de l'explosion du commerce en ligne, accentué par Internet et la vente à distance sur les réseaux téléphoniques mobiles (m-commerce). Dans les deux cas, s'imposent la prise en compte de trois types de flux :

- les flux physiques qui vont du producteur au client et vice-versa (gestion des retours),
- les flux financiers quasiment électroniques à 100 %,
- les flux d'information suivent les flux physiques. Les informations qui remontent des consommateurs nécessitent des systèmes de support appropriés qui relèvent de la gestion de la relation clients (GRC ou CRM).

En d'autres termes, la gestion de la chaîne d'approvisionnement (*supply chain management* [SCM] en anglais) prend en charge les ressources humaines, le stockage-entreposage des produits, le transport, les transitaires, les équipements (camion, chariot-élévateur...), les fournitures (emballage, carburants...), la planification et les systèmes d'information et de contrôle de gestion.

Les nouvelles frontières de la chaîne d'approvisionnement

Le client roi pousse à concevoir un système garantissant la supervision de bout en bout capable de traiter les fonctions de transitaire, de transporteur, d'entreposage, d'approvisionnement, etc.

Côté distributeurs, il faut pouvoir exploiter des entrepôts multicanaux, capables de tout faire. Et côté industriels, il faut pouvoir traiter la volatilité de la demande. Dans le commerce électronique, par exemple, le magasin n'est plus le bout de la chaîne mais devient un hub qui peut servir de point de retrait et de point d'expédition. Multicanal et e-commerce poussent à l'intégration de solutions informatiques couvrant plusieurs aspects opérationnels.

Depuis plusieurs années déjà, les logisticiens accroissent régulièrement leur productivité à l'aide d'outils informatiques d'une grande richesse : *Material Requirement Planning* [MRP] et *Just in Time* [JIT] pour la planification, *Warehouse Management System* [WMS] pour le stockage-entreposage, *Transport Management System* [TMS] pour le transport, *Supplier Relationship Management* [SRM] pour la gestion de la relation fournisseurs, *Total Quality Management* [TQM] pour la gestion de la qualité, etc.

Quasiment tous ces outils peuvent être interfacés avec le progiciel de gestion intégré (ERP) de l'industriel, qui fait le lien entre production et logistique. Intéressons-nous à deux logiciels aujourd'hui vitaux à la chaîne d'approvisionnement : le système de gestion d'entreposage-stockage (WMS) et le système de gestion du transport (TMS).

Le stockage-entreposage pour réguler les flux

À l'origine, le WMS a été conçu pour gérer palettes et colis, puis il a été enrichi de la mécanisation des préparations de commandes. Il s'est ensuite verticalisé, c'est-à-dire qu'il s'est spécialisé par métier (pharmacie, distribution alimentaire, etc.). Enfin, il tend à élargir son champ d'action en amont et en aval de

LES INDICATEURS DU TABLEAU DE BORD DU LOGISTICIEN

Les indicateurs permettent de mesurer la performance d'une organisation et de piloter son activité :

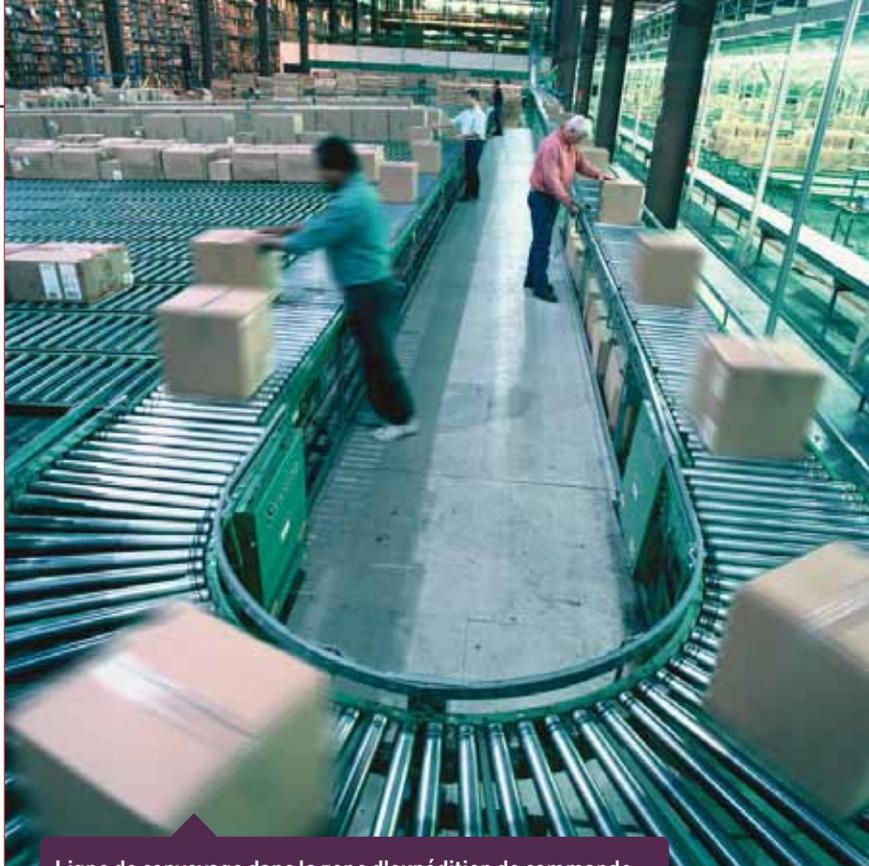
- **Indicateurs de stocks** : évolution de la valeur des stocks, évolution de l'obsolescence du stock (périmés, déclassés, « *rossignols* »)...
- **Indicateurs de l'approvisionnement** : fiabilité de la planification, délai de livraison, taux de disponibilité...
- **Indicateurs sur l'entrepôt** : évolution des volumes traités, suivi de l'utilisation des capacités, productivité de chaque processus, suivi de l'absentéisme...
- **Indicateurs du transport** : suivi de l'utilisation des capacités, suivi du coût par unité de transport, par ligne de transport, taux de service, taux de démarque.
- **Indicateur des retours** : taux de service ; taux de retour, coût du flux des retours par rapport au flux global produit, suivi des flux et du niveau de stock en retour (source : Wikipédia).

l'entreposage-stockage, tout en gardant le consommateur comme point central.

Aujourd'hui, l'objet premier du WMS n'est pas de prendre les commandes mais de les prendre en compte et d'en optimiser la préparation. L'outil s'arrête généralement à l'entrepôt : réception, entreposage avec optimisation des emplacements, préparation, gestion de stock, expédition et inventaire. Ont été ajoutés l'allotissement, l'inventaire tournant, la traçabilité, etc.

Des interfaçages rendent possible l'échange de données avec un ERP, permettant la réplication de données de l'ERP vers le WMS et vice-versa. D'autres outils d'acquisition de données permettant de dialoguer avec des terminaux mobiles via des liaisons radio grâce aux étiquettes RFID ou par simple lecture de codes-barres. Enfin, on note l'apparition de techniques de pilotage vocal, appelées *voice picking* (lire encadré « *Préparation des commandes par pilotage vocal* »).

La préparation des commandes a beaucoup évolué ces dernières années. Cette opération consiste à prélever et rassembler les articles dans la quantité spécifiée par la commande avant son expédition. Auparavant, le préparateur allait chercher les articles dans les travées de l'entrepôt ; aujourd'hui, la mécanisation permet



Ligne de convoyage dans la zone d'expédition de commande.

données avec d'autres outils du système d'information : ERP, WMS, informatique embarquée et avec les clients et fournisseurs. Il permet d'obtenir des informations en quasi temps réel, et indirectement sur la qualité de service (lire encadré « *Les indicateurs du tableau de bord du logisticien* »).

Les commandes issues de l'ERP passent d'abord par le WMS, puis sont regroupées par le TMS qui prend en compte les contraintes liées au transport. Une

un suivi opérationnel précis. Ces informations sont autant d'indicateurs de la qualité de service, parmi lesquels la vérification du respect des délais.

Autre défi de la « *supply chain* » : travailler en connexion permanente avec l'amont et l'aval. La création de liens entre le TMS, la géolocalisation et le web favorise l'ouverture du TMS au grand public. L'objectif est de les informer, par exemple, sur l'état de livraison d'une commande. En amont de la production, l'interfaçage du TMS avec les outils des fournisseurs de matières premières ou des sous-traitants donne au chargeur une vision de ses approvisionnements en temps réel.

Enfin, le couplage de la remontée, en temps réel, d'informations de géolocalisation avec le moteur cartographique du TMS ouvre d'intéressantes perspectives : déclenchement des alertes, vérification du respect d'un itinéraire, etc.

Autre problématique des éditeurs de TMS : l'absence de normes d'échange de données qui les oblige de s'adapter à chaque solution d'informatique embarquée.

Des progrès doivent encore être accomplis pour faciliter la transition vers l'Industrie 4.0 mais la communication entre les outils de logistique et les outils de l'usine sont déjà avérés. ▲

PRÉPARATION DES COMMANDES PAR PILOTAGE VOCAL

La technique de pilotage vocal, appelée *voice picking*, facilite le travail du préparateur de commandes. Il est équipé d'un petit boîtier relié par radio qui lui dicte dans son casque audio où aller, quel article prélever et en quelle quantité. Un microphone permet à l'opérateur de confirmer les ordres. Avec ce moyen, l'opérateur a les yeux et les deux mains libres. Les ordres viennent du logiciel WMS.

d'amener le bon article jusqu'au préparateur de la commande. Mais attention aux erreurs car elle entraîne des erreurs de livraisons et des écarts dans le stock. Pour les éviter, on utilise des moyens de contrôle tels que scanner, RFID...

Le transport

Les priorités d'un TMS restent la rationalisation et la réduction des coûts de transport. Aujourd'hui, cet outil tend à devenir un système plus global de pilotage de la chaîne d'approvisionnement. En effet, il échange de plus en plus de

fois cette opération effectuée, le TMS en informe le WMS qui lance aussitôt les préparations. L'influence du TMS peut aller jusqu'à l'ordonnancement de la fabrication, donc jusqu'au MES d'un site de production, via l'ERP évidemment.

Le TMS peut également tirer parti des échanges de données, en aval, avec un système d'informatique embarquée, via un serveur centralisé : les missions définies dans le TMS peuvent être envoyées sur le terminal installé à bord du camion et à l'inverse, la remontée des données de livraison permettent au TMS d'avoir

La cybersécurité et l'usine numérique

par **Stéphane Meynet**, Chef de projet sécurité des systèmes industriels

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont depuis longtemps imprégné nos industries, qu'elles contribuent au système de gestion ou au pilotage de la production. La « numérisation » s'est accélérée depuis quelques années, notamment avec la convergence vers le protocole IP. L'usine se virtualise, devient plus intelligente et plus communicante. L'objectif de cet article est de sensibiliser les lecteurs aux risques et enjeux de cette évolution dans le contexte industriel.

Une forte dépendance aux TIC

Rares sont les industries qui aujourd'hui fonctionnent sans faire appel aux technologies de l'information et de la communication au point que s'est créée une réelle dépendance de la vie de l'entreprise (relations avec les fournisseurs et les clients, gestion et production). Les dangers de cette dépendance aux TIC ne se limitent pas aux seuls problèmes de disponibilité. La compromission (l'altération volontaire et maîtrisée) de quelques données peut produire des effets bien plus dévastateurs qu'une simple panne.

Les modes dégradés deviennent eux aussi numériques. La sécurité fonctionnelle, autrefois remplie par des moyens électromécaniques, est maintenant assurée par des automates programmables (et donc reprogrammables). Les contrôles qualité sont eux-mêmes informatisés. Il devient de ce fait possible pour un individu mal intentionné (un « *attaquant* » dans la terminologie défense et sécurité des systèmes d'information)

de falsifier les résultats et de masquer des produits non conformes. Comment dans ce cas détecter qu'une pièce est défectueuse, qu'un produit alimentaire n'est pas consommable ou qu'un capteur ne donne pas la bonne mesure ?

Des systèmes banalisés mais pas toujours maîtrisés

Les systèmes industriels ont également évolué, délaissant les systèmes propriétaires au profit de systèmes construits avec des composants pris « *sur étagère* ». Provenant du monde de l'informatique classique, ils embarquent avec eux toutes les vulnérabilités de ce dernier. Ces technologies ont envahi les industries alors qu'elles n'avaient pas



spécifiquement été conçues pour ce domaine. Les utilisateurs ignorent le plus souvent presque tout de ces technologies et des risques qui leur sont associés.

Une menace difficile à évaluer

Tous les secteurs d'activité sont touchés par des attaques informatiques, qu'elles soient spécifiquement dirigées contre une entreprise ou un secteur d'activité

précis ou non. Ces attaques répondent généralement à trois grands types d'objectifs : l'espionnage, la déstabilisation ou le sabotage. Si l'espionnage industriel n'est pas un phénomène nouveau, le sabotage (numérique) l'est.

Du « *petit malin* » cherchant des défis auxquels se mesurer, aux entités gouvernementales spécialisées dans la guerre cybernétique en passant par un concurrent indélicat, la population des cyber-attaquants est vaste et les motivations multiples : défi technique, financier, vengeance, différends idéologiques, recherche concurrentielle, etc. La presse regorge d'exemples en tous genres.

En août 2012, le géant pétrolier « *Saudi Aramco* » a subi une attaque informatique touchant trente mille postes bureautiques. Bien que n'ayant pas atteint les systèmes industriels, cette attaque a très lourdement affecté l'entreprise. L'objectif était clairement de lui nuire et d'affecter sa production.

Après Stuxnet en 2010, l'exemple d'Aramco démontre la puissance de l'arme informatique dans un environnement industriel de plus en plus numérisé.

Le monde numérique facilite grandement le travail des attaquants. Difficile à détecter, une seule personne est alors en mesure d'exécuter des attaques simultanées et répétées sur des systèmes différents, provoquant potentiellement des dégâts majeurs. Le tout parfois à distance et pour un effort moindre : quelques lignes de code et un peu de génie !

Enfin, des attaques non ciblées peuvent également survenir. Le virus *conficker*, apparu en 2009 et toujours actif, reste à ce jour un exemple par le nombre de machines contaminées. Quelles seraient les conséquences d'un conficker « *plus offensif* » dans le contexte de l'Industrie 4.0 ?

Des attaques des plus en plus sophistiquées ?

Le niveau des attaquants progresse au fur et à mesure de l'évolution des solutions de protection. La plupart des grandes organisations subissent des attaques plus ou moins sophistiquées, comme les attaques persistantes avancées (APT), dont on notera cependant qu'elles débutent souvent par l'exploitation de failles élémentaires ou les mauvais comportements d'utilisateurs.

Cependant, ces techniques avancées, et les moyens associés, ne sont potentiellement pas indispensables pour porter atteinte aux installations industrielles. La cybersécurité n'ayant pas été jusqu'à ces dernières années une préoccupation majeure, certaines installations présentent de nombreuses vulnérabilités, que ce soit en matière de produits ou d'architecture.

Ainsi par exemple, tandis qu'en matière de sécurité la norme consiste à fermer les portes par défaut pour ne les ouvrir que lorsque cela est nécessaire et uniquement aux personnes qui en ont besoin, dans le monde industriel, comme dans l'informatique traditionnelle il y a quelques décennies, les portes sont grandes ouvertes.

La course aux nouvelles technologies

Les TIC remplissent les catalogues des fournisseurs. Pour preuve, les équipements industriels (automates, variateurs de vitesse, etc.) intègrent désormais des serveurs Web, ce qui paraît être une aberration dans un environnement industriel lorsque l'on connaît le nombre de vulnérabilités détectées dans ce type de composants. Est-ce un phénomène de mode ?



Stéphane Meynet

- ▶ Stéphane Meynet, 37 ans, ingénieur de l'Ecole des Mines d'Alès, a démarré sa carrière dans l'industrie de la micro-électronique.
- ▶ Après avoir été en charge pendant 10 ans de systèmes automatisés de contrôle de procédés industriels dans un contexte très opérationnel, il est aujourd'hui chef de projet sécurité des systèmes industriels à l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI) pour traiter les aspects de cybersécurité des infrastructures critiques.

Pas uniquement. Il existe de vrais besoins, comme ceux liés à la connectivité. Les progrès réalisés autour des technologies sans fil (WiFi, GSM) et la baisse des coûts apportent des perspectives. Néanmoins, ces technologies restent souvent mal maîtrisées. Il est indispensable de configurer des mécanismes de chiffrement robustes afin d'assurer l'intégrité (et éventuellement la confidentialité) des données, mais aussi d'admettre qu'il n'existe aucune garantie de disponibilité. Quelques dizaines d'euros suffisent pour acquérir des kits permettant de brouiller ces communications.

L'explosion du *Machine To Machine* (M2M) crée une dépendance supplémentaire face aux opérateurs de télé-

com. L'incident d'Orange l'été dernier a montré que les opérateurs n'étaient pas exempts de faiblesses. Quels seront les impacts de pannes plus importantes, plus fréquentes, dans le contexte de l'Industrie 4.0 ?

Les offres s'appuyant sur le cloud computing explosent également, y compris pour les systèmes industriels. Des solutions de télémaintenance utilisent par exemple le cloud. Quel est le niveau de sécurité de ces solutions ? Qui peut répondre et s'engager sur la sécurité ?

Est-il réellement possible de maîtriser la sécurité ?

Maîtriser les nouvelles technologies s'avère complexe, les sécuriser l'est plus encore.

L'intégration forte soulève de nombreuses questions, comme par exemple la maîtrise de la sécurité du processus de « *bout en bout* ». Qui assure par exemple l'intégrité des données du capteur jusqu'à l'ERP ?

Le risque « *cyber* » est dans bien des cas sous-estimé. Essentiellement car la profession ignore simplement le niveau du risque porté par une menace croissante et un nombre d'attaquants toujours plus élevé.

Faire face au risque cybernétique demande des compétences avancées qui ne sont pas le cœur de métier des industriels. Faut-il externaliser ? Mais auprès de qui ? À qui faire confiance ? Faut-il avoir recours à des prestataires labellisés ? Par qui ? Dans tous les cas, l'externalisation ne supprime pas les responsabilités.

Si le niveau de technicité des attaquants augmente, il n'en demeure pas moins qu'une part importante des vulnérabilités informatiques exploitées relève d'un manque d'application de règles d'hygiène informatique élémentaires. Souvent peu coûteuses et simples à mettre en place, ces bonnes pratiques (cf. les guides de l'ANSSI*) améliorent significativement le niveau de sécurité des installations. La cybersécurité commence par là !

*<http://www.ssi.gouv.fr/bonnes-pratiques/> et <http://www.ssi.gouv.fr/systemesindustriels>

Désigner un « *Monsieur cybersécurité* » qui coordonnera le projet d'amélioration de la sécurité et sera l'interface entre les différents intervenants, y compris les fournisseurs dont le rôle est primordial, devient nécessaire.

Les fournisseurs, quant à eux, doivent proposer des solutions adaptées aux besoins de leurs clients et dont le niveau de sécurité est conforme aux règles de l'art.

Se préparer à gérer l'incident

Les incidents de sécurité informatique seront de plus en plus nombreux, c'est une certitude. Se préparer à les gérer, en

établissant des procédures opérationnelles, en désignant et en exerçant des équipes, reste un axe de développement majeur. Enfin, pour que la communauté progresse, il est important de déclarer aux autorités compétentes les incidents subis (la confidentialité des informations est préservée) et de partager les retours d'expériences.

Conclusion

L'évolution du monde industriel et l'avènement de l'Industrie 4.0, doivent impérativement s'accompagner d'un changement dans les organisations afin d'y intégrer la cybersécurité. La cybersé-

curité est un facteur d'efficacité et de compétitivité. La négliger peut être la cause d'échecs majeurs aux conséquences graves pour l'entreprise, pouvant aller jusqu'à sa disparition.

Tous les acteurs du monde industriel sont concernés.

Un nouveau métier est né, celui du « *cyberexpert* » qui aura la charge de mener à bien le projet de sécurité. Il ne faut pas se voiler la face, le sujet est complexe. Mais, comme le souligne Victor Hugo dans *L'homme qui rit* : « *Savoir ce que l'on affronte est alarmant, mais l'ignorer est terrible.* » ▲

Stuxnet, le détonateur

L'explosion du volume d'informations échangé et la multiplication des équipements communicants au sein de l'entreprise industrielle participent à l'amplification des risques informatiques. Avec le virus Stuxnet, on a découvert que les systèmes de contrôle-commande sont aussi vulnérables.

Il y a un avant et un après Stuxnet. Ce ver, développé par les Défenses américaine et israélienne, ciblait pour la première fois de l'histoire les systèmes de contrôle-commande de sites nucléaires iraniens. Il a modifié à l'insu des opérateurs les paramètres de vitesses des interfaces applicatives pilotant la rotation des centrifugeuses entraînant la dégradation de celles-ci. Lancée en 2010, l'attaque aurait touché un tiers du parc des centrifugeuses utilisées pour l'enrichissement de l'uranium et les auraient détruites, retardant le programme nucléaire iranien de un à deux ans.

Échappant à tout contrôle, le ver s'est propagé sur Internet, si bien que plus de 30 000 machines ont été infectées en Iran. En 2011, aux États-Unis, des experts en cyber-sécurité ont identifié et éliminé des occurrences de Stuxnet, qui en est à sa

49^e version à ce jour. Parallèlement, les cyber-attaques contre les sites industriels critiques américains ont quintuplé entre 2010 et 2011. Fait aggravant : les experts de la sécurité informatique ont identifiés

DuQu, qui a de fortes similitudes avec Stuxnet, a été trouvé sur des sites européens, notamment en France.

« Avec l'affaire Stuxnet et ses conséquences, les industriels du monde entier ont pris conscience que le piratage informatique ne se limitait plus aux seuls ordinateurs et serveurs de bureaux », déclare Laurent Raillier, responsable marketing Solutions sécurité chez Schneider Electric France. « En

USINE ET BUREAUX NE SUBISSENT PAS LES MÊMES CONTRAINTES			
Contextes différents		Priorités différentes	
IT	Automation	IT	Automation
Pas de risque de perte humaine	Sécurité !	Confidentialité	Disponibilité
Transactions des infos « lentes »	Faibles temps de réponse	Intégrité	Intégrité
Durée de vie courte	Durée de vie longue	Disponibilité	Confidentialité
Maintenance à la volée	Maintenance périodique	<small>Source : Schneider Electric</small>	
Jargon informatique	Jargon industrie		
Normes domaine IT (ISO 27000...)	Normes industrie		
<small>Source : Schneider Electric</small>			

d'autres logiciels malveillants ciblant les sites industriels : PoisonIvy, Night Dragon, DuQu, Flame. Et il y a les menaces non encore détectées... Le logiciel malveillant

connectant les réseaux informatiques industriels aux réseaux d'entreprise, on ouvre totalement l'usine à l'extérieur », poursuit Laurent Raillier. ▲

L'enjeu énergétique : sécuriser les approvisionnements et en abaisser le coût

Face à crise énergétique et au changement climatique, Jeremy Rifkin, consultant pour de riches clients, promeut le basculement de l'économie mondiale dans la troisième révolution industrielle, titre d'un de ses livres. Celle-ci ne serait plus fondée sur une production d'énergie centralisée mais distribuée, les humains générant leur propre énergie verte. Elle circulerait dans le réseau de manière intelligente, un peu comme l'information circule dans Internet. Peu importe que Jeremy Rifkin ait oublié la vraie 3e révolution industrielle fondée l'automatisme et l'informatique. Les constats de sa théorie, relatifs à l'énergie, sont à peu près les mêmes que ceux de la 4e révolution industrielle : coûts de l'énergie en hausse continue, sécurité des approvisionnements incertaine, multiplication des sites de production inhérente aux énergies renouvelables (jusque chez l'habitant avec ses panneaux solaires) et souci du développement durable.

L'Industrie 4.0 fait de l'énergie un enjeu majeur. Dans les objectifs du rapport allemand, on relève la sobriété énergétique des usines, un approvisionnement sans faille et un coût aussi bas que possible.

Un enjeu vital

Parce que l'énergie est considérée comme une matière première précieuse, il appartient aux États, au niveau national, voire continental, de faciliter les réponses aux grands défis de la transition énergétique

(pour une bonne partie d'origine fossile vers les renouvelables : éolien, solaire, biomasse...) et d'en assurer le transport à travers une infrastructure fiable et « intelligente ». Plusieurs acteurs européens se sont déjà positionnés sur cette

FRANCE : L'INDUSTRIE CONSOMME UN CINQUIÈME DE L'ÉNERGIE TOTALE

La consommation finale énergétique de la France a augmenté de 20,8 % entre 1973 et 2008 tandis que celle de l'industrie a diminué de 21,7 % sur cette même période. Entre 2008 et 2009, cette consommation a encore baissé de 12,9 % pour l'industrie et de 3,7 % au total, baisse due en partie à la crise économique de cette époque (source : ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie).

□ Agriculture : 3 % □ Industrie : 21 % □ Transport : 32 % □ Résidentiel : 44 %

L'AUTOMATE AU CŒUR DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Sachant que les moteurs électriques des machines industrielles, par exemple, consomment en moyenne 11 % de l'énergie nécessaire à l'usine, la stratégie Ethernet des fabricants d'automates les conduit à proposer plusieurs niveaux de service (sécurité machine, gestion d'axe et gestion énergétique), par addition de couches, dans le cadre d'un même protocole. Par exemple, ProfiBus International propose ProfiEnergy (sur base sur protocole Ethernet industriel ProfiNet) pour optimiser en parallèle l'alimentation d'actionneurs (mise en veille et remise sous tension automatisée) eux-mêmes compatibles avec ledit protocole.

L'association professionnelle ODVA a fait évoluer, pour sa part, le protocole Ethernet industriel CIP pour lui permettre d'apporter une valeur ajoutée dans les applications énergétiques. Des fonctions avancées intrinsèques à CIP permettent de remonter des informations sur les consommations énergétiques et d'optimiser les consommations. Des automates nouveaux permettent aussi bien la gestion de l'énergie des ateliers que des bâtis. Capteurs et automatisme bien utilisés permettrait de réduire de 10 % à 20 % la consommation d'énergie d'un site industriel.

activité : Siemens, Schneider Electric, Alstom, ABB... L'un des enjeux fondamentaux du « smart grid » sera la gestion fine de la distribution de l'énergie issue de sites éclatés et nombreux. Quelle source d'énergie prioriser ? La source centralisée ou la distribuée ? Quand et comment ? Et comme l'énergie renouvelable est intermittente, cela complique le problème. Les grands modèles de prédiction de production énergétique bâties sur les caprices météorologiques au plus près du terrain (vents, ensoleillement...), ne suffiront pas à résoudre l'équation. L'une des solutions qui éviterait les gaspillages – combien d'énergie verte a été produite en Allemagne et jamais consommée ?



Le Hive, siège social de Schneider Electric à Rueil-Malmaison, premier bâtiment certifié ISO 50001 en France.

– passera par l'innovation. De grands programmes de recherche en Europe planchent sur une solution de stockage de l'énergie économiquement acceptable.

Un enjeu industriel

Il faut savoir qu'en moyenne, la chaleur produite dans les usines est à l'origine de 60 % de leur consommation énergétique (fours et sécheurs : 39 %, chaudières : 29 %). Le reste est réparti entre les moteurs, le traitement des matières premières, le froid et l'air comprimé. Plus prosaïque-

ment, les industriels, électro-intensifs ou pas, auront besoin d'un approvisionnement continu et d'un coût relativement faible. Il en va de leur compétitivité. En effet, l'énergie est fondamentale aux machines qui produisent des biens, aux bâtis qui les accueillent et aux systèmes d'information qui participent à leur bon fonctionnement.

Pascal Mioche, président de l'intégrateur Automatique et Industrie, se le dit tous les jours : « La question de l'énergie est complètement intégrée dans notre réflexion car elle a un impact sur le fonctionnement du bâtiment, des machines et des réseaux d'information. Deux points clefs de l'usine en général et de l'usine numérique en particulier sont fondamentaux : la sécurisation de cette commodité, notamment en termes de dis-

ALLEMAGNE : PROJET D'USINE FRUGALE

En mai 2013 en Allemagne, des travaux scientifiques et techniques, coordonnés par l'université de Darmstadt, ont démarré pour une « usine efficace énergétiquement pour une recherche appliquée et technologique interdisciplinaire » (l'usine « eta »). Objectif : développer une usine pilote à haute efficacité énergétique, en privilégiant une approche interdisciplinaire basée sur une optimisation continue de l'usine en tant que système global. Grâce à l'interaction des différents domaines, considérés auparavant indépendamment les uns des autres, les entreprises industrielles devraient être en mesure d'économiser environ 40 % d'énergie supplémentaires. Ce sera possible grâce à l'utilisation d'équipements à haut rendement énergétique en combinaison avec une utilisation maximale de l'énergie produite au cours du processus de fabrication. Ce projet est financé par le ministère fédéral de l'Économie et de la Technologie à hauteur de 7,9 millions d'euros (source : Adit).

ponibilité, et son coût, d'où l'importance des économies d'énergie. Les nouvelles technologies amènent de la performance énergétique mais sont aussi de nouvelles sources de consommation d'énergie qu'il ne faut pas oublier de maîtriser ».

Siemens et Schneider Electric, notamment, proposent des logiciels d'aides à la gestion de l'énergie (norme ISO 50001). Ils permettent aux industriels de « comprendre » leur consommation d'énergie, d'identifier les gains potentiels, de calculer le retour sur investissement, etc. « Nous observons déjà sur le terrain un changement de mentalité : les fournisseurs produisent, par exemple, des équipements moins énergétivores, et les exploitants d'usine changent de comportement par rapport aux économies d'énergie », conclut Pascal Mioche. En cela, les industriels accentuent la chasse au gaspi démarrée après le premier choc pétrolier. ▲



Nous entrons dans une nouvelle révolution industrielle

par *Jeremy Rifkin, économiste, prospectiviste et essayiste américain.*

Nous sommes au cœur d'une crise économique très profonde. Elle a été en gestation pendant deux siècles et, aujourd'hui, cette crise économique a donné naissance à une crise humaine beaucoup plus profonde et notre espèce est en danger pour la première fois de son histoire.

L'économie primaire de notre petite planète est la photo synthèse. Et nous, les êtres humains, nous représentons moins de la moitié d'un pourcent de la biomasse présente sur terre. Pourtant, nous utilisons actuellement un tiers de toute la production de photosynthèse de la planète ! Ce n'est pas durable.

Ces dernières années, nous avons vécu deux événements qui nous montrent que nous sommes au début d'un jeu très dangereux. Souvenez-vous, en juillet 2008, le prix du baril de pétrole a atteint le niveau

Toutes les révolutions industrielles sont intervenues avec l'apparition de changements énergétiques et dans les moyens de communication.

record de 170 dollars. Aussitôt, tous les prix des autres produits qui dépendent directement du pétrole ont alors atteint des sommets. Et de fait, nos fertilisants, nos pesticides, nos matériaux de construction et la majorité de nos produits pharma-

L'Industrie 4.0 fait de l'énergie un enjeu majeur. Dans les objectifs du rapport allemand, on relève la sobriété énergétique des usines, un approvisionnement sans faille et un coût aussi bas que possible.

ceutiques, nos fibres synthétiques, notre énergie, nos transports... tout est basé sur les combustibles fossiles. Ensuite, l'arrêt de l'activité industrielle dans le monde a provoqué la chute du court du Brent. Mais dès que la reprise est apparue, le prix du baril est de nouveau remonté dangereusement. La demande est trop forte pour le pétrole que nous avons en réserve. Cela crée des cycles de 4 à 5 ans de croissance, puis d'effondrement. Nous ne pouvons pas nous en sortir. Et nous avons d'autres sources d'énergies fossiles sur la planète, mais elles coûtent plus chers...

Nous avons établi et construit notre civilisation en partant du carbone et, désormais, nous avons passé le « *pic de production* » du pétrole, ce qui signifie que l'on produit plus que la moitié de nos réserves. Autrement dit, la quantité de pétrole par personne sur terre est désormais limitée, et se réduit avec l'augmentation de la population.

Le deuxième événement important, c'est le sommet de Copenhague en 2009 sur l'énergie, qui nous a démontré que nous ne pouvons pas non plus échapper à la deuxième loi de la thermodynamique (c'est-à-dire l'irréversibilité des phénomènes physiques et thermiques). Nous payons pour les révolutions industrielles des XIX^e et XX^e siècles. Nous avons émis des quantités énormes de CO₂ et de polluants et le climat change de façon dangereuse pour l'humanité, qui pourrait tout

simplement disparaître si nous n'agissons pas très vite.

Nous jouons notre survie sur terre. Nous avons besoin d'une nouvelle vision économique pour le monde maintenant. C'est une priorité. Et surtout, il faut oublier le carbone, mettre une croix dessus pour les trente années qui viennent si nous voulons avoir un espoir de renverser la vapeur.

Toutes les révolutions industrielles sont intervenues avec l'apparition de changements énergétiques et dans les moyens de communication. Au XIX^e siècle, la convergence du charbon et de l'imprimerie a ainsi provoqué une révolution aussi importante qu'Internet, qui a apporté la connaissance à un grand nombre d'individus qui ont ensuite mis leurs connaissances et leurs compétences au service de cette révolution. Au XX^e siècle, la révolution suivante est née de l'arrivée du pétrole et des réseaux électriques centralisés, créant de nouveaux moyens de communication : le téléphone, la radio, la télévision. Et là encore, le téléphone a été pratiquement aussi important que l'internet en son temps. Le point particulier de cette révolution est qu'elle reposait sur des systèmes complètement verticaux et centralisés. Actuellement, les technologies vieillissent et ces infrastructures sont en train de mourir lentement.

Aujourd'hui en Europe, nous sommes à l'aube d'une nouvelle convergence de



Jeremy Rifkin

- ▶ Né le 26 janvier 1945 à Denver dans le Colorado.
- ▶ Essayiste américain, spécialiste de prospective (économique et scientifique), il a aussi conseillé diverses personnalités politiques.
- ▶ Il est fondateur et président de la Fondation pour les tendances économiques (Foundation on Economic Trends ou FOET) basée à Washington.
- ▶ Son travail porte sur l'exploration des potentialités scientifiques et techniques nouvelles, sur leurs impacts en termes sociétaux, environnementaux et socio-économiques.

la communication et de l'énergie. Nous avons connu une évolution fantastique des moyens de communication dans les 20 dernières années : le PC, internet et l'internet mobile, qui permet à un tiers de la population mondiale d'être connecté en permanence... Et ce nouveau mode de

communication commence seulement à fusionner avec un nouveau mode de diffusion énergétique : l'énergie distribuée. Nous passons de l'ère de la centralisation à celle de l'horizontalité, de la décentralisation, du partage, du fonctionnement collaboratif... C'est la nouvelle révolution industrielle qui démarre.

Et cela commence en Europe car l'Union Européenne s'est engagée officiellement à lancer cette nouvelle révolution sur la base de 5 piliers, pour changer le monde.

Le premier de ces piliers est l'emploi des énergies renouvelables : solaire, éolien, hydraulique, biomasse, géothermie, énergie marémotrice... toutes ces énergies sont disponibles et gratuites. Le deuxième pilier est la mise en œuvre de moyens de production énergétiques dans les 190 millions de bâtiments individuels et professionnels présents en Europe. L'idée est que chaque maison, chaque immeuble devienne une « *mini centrale électrique verte* ». Cette notion de bâtiment positif est un élément clé de la nouvelle révolution industrielle, sachant qu'à terme, l'énergie sera pratiquement gratuite. Le troisième pilier, c'est le stockage de cette énergie produite, via des batteries, des capacités... L'hydrogène sera au cœur de ce dispositif. D'ailleurs, l'Europe a décidé de mettre 8 milliards d'euros dans une installation de production d'hydrogène. Le quatrième pilier est le recours à l'Internet et à des logiciels spécifiques capables de réguler les flux d'échanges énergétiques entre producteurs et consommateurs, dans le cadre de « *smart-grids* », ou réseaux intelligents.

La généralisation du véhicule électrique. Enfin, le cinquième pilier est le mode de transport de cette énergie : le véhicule électrique, pouvant se brancher de nœud en nœud, de réseau en réseau, via des bornes de recharge.

Cette troisième révolution industrielle, marquée par son caractère horizontal et collaboratif, créera énormément d'emplois pour construire et exploiter ces infrastructures, et nous permettra de trouver un nouveau modèle commercial pour tous types d'acteurs et d'utiliser des moyens de production nouveaux comme l'impression 3D. Cette technique,

qui constitue une des bases de l'Internet des objets et qui consiste à fabriquer des objets par accumulation de couches successives à partir d'une définition numérique de la pièce pouvant circuler facilement sur le net, présente l'intérêt d'être très économique puisqu'elle ne génère aucune perte, contrairement aux moyens de production classiques comme l'usinage. Avec ce type d'installation, les entreprises européennes seront aussi compétitives que la Chine, d'autant qu'elles posséderont leur propre source d'énergie ! Dans ce nouvel environnement, les PME deviendront plus puissantes sur des marchés plus locaux. Certaines grandes entreprises devront sans doute disparaître, d'autres deviendront des fournisseurs primaires des PME.

“ L'Europe, et en particulier la France et l'Allemagne, sont à l'origine de ce changement radical. ”

La clé de cette révolution est dans l'énergie : générer son énergie à partir de la nature et la transformer, tout au long de la chaîne, sans en perdre et en étant plus productif. C'est du bon sens et on peut le faire dès demain.

Dans les 25 prochaines années, il va falloir réussir à intégrer ces nouveaux modèles. Enfin, la dernière étape de cette nouvelle révolution industrielle est ce que j'appelle la continentalisation, c'est-à-dire la généralisation de ce modèle par le raccordement des nœuds successifs de ville en ville, de nation en nation, de continent en continent, afin d'optimiser l'usage de cette énergie. L'Europe, et en particulier la France et l'Allemagne, sont à l'origine de ce changement radical.

Le défi est important et je suis inquiet, mais j'espère que toutes les autres grandes nations se rallieront à ce mouvement. La survie de notre espèce en dépend. ▲

Propos recueillis lors du Word Forum de Lille.

« Les industriels doivent se rapprocher des établissements d'enseignement supérieur pour exprimer leurs besoins »

par **Philippe Véron**

GIMÉLEC : L'usine numérique et, plus largement, l'Industrie 4.0 auront-elles un impact sur l'organisation du travail ? Si oui, comment cela se traduira-t-il sur le terrain ?

Philippe Véron : Oui, il est évident que les nouvelles technologies de l'information et de la communication ont et auront un impact sur l'organisation du travail. Un des enjeux majeur de ces nouveaux outils numériques consiste à favoriser et optimiser la collaboration des acteurs et les échanges d'information au sein de l'usine. Cela impose de nouveaux modes d'organisation et également des infrastructures adaptées (les technologies numériques déployées au sein même des sites de production par exemple).

GIMÉLEC : Selon vous, quelles seront les compétences professionnelles qui disparaîtront et celles qui émergeront ?

Philippe Véron : Je ne sais pas si on peut parler de disparition de compétences, mais à minima d'évolution et d'adaptation des compétences nécessaires. De solides compétences techniques métiers sont et resteront indispensables pour permettre le développement des systèmes intelligents, robots communicants et collaboratifs, systèmes mécatroniques et pour assurer leur mise en œuvre industrielle. Les compétences en matière de management, d'organisation et de gestion industrielle sont directement impactées par les NTIC et nécessitent des capacités nouvelles à travailler à distance et en interaction avec des systèmes d'informations métiers de plus

Comment les organismes de formation abordent-ils les effets collatéraux de l'Industrie 4.0 sur leurs contenus pédagogiques ? Nous avons posé la question à Philippe Véron, enseignant-chercheur au Laboratoire des sciences de l'information et des systèmes (LSIS) et responsable pour Arts et Métiers ParisTech du département Conception, industrialisation, risques et décision et du mastère spécialisé IngéNUM.

en plus sophistiqués, comme les Product Life Cycle Management (PLM), Enterprise Resource Planning (ERP), Manu-

facturing Executive System (MES), Customer Requirement Management (CRM), Supply Chain Management (SCM)...





Philippe Véron

- ▶ Professeur des universités à Arts et Métiers Paris-Tech, chercheur au sein du Laboratoire des sciences de l'information et des systèmes (LSIS), unité mixte de recherche CNRS n° 7296, en ingénierie numérique des systèmes mécaniques.
- ▶ Responsable pour Arts et Métiers ParisTech du département Conception, industrialisation, risques et décision et du mastère spécialisé Ingénierie numérique et PLM (IngéNUM).

GIMÉLEC : Cela aura forcément un impact sur les formations initiales et continues. Est-ce que l'ENSAM s'y prépare ? Si oui, comment ?

Philippe Véron : Bien sûr, nous adaptons en permanence nos cursus de formation et leurs contenus. Pour la formation initiale de nos élèves-ingénieurs, le numérique est déjà présent dans de nombreuses disciplines avec les ensei-

gnements liés à la conception assistée par ordinateur (Computer-Aided Design, CAD), au PLM, à la simulation numérique du comportement des pièces et des structures (Computer-Aided Engineering, CAE), à la simulation des procédés de fabrication (Computer-Aided Manufacturing, CAM), à la gestion industrielle, ERP...

Des spécialisations de dernière année sont également mises en place autour de l'ingénierie de systèmes complexes, prototypage virtuel et réalité virtuelle, mécatronique et robotique, systèmes d'informations... Des formations spécifiques de type mastères spécialisés (post-bac + 5) sont aussi ouvertes

Philippe Véron : Il existe des réflexions dans ce domaine notamment via l'Agence nationale de la recherche avec l'atelier de réflexion prospective « FUTURPROD » dont le rapport final est disponible en ligne.

GIMÉLEC : Pensez-vous que les industriels ont un rôle à jouer dans la formation ? Si oui, comment envisagez-vous une telle collaboration avec les centres de formation ?

Philippe Véron : J'en suis convaincu, il faut impliquer davantage encore les industriels dans nos formations. C'est déjà le cas dans la plupart de nos cursus, nous avons de nombreux interve-



comme le MS IngéNUM autour du développement numérique de produits et du PLM, le MS Espaces Virtuels Avancés et le MS Lean Production et Logistique.

GIMÉLEC : Est-ce que le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, votre administration de tutelle, a pris la mesure de ce qui se passe dans l'évolution des technologies, en particulier dans l'industrie ?

nants industriels surtout dans le cadre de nos formations par apprentissage et dans nos mastères spécialisés. Le MS IngéNUM, par exemple, qui ouvre cette année a été construit à la demande et en étroite concertation avec un ensemble de partenaires industriels pour répondre efficacement à leurs besoins en termes de compétences. Il faut aussi que les industriels n'hésitent pas à se rapprocher des établissements d'enseignement supérieur pour exprimer leurs besoins. ▲

« Il faut impliquer davantage encore les industriels dans nos formations. C'est déjà le cas dans la plupart de nos cursus, nous avons de nombreux intervenants industriels surtout dans le cadre de nos formations par apprentissage et dans nos mastères spécialisés »

« Le client n'achète pas des produits mais un service »

par Jean-Pierre Dal Pont

GIMÉLEC : L'environnement économique est bouleversé sur plusieurs fronts. Quels sont les nouveaux postulats que l'entreprise industrielle doit prendre en compte ?

JEAN-PIERRE DAL PONT : Autrefois, il suffisait « presque » de produire pour vendre. Aujourd'hui, le client est roi. Il a l'embaras du choix pour les produits de grande consommation. Il veut être servi mieux, plus vite. Cela impose à l'entreprise, dans un contexte de globalisation, une flexibilité accrue, des produits de meilleure qualité, donc de repenser son mode de fonctionnement.

L'idée est de vendre de la valeur ajoutée. Le client n'achète pas de produits mais un service. Il s'agit d'une véritable approche qualité puisque la satisfaction du client est considérée comme la finalité de l'entreprise. La vocation de l'entreprise ne se limite donc plus au produit lui-même mais inclut le service après-vente au sens large, que ce soit pour le dépannage, la mise en œuvre, la formation des utilisateurs... Et un produit a un cycle de vie. Comme un être vivant, il naît, croît, atteint sa maturité, décroît et meurt.

L'informatique, associée aux nouveaux moyens de communication, joue un rôle important dans cette approche puisqu'elle est indispensable pour saisir les données nécessaires à la gestion des commandes, des stocks et de l'outil industriel, dans toutes les phases de production.

Cela implique à l'évidence que les moyens de production soient performants (conception et réalisation) et bien gérés (gestion au quotidien).

La perception de l'entreprise industrielle par Jean-Pierre Dal Pont, président de la Société française génie des procédés, est d'autant plus intéressante qu'il a été tour à tour responsable de recherche chez Rhône-Poulenc, puis maître d'ouvrage pour la création de plusieurs usines aux quatre coins du monde. Il rappelle ici quelques fondamentaux tirés de son actuelle réflexion sur l'usine du futur.

La technologie devient une arme dans la mesure où elle seule va permettre d'obtenir : des produits de qualité au meilleur coût et des produits qui se différencient de ceux de la concurrence par leur valeur d'usage.

La définition de la technologie peut être élargie à un ensemble constitué par les moyens de recherche, pure ou appliquée, l'ingénierie, le procédé de fabrication et sa mise en œuvre, l'outil industriel, les méthodes d'approvisionnement et de distribution.

au cycle de vie du produit. Par exemple, un produit, à sa naissance, pourra être fabriqué en discontinu. Puis, si succès il y a, il pourra passer à une production en continu. La technologie du procédé et les modes de fabrication demanderont à être revu. Cela n'est évidemment pas vrai pour une raffinerie.

GIMÉLEC : L'atelier est-il construit pour durer 2 ans, 10 ans, 50 ans ? Doit-il être spécifique (un seul produit aux spécifications immuables), polyvalent, flexible, re-convertis-

“ Le sous-traitant entre dans le système qualité du donneur d'ordres, c'est de plus en plus un partenaire. ”

Le concept de « *supply chain* » va au-delà de l'intendance. Il s'agit de piloter des flux – matières, monétaire et information – pour améliorer la performance de l'entreprise industrielle.

GIMÉLEC : Y a-t-il une (ou des) stratégie(s) industrielle(s) à privilégier ?

JEAN-PIERRE DAL PONT : Le système de production doit souvent évoluer et s'adapter

sable ou à matériel récupérable ? Est-on sûr que les spécifications, le cahier des charges du produit ne varieront jamais ?

JEAN-PIERRE DAL PONT : L'atelier doit être polyvalent, reconvertible pour d'autres fabrications, facilement extensibles. La chimie fine sait maintenant résoudre ces problèmes en installant des cascades de réacteurs de différents types discontinus servis par des stockages en amont



Jean-Pierre Dal Pont

- ▶ Auteur du « Génie des procédés et l'entreprise », publié chez Hermès-Lavoisier.
- ▶ Diplômé de l'École nationale supérieure des industries chimiques (ENSIC Nancy) et d'un MBA de l'Institut de contrôle de gestion.
- ▶ Il a passé toute sa carrière dans l'industrie chimique, d'abord dans un centre de R&D, puis à la production chez Rhône-Poulenc. Il a gravi tous les échelons jusqu'à en devenir directeur industriel.
- ▶ Il est l'un des artisans de l'implantation industrielle de Rhône-Poulenc et Rhodia aux États-Unis et en Asie.

et aval polyvalents. La polyvalence dans ce cas fait partie du cahier des charges du projet.

Enfin, se posera aussi la question de « Faire ou faire faire ? » L'entreprise doit se focaliser sur ses métiers. Encore faut-il les connaître ! La sous-traitance

pour faire face à la pénurie de certaines matières premières a introduit la notion de fonctionnalité. Elle est encore largement utilisée dans ce but pour améliorer des produits et des services existants. Elle a cependant évolué ces dernières décennies. Elle est notamment utilisée pour établir le CdCF des produits nou-

“ Dans de nombreux cas, l'industriel ne peut pas par lui-même évaluer l'intérêt de son produit pour l'utilisateur final. ”

est complexe. Elle acquiert de plus en plus de lettres de noblesse dans la mesure où sous-traiter ne consiste pas à se débarrasser de tâches ingrates. Le sous-traitant entre dans le système qualité du donneur d'ordres, c'est de plus en plus un partenaire.

Le meilleur compromis entre faire soi-même et sous-traiter peut être trouvé en pondérant les critères comme la confi-

veaux qui consiste à analyser le service rendu, l'état des marchés afin d'en tirer des prévisions des ventes (volume, prix), de cibler les clients, de définir les canaux de distribution. Le CdCF servira au bureau d'études pour rechercher les meilleures solutions au cours du processus d'industrialisation.

Le développement d'un produit nouveau ou l'amélioration d'un produit existant



dentialité, les capitaux investis, le temps de mise en œuvre, les coûts globaux de fabrication, sans oublier l'éthique industrielle que toute entreprise se doit d'avoir.

GIMÉLEC : Comment mesurer *a priori* l'intérêt d'un produit en développement ?

JEAN-PIERRE DAL PONT : L'analyse de la valeur et le cahier des charges fonctionnel (CdCF) sont des notions communes à pratiquement toutes les industries.

L'analyse de la valeur, née aux États-Unis au début de la Seconde guerre mondiale

nécessite bien entendu d'appréhender la réponse du marché. Dans de nombreux cas, l'industriel ne peut pas par lui-même évaluer l'intérêt de son produit pour l'utilisateur final. Citons le cas du chimiste qui développe un produit pour les cosmétiques. Le chimiste saura synthétiser, fabriquer les matières actives principales, par exemple d'un shampoing, mais il ne peut pas évaluer par lui-même l'intérêt du produit formulé par son client. Il faut dans ce cas développer un partenariat concepteur-utilisateur. Et grâce aux réseaux sociaux, cet utilisateur peut être pluriel. Un potentiel encore sous-exploité aujourd'hui. ▲

Passons à l'Innovation Humaniste

par Navi Radjou, Consultant en innovation et leadership basé dans la Silicon Valley.

Les mille premières entreprises dans le monde qui investissent le plus dans l'innovation, pour l'essentiel des entreprises occidentales, ont dépensé pas moins de 603 milliards de dollars pour leur R&D rien qu'en 2011. Mais qu'ont-elles obtenu en retour ? Pas grand-chose, selon les recherches effectuées par le cabinet de conseil Booz & Company. Les consultants de Booz ont identifié une très faible corrélation entre investissements en R&D et les performances en termes de développement et de commercialisation de produits qui génèrent des profits. Pour dire les choses plus crûment : l'argent ne peut pas acheter l'innovation !

Ce qui explique les frustrations des dirigeants occidentaux qui font face d'une part à d'énormes contraintes financières dans un contexte de crise économique prolongée et d'autre part à d'immenses pressions des actionnaires pour générer de la croissance.

Remontons l'histoire

Au début du XX^e siècle, les entreprises occidentales ont commencé à institutionnaliser leurs systèmes d'innovation, en créant des centres de R&D et normalisant les processus opérationnels pour élaborer des produits commercialisables. Cette « *industrialisation* » du processus de création de produits et services a abouti aujourd'hui à une approche structurée de l'innovation qui est trop couteuse en capital et ressources naturelles, manque de souplesse, et demeure élitiste et insulaire. Ces structures et processus industriels de l'après-



guerre – gros budgets R&D, hiérarchies, etc. – ne sont plus adaptés au monde d'affaires du XXI^e siècle, caractérisé par une complexité accrue et une rareté de ressources.

Une telle approche d'innovation humaine et humaniste existe déjà. Elle est pratiquée par des millions d'entrepreneurs dans les marchés émergents comme l'Inde, la Chine, l'Afrique et le Brésil qui

“ En adoptant le *jugaad* – cet état d'esprit frugal, agile, et inclusif – les entreprises françaises pourraient apprendre à « faire mieux avec moins » ”

Il faut donc remettre à plat l'approche d'innovation actuelle en Occident qui est devenue trop « *industrialisée* » et adopter une nouvelle approche qui est à la fois plus « *humaine* » et plus « *humaniste* ». « *Humaine* » car elle valorise et s'appuie sur l'ingéniosité des êtres humains (employés, clients, fournisseurs) – car n'oublions pas que ce sont les hommes qui innovent ! Mais aussi « *humaniste* » car cette nouvelle approche vise à améliorer les conditions de vie des concitoyens tout en minimisant l'utilisation des ressources naturelles. L'objectif est donc d'arrêter de faire « *toujours plus avec plus* » et tenter de « *faire mieux avec moins* ».

puisent dans leur ingéniosité et résilience pour improviser des solutions très efficaces qui offrent plus de valeur à leur communauté tout en minimisant l'utilisation des ressources très rares.

Un état d'esprit

C'est le cas par exemple de Mansukh Prajapati, un potier indien, qui a conçu MittiCool, un réfrigérateur fabriqué entièrement en argile qui fonctionne sans électricité, est 100 % biodégradable, et conserve fruits, légumes et lait frais pendant plusieurs jours – un vrai don du ciel pour les 800 millions d'indiens qui vivent dans des villages reculés dépour-

vus d'électricité et d'approvisionnement régulier en denrées alimentaires. Ou des entrepreneurs kenyans qui ont inventé un dispositif de recharge des téléphones portables activé par les coups de pédale des cyclistes. Quant à Jane Chen, une MBA de Stanford, elle a cofondé Embrace, un startup qui commercialise en Inde, Afrique, et Chine une couveuse pour bébés prématurés. Ce produit, à la fois portable et écolo, ne coûte que 200 dollars — soit 1 % du prix des incubateurs vendus en occident qui coûtent 20 000 dollars.

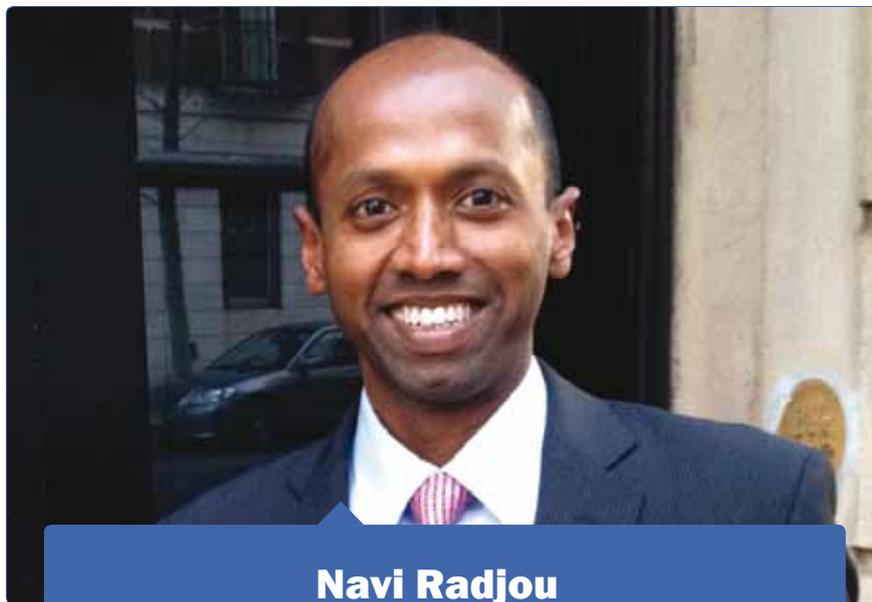
Tous ces entrepreneurs partagent un unique état d'esprit agile et frugal qui s'appelle *jugaad* : ce mot hindi populaire recouvre un concept que l'on pourrait traduire en français par « *débrouillardise* », soit la capacité à improviser des solutions ingénieuses dans des conditions adverses (voire hostiles). Cet état d'esprit résilient et créatif cherche à trouver des solutions « *à taille humaine* » aux problèmes pressants qu'affrontent les communautés locales.

La place de l'Europe

La bonne nouvelle est que des entreprises européennes – et surtout françaises – comme Siemens, Danone, et Renault-Nissan ont déjà opté pour cette démarche d'innovation *jugaad* et développé des solutions ingénieuses et génératrices de forte croissance. Par exemple, Danone a mis en place *danone.communities* qui soutient un

Ces partenariats trans-sectoriels soutiennent l'expansion commerciale de Danone dans les pays émergents tout en contribuant au développement durable

de développer (avec son partenaire Nissan) la plateforme CMF-A qui servira de base pour la conception de voitures ultra-low-cost qui seront lancées en



Navi Radjou

- ▶ Navi Radjou, Français d'origine indienne, est consultant en innovation et leadership basé dans la Silicon Valley.
- ▶ Diplômé d'Ecole Centrale Paris, il est membre du World Economic Forum et coauteur de « *L'Innovation Jugaad : Redevenons Ingénieurs !* » (Diateino, 2013) et « *From Smart To Wise* » (Jossey-Bass, 2013).

des communautés locales. Quant à Siemens, le géant industriel allemand, il a lancé une nouvelle gamme de produits SMART, tous abordables et écologiques – comme ce moniteur cardiaque doté de micros bon marché au lieu d'un système onéreux à ultrasons.

Inde et d'autres marchés émergents. CMF-A conjugue l'état d'esprit *jugaad* des jeunes ingénieurs indiens avec la compétence en gestion de projets des équipes R&D françaises et l'expertise technique des ingénieurs japonais.

“ Comme nous entrons dans l'Ere de la Modération, ce sont les qualités humaines comme l'ingéniosité, la résilience, et l'empathie qui vont alimenter la croissance économique durable et équitable de demain. ”

réseau mondial d'entrepreneurs sociaux qui aident à construire les « *chaînes de valeurs hybrides* » – c'est-à-dire qui intègrent les compétences et actifs du secteur privé et l'expertise et réseaux des acteurs sociaux.

Finalement, Renault qui a connu un grand succès avec le lancement en 2004 de sa Logan à 5 000 euros suivie de toute une palette de véhicules bon marché et durables sous la marque Dacia (95 % des pièces sont recyclables) est en train

En adoptant le *jugaad* – cet état d'esprit frugal, agile, et inclusif – les entreprises françaises pourraient apprendre à « *faire mieux avec moins* » et créer de la valeur durable pour toutes les parties prenantes de la société. L'Age des Excès (XX^e siècle) était dominé par les machines et les processus industriels. Mais comme nous entrons dans l'Ere de la Modération, ce sont les qualités humaines comme l'ingéniosité, la résilience, et l'empathie qui vont alimenter la croissance économique durable et équitable de demain. ▲

Cet article est en partie adapté du livre « *L'Innovation Jugaad* ». Pour plus d'infos sur Navi Radjou, visitez NaviRadjou.com

Allemagne : les huit recommandations de la plateforme Industrie 4.0

L'Industrie 4.0, qui signifie l'entrée dans la 4^e révolution industrielle, est une initiative des fédérations professionnelles allemandes Bitkom (technologies de l'information), VDMA (machine-outil) et ZVEI (électro-industrie). Leur rapport recense les huit priorités indispensables à la réussite de cette transition. Une plateforme Industrie 4.0 (www.plattform-i40.de), issue du concept de système cyber-physique (CPS), a même été créée pour l'expérimentation en conditions réelles de produits et services 4.0 avant leur adoption définitive. Le gouvernement accompagnera ce passage en soutenant des expérimentations à hauteur de 200 millions d'euros environ.

1. Pas d'échanges efficaces sans normalisation

Comment rassembler des sociétés aux modèles d'affaires et aux organisations différentes en une approche unique et commune ? Il faudra que les partenaires s'entendent aussi bien sur des sujets globaux (principes structurels, terminologie) que sur les détails.

Le rapport « *Recommandations pour la mise en œuvre de l'initiative stratégique d'Industrie 4.0* » est sorti à l'occasion de la Foire de Hanovre d'avril 2013. Écrit à l'initiative d'industriels allemands, le document porte un sous-titre révélateur : « *Assurer l'avenir de l'industrie manufacturière allemande* ». Voici résumées les principales recommandations.

Sur les sujets globaux : la mise en place de projets phares est également recommandée pour démontrer leur validité à travers des architectures de référence. Les architectures de référence pourraient inclure l'ingénierie de bout en bout des produits, de leurs systèmes de production, des réseaux de communication pour la gestion et le contrôle de procédés technologiques de fabrication en temps réel.

Sur les détails, la normalisation touche quasiment tous les sujets : acquisition de données par les capteurs, contrôle séquentiel, contrôle continu, données opérationnelles, données machine, données de procédés, archivage, fonctions de planification et d'optimisation, etc.

Bien qu'ils ne soient pas explicitement nommés, on comprend en creux que les protocoles de communication doivent trouver un langage commun, pour ne pas dire universel.

2. Pas de systèmes complexes sans virtualisation

Les produits et les systèmes de production sont de plus en plus complexes. C'est le résultat de fonctionnalités croissantes, de la personnalisation plus fréquente des produits, de l'évolution plurielle des coopérations entre les différentes entreprises... La modélisation – aussi bien de la planification des tâches que de la simulation des produits et systèmes productifs – facilite la gestion de processus à la complexité croissante. Le recours au virtuel constituera donc un point capital de l'Industrie 4.0, d'autant plus que son approche sera holistique.

Les questions de la formation et du partage des meilleures pratiques doivent être promues, notamment auprès des PME. Le groupe de travail recommande également la mise en place de projets phares pour déployer et tester des méthodes et des outils de modélisation existants afin de montrer l'intérêt de la modélisation

SÉCURITÉ ET SÛRETÉ : QUELLE DIFFÉRENCE ?

Il est utile de rappeler les différences entre sécurité et sûreté. La sécurité désigne l'ensemble des moyens humains, organisationnels et techniques destinés à faire face aux risques (sans but lucratif) pouvant nuire aux personnes et aux biens. Ils ont généralement une origine interne. La sûreté est l'ensemble des moyens humains, organisationnels et techniques destinés à faire face aux atteintes et aux nuisances mues par un besoin de profit (leur origine est souvent externe, ndlr). Si la sécurité est réglementée par de nombreux textes et normes, ce n'est pas vraiment le cas de la sûreté. On peut aussi parler de cyber-sécurité dès lors que l'on touche aux systèmes d'informations étendus.

dans différentes situations : ingénierie (en amont) et exploitation (en aval), production de masse et production de petits volumes (voire de produits individualisés), industrie manufacturière et industrie de procédés, internalisation et externalisation, production et logistique, etc.

3. Pas de garantie de service sans très haut débit

Si le système cyber-physique (CPS), tel que le nomme les Allemands, est mis en œuvre à grande échelle, une infrastructure permettant l'échange de très gros volumes de données et garantissant leur intégrité, devient un prérequis indispensable. L'amélioration des réseaux de télécommunications existants doit assurer une bande passante suffisante et disponible partout, une fiabilité à toute épreuve, des temps de latence garantis et une qualité de service des exploitants de réseaux irréprochable. L'échange de données entre un centre de contrôle-commande distant et des capteurs, par exemple, ne peut supporter la moindre faille. Cette infrastructure idéale (évidemment présente en Allemagne) doit être accessible aux industriels du pays. Elle doit également être simple, évolutive, sûre (contre le piratage), disponible et abordable économiquement.

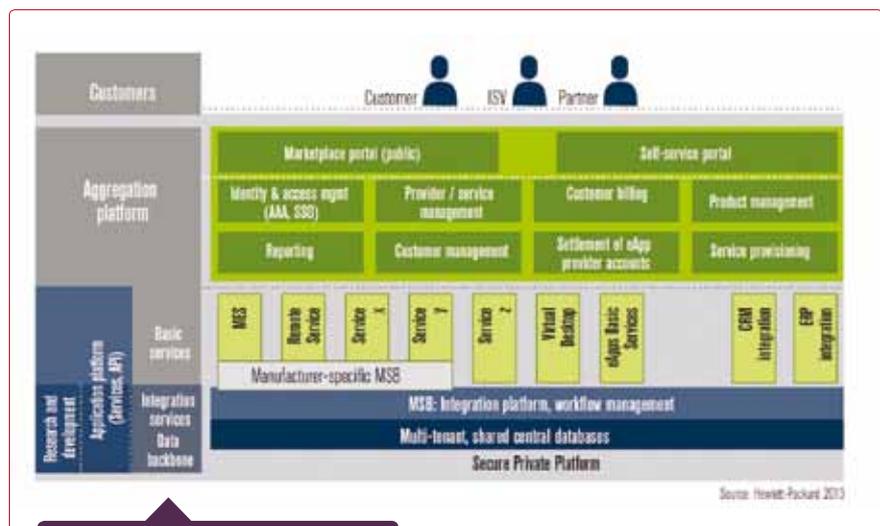
Le groupe de travail juge nécessaire la réalisation d'études concrètes afin d'établir les débits exacts et les temps réels nécessaires aux industriels.

4. Pas de confiance sans sécurité ni sûreté renforcées

Sécurité et sûreté sont essentielles aux installations industrielles. Elles le sont pour les données numériques qui doivent être protégées des abus et des accès non autorisés. L'avènement de l'Indus-

trie 4.0 induira des niveaux d'exigences beaucoup plus élevés car le volume des données critiques échangées entre les composants du système productif augmentera grandement et, dans le même temps, le nombre d'acteurs impliqués dans la chaîne de valeur sera plus grand et plus varié.

La question de la sécurité et de la sûreté se pose aussi bien à l'intérieur de l'usine qu'à l'extérieur. En effet, un réseau étendu la reliera à ses fournisseurs, à



Architecture CPS plateforme.

SÉCURITÉ-SÛRETÉ : LES 8 COMMANDEMENTS

1. La stratégie de sécurité et de sûreté doit évoluer au cours du temps,
2. Les échanges d'informations doivent être protégés au niveau du processus de fabrication, des composants, de l'échange des données inter-sites, etc.,
3. La stratégie consistera d'abord à améliorer la sécurité des installations actuelles, susceptibles de rester en service pendant un temps considérable encore avant de basculer en 4.0,
4. Il est impératif de développer des solutions conviviales adaptées aux besoins des utilisateurs afin d'en faciliter l'adoption par le plus grand nombre,
5. Le rapport coût-efficacité des mesures de sécurité et de sûreté doit être étudié en comparaison du coût de l'arrêt brutal d'une unité de production en prenant en compte les coûts directs (pertes d'exploitation) et les coûts indirects (manque à gagner, indemnisation de clients, etc.),
6. La lutte contre le piratage est évidente, d'autant plus que des « *assaillants* » pourront accéder aux savoir-faire de l'entreprise puisque des pans entiers des connaissances seront numérisés,
7. Tous les salariés devront être impliqués aux problèmes de sécurité-sûreté : les opérateurs de machines comme les informaticiens, les ingénieurs, etc.,
8. Des informations sur la santé des salariés seront disponibles dans le cadre d'Industrie 4.0, notamment via les systèmes de protection du personnel. Ce sujet, particulièrement sensible, nécessitera un renforcement de la protection des données individuelles.

des ressources informatiques déportées, etc. Ce réseau étendu soulève de nouveaux problèmes à résoudre à cause des risques potentiels plus forts. Il ne sera pas possible de mettre en œuvre l'Industrie 4.0 sans que les industriels ne prennent en compte l'approche globale de la problématique sécurité-sûreté. Et il faudra considérer l'impact des mesures de sûreté sur la sécurité et vice-versa.

5. Pas d'Industrie 4.0 sans nouvelle conception et organisation du travail

Quel sera l'impact de l'Industrie 4.0 sur le nouvel environnement du travail ? Quelles seront les responsabilités des entreprises ? Comment le monde du travail devra répondre à des changements profonds ? Dans un avenir caractérisé par l'automatisation croissante et des systèmes de contrôle renforcés, comment pourrons-nous assurer des emplois sûrs et équitables ? Des réponses à ces questions dépendra la mobilisation des talents.

En effet, les efforts d'innovation ne peuvent pas être concentrés exclusivement sur les défis technologiques. La mission de l'innovation doit prendre aussi en compte une organisation intelligente du travail et les compétences des salariés car ils joueront un rôle clé dans la mise en œuvre des innovations technologiques.

Il est probable que leur rôle va changer considérablement en raison de l'augmentation des plates-formes ouvertes, du travail virtuel et au développement des interactions homme-machine et homme-système. Il y aura forcément des répercussions sur la réglementation du travail et la vie privée des gens. L'impact se fera sentir également hors de l'entreprise.

Il est donc recommandé de vérifier l'impact sur le travail, de fournir des lignes directrices, de promouvoir des approches de l'organisation du travail novatrices (participatif ?) et généraliser l'apprentissage continu (dialogue régulier entre les partenaires sociaux) tout en partageant les connaissances entre les parties prenantes, à l'intérieur et à l'extérieur, des entreprises, aux niveaux national et international.

6. Pas d'Industrie 4.0 sans renouvellement des formations

L'Industrie 4.0 impactera le contenu des formations initiales et continues car elle touchera significativement différents métiers pour deux raisons. Tout d'abord, les procédés de fabrication traditionnels caractérisés par une division très claire du travail seront désormais intégrés dans une nouvelle structure organisationnelle et opérationnelle où les prises de décision et de coordination seront décentralisées.

Ensuite, il sera nécessaire d'organiser et de coordonner les interactions entre les machines virtuelles et réelles, les systèmes de contrôle de la centrale et des systèmes de gestion de production.

Parmi les recommandations du groupe de travail Industrie 4.0, on note la création d'un corpus des meilleures pratiques, la promotion d'approches transversales de

l'organisation du travail et la modélisation de l'interaction entre les mondes réel et numérique (descriptions formelles et méthodologiques).

7. Pas d'Industrie 4.0 sans évolution réglementaire

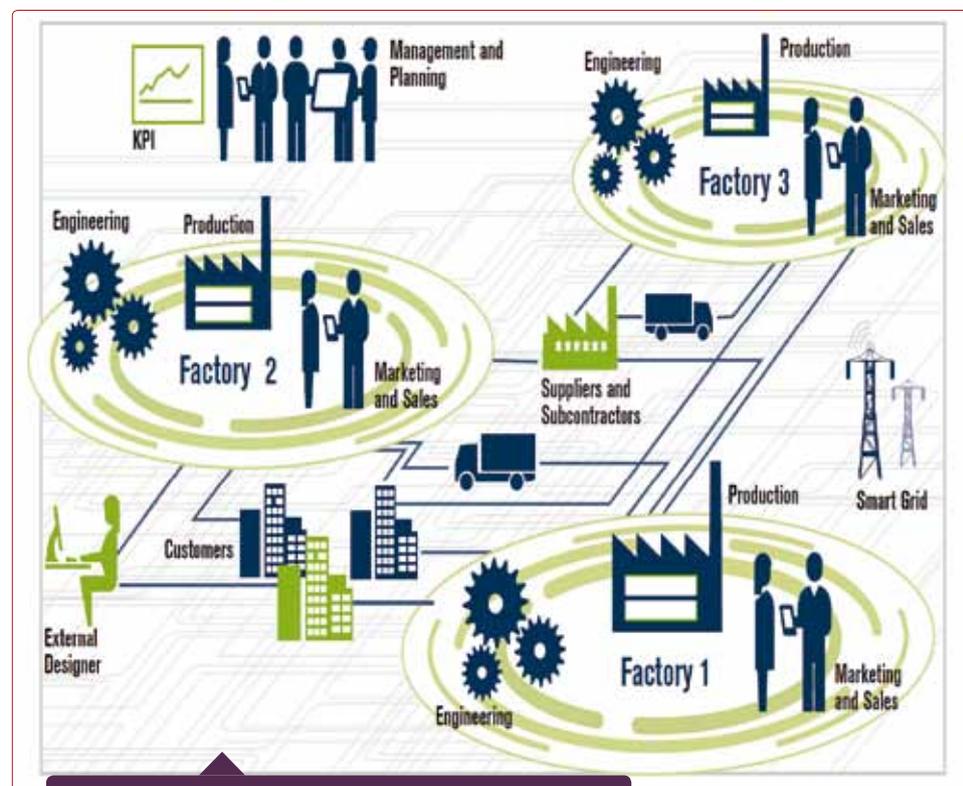
Comme toute innovation technologique de rupture, les nouveaux procédés de fabrication se trouveront confrontés à un cadre réglementaire existant inadapté, au moins en partie.

La protection des données de l'entreprise sera impactée : les données seront générées et transmises de manière autonome par des machines intelligentes et ces

breux marchés émergents, l'utilisation, la vente, l'importation et l'exportation de produits de chiffrement ne sont pas autorisés. L'expédition des technologies de cryptage est autorisée en Europe mais elles peuvent être à double usage, et donc sous le coup de restrictions. Les solutions seront donc réglementaires, techniques et politiques.

8. Pas d'efficacité sans optimisation des ressources

L'industrie manufacturière consomme des matières premières et de l'énergie dont les coûts s'élèvent de façon exponentielle. Des risques sur l'environne-



Maillage horizontal de communication inter-entreprise.

données traverseront inévitablement les frontières de l'entreprise.

Des conséquences sont à prévoir sur la manipulation des données personnelles : la législation impose des restrictions, en particulier dans les échanges avec les pays où les normes de protection des données sont inférieures à celles observées en Europe. Des contraintes nouvelles sont à prévoir.

Enfin, des restrictions commerciales apparaîtront inévitablement. Dans de nom-

ment existant aussi. L'Industrie 4.0 devra faire sienne la sécurisation de l'approvisionnement en matières premières et en énergie. Cela passera d'abord par la baisse de leur consommation globale. Les ressources humaines et financières doivent être prises en compte aussi. Les changements à mener dans les processus de fabrication, de conception et d'installation s'appuieront sur les indicateurs clés de performance afin d'évaluer l'efficacité, la productivité et le respect de l'environnement. ▲

Les États-Unis se préparent à la « smart » industrie

L'industrie américaine est en mouvement avec un pied dans la 4^e révolution industrielle. Capacité de rebondir et maîtrise des technologies de l'information sont les atouts maîtres de ce pays, qui reste encore la première puissance économique mondiale.

Les États-Unis forment la première puissance industrielle mondiale depuis la fin du XIX^e siècle avec en valeur 1 545,4 milliards de dollars (chiffre d'affaires cumulé de l'industrie). Cependant, les parts de marchés de son industrie ont tendance à reculer et ils ne sont plus que le troisième exportateur de produits manufacturés derrière l'Allemagne et la Chine (selon COE-Rexecode).

Deux grandes régions composent l'industrie américaine. La Rust Belt dans les États du Nord-Est où se sont développées les industries de la première révolution industrielle (sidérurgie, textile, transports), puis de la deuxième (automobile, pétrochimie). Elle a été frappée par la désindustrialisation dans les années 1970 mais garde toujours une place prépondérante, notamment dans l'automobile, une industrie en reconversion. L'aubaine des gaz non conventionnels attire d'importants investissements dans les industries chimiques et pétrochimiques, dont le raffinage.

La Sun Belt au Sud et à l'Ouest, plus récente, est fondée en grande partie sur les nouvelles technologies et les industries de pointe. Aujourd'hui, l'accent est mis sur les industries vertes.

La modernisation industrielle est en marche

Les États-Unis tirent leur puissance dans leur capacité à rebondir et à innover. Ils seraient prêts à investir près de 2 milliards de dollars dans la modernisation de

l'industrie pour accélérer l'innovation et préparer la migration vers la 4^e révolution industrielle, afin d'adapter la production à la demande spécifique du client et revenir au tout premier plan mondial d'exportateur de produits manufacturés. Même si l'industrie a régressé à un niveau de 12 % du PIB et que le nombre d'emplois supprimés avoisine 7 millions sur les dernières années, la stratégie américaine est claire pour une modernisation et une reconversion des industries.



Matthieu Lassalle, directeur général de Rockwell Automation France.

Pour cela, les entreprises vont rapidement migrer vers la Smart-Industrie. Cela leur permettra d'être plus flexibles, plus agiles, plus efficaces, plus sûres et surtout moins polluantes afin de mieux répondre aux demandes des clients et s'adapter rapidement à leurs besoins.

Les États-Unis sont armés pour entamer cette révolution qui a déjà démarré chez certains.

Le haut niveau de compétences des universités, parmi les meilleures du monde, fournit un nombre important de personnel très qualifié, et ce personnel a plutôt tendance à rester sur le territoire américain par patriotisme (ou protectionnisme). De plus, ils possèdent un état d'esprit conquérant, novateur et, surtout, une très grande réactivité face à la concurrence mondiale. Enfin l'industrie américaine, tout comme le pays tout entier, possède un avantage sur d'autres nations : une inébranlable confiance en soi. Et il y a de quoi.

Maîtrise des technologies de l'information : un atout majeur

La maîtrise des nouvelles technologies (avec des entreprises qui, dans leur majorité, sont des leaders mondiaux tels que Cisco, Microsoft, IBM, Apple, Oracle...) va leur permettre de prendre de l'avance dans les infrastructures de réseaux et la gestion des informations qui sont les postes clés de la Smart-Industrie. Aujourd'hui, quelques industriels s'inscrivent parfaitement dans cette démarche d'innovation technologique qui relie la production à l'ensemble de l'entreprise. Leurs innovations permettent aux clients de bénéficier des premiers avantages de la Smart-Industrie et leur donnent un avantage certain sur leurs concurrents.

En conclusion, l'industrie américaine est en mouvement, prête à plonger dans la quatrième révolution industrielle. Certains ont déjà franchi le pas, grâce notamment à une politique d'investissements financiers importants avec des capitaux publics et privés, des compétences issues des meilleures universités, et des technologies fournies par des constructeurs leader mondiaux dans leur domaine. ▲

Les bénéfices de l'Industrie 4.0 à portée de main

Le constat est posé : les briques technologiques existent déjà pour faire la 4e révolution industrielle et la direction à suivre pour y parvenir est connue. L'Allemagne, qui s'y prépare depuis 2011, a pris le départ officiel de façon ordonnée cette année, les États-Unis aussi mais sans véritable ligne directrice. Et les acteurs français, prendront-ils rendez-vous avec le XXI^e siècle industriel ? Y aller permet de répondre à deux défis structurels majeurs – vieillissement de la population et augmentation continue du prix des ressources – et de prendre un avantage concurrentiel en adaptant les produits aux besoins réels des consommateurs et en produisant agilement.

Adapter l'outil productif au vieillissement de la population active

La quasi-totalité des pays européens ont fini leur transition démographique : 3 personnes sur 10 auront 65 ans et plus en 2050. Et parmi eux, l'Allemagne est en pointe (si l'on peut dire). Face au vieillissement de la population active outre-Rhin – dont l'âge moyen va bientôt dépasser la cinquantaine d'années – il lui fallait agir pour ne pas perdre des pans entiers de son capital industriel. Chez nos voisins, c'est un point déterminant de la démarche Industrie 4.0.

Pour que les quinquagénaires restent compétitifs, on va leur faciliter le travail en automatisant le maximum de tâches, en multipliant les robots de manutention et de fabrication, au cœur du processus productif et à sa périphérie (manipulation des matières premières et des produits finis en bout de chaîne)...

Les lois Hartz, qui instaurent progressivement le départ de l'âge de la retraite à

L'Industrie 4.0 apportera des bénéfices à la fois défensifs et offensifs. Les premiers consistent à adapter son outil productif à des tendances structurelles lourdes, comme le vieillissement de la population active. Les seconds à construire des unités de production les plus compétitives qui soient.

67 ans, poussent également à la transformation radicale des processus productifs en Allemagne. Mais ce que vit ce pays, d'autres le vivront aussi, à plus ou moins longue échéance. Y compris la France...

Optimiser la consommation d'énergie et de matières premières

Faire des économies. C'est un leitmotiv ancien dans l'industrie. Il prend plus d'ampleur aujourd'hui. La raison ? Les ressources, les matières premières en particulier, ne sont pas infinies. À cela s'ajoute la montée du niveau de vie moyen des habitants de pays comme la Chine, le Brésil, la Russie, l'Inde, le Nigéria... Et leurs habitudes de consommation se calent sur celles des Occidentaux. Tendanciellement donc, la balance offre-demande sera de plus en plus déséquilibrée avec une conséquence évidente : le prix des ressources croîtra continûment.

Ce phénomène s'observe sur le terrain : la volatilité des prix s'est accentuée depuis 2005-2006. Elle a d'abord touché l'énergie (pétrole, gaz...) et s'est rapidement propagée aux métaux et surtout aux produits agricoles. Après un effondrement brutal en 2009, les prix des matières premières ont fortement augmenté pendant hiver 2011, puis ont connu une nouvelle hausse durant l'été 2012.

La réponse aux futures pénuries et augmentations de prix passe par l'utilisation parcimonieuse et intelligente des différentes ressources nécessaires à l'industrie : minerais, énergie, sable (on ne le sait pas mais les réserves connues de cette matière diminuent à très grande vitesse), etc.

Aux concepteurs de produits revient donc une grande responsabilité : concevoir des produits plus économes en matière et moins gourmands en énergie



(une innovation de l'intégrateur Phoenix Contact permet d'économiser 15 % d'énergie rien qu'en optimisant la gestion de la mise en veille de robots de production). L'industrie atteindra ainsi une consommation efficiente. L'utilisation intensive de l'ERP, interconnecté directement aux bourses des matières premières, aura aussi un rôle à jouer pour acheter malin.

Tisser un lien fort avec les clients

Parce qu'il permet de limiter les investissements informatiques des entreprises, le Cloud Computing les « autorise » à dédier une plus grande partie de ce budget aux applications numériques. Parallèlement, grâce à la puissance des outils informatiques et aux réseaux de communication protéiformes, les entreprises peuvent inverser la démarche actuelle du pilotage des applications par le marketing interne par un pilotage plus direct avec les consommateurs, notamment à l'aide des réseaux sociaux.

Certaines entreprises sont déjà dans cette démarche : Nike et New Balance, par exemple, permettent aux consommateurs de personnaliser leur commande par Internet, en choisissant un modèle à partir de plusieurs dizaines d'éléments : semelles, tiges, maintiens latéraux, décorations, couleurs, etc. Nike donne la possibilité d'y accoler aussi ses initiales.

Grâce à ce service, les clients ont des produits personnalisés. De leur côté, Nike et New Balance obtiennent leurs coordonnées, connaissent mieux leurs goûts et grossissent leur marge. En effet, ce type de chaussures est vendu en moyenne 25 % plus cher que les modèles équivalents. Cerise sur le gâteau : ils les fidélisent par la suite grâce à la création d'un lien virtuel, qui peut se transformer en lien affectif.

Restons encore dans le secteur de la chaussure de loisir et de sport. Nike teste des capteurs dans ses chaussures. Aujourd'hui, il s'agit d'un simple outil de mesure de la performance personnelle (distance parcourue, mesure de la tension...) quand on le relie à son smart-

phone. Demain, le capteur communicant sera capable de restituer, aux concepteurs des chaussures, des informations sur leur fréquence d'utilisation, les parties usées le plus rapidement, etc. Et ce qui est possible dans le B-to-C, l'est forcément dans le B-to-B (lire article sur les moissonneuses-batteuses, page 20).

Produire avec agilité

La production agile va plus loin que le concept du juste-à-temps, conçu pour optimiser les stocks. Dans l'Industrie 4.0, le cycle de production sera scénarisé, depuis l'introduction de la matière à trans-

mandes. Le produit personnalisé pourra aussi communiquer avec les machines dans sa phase de réalisation et d'emballage. De son côté, la chaîne logistique prendra en compte les cycles de production, en amont et en aval. Le tout est fondé sur un réseau de communication où machines et composants de machines s'échangent des données en direct. Enfin, le produit fini pourra être tracé.

Quand l'usine numérique sera définitivement opérationnelle, l'industriel résoudra plus facilement l'équation à laquelle il est confronté chaque jour, se demandant combien de matières premières utiliser, com-

LA COMMISSION EUROPÉENNE SOUTIENT L'USINE NUMÉRIQUE

Comment diminuer les risques techniques et manufacturiers dans l'industrie aéronautique alors que la tendance de fond pousse à l'accélération de l'innovation, qui nécessite au contraire le temps de la maturation ? Le projet Arum, chargé d'apporter des réponses à cette question, associe 14 industriels et académiciens européens. Il a pour mission d'améliorer les systèmes de planification et de contrôle pour la fabrication de produits complexes en petites séries, les aménagements intérieurs des avions notamment. L'approche envisagée privilégie la production adaptative, un système d'information de nouvelle génération associant « architecture de services » et gestion des connaissances et de multiples capteurs en lien avec le SI, dont l'une des fonctions servira de système d'alarme avancée pour aider les industriels à réduire les risques tout en accélérant les cadences.



Airbus Allemagne est chef de file de ce projet. Parmi les 14 associés, seule une entreprise est localisée en France, la toulousaine P3 Ingénierie, une filiale du groupe allemand du même nom.

Débuté en septembre 2012, ce projet – intégré à la thématique « usine numérique » du 7^e Programme cadre de recherche et développement européen – s'éteindra en octobre 2015. Il est soutenu par la Commission à hauteur de 8,5 millions d'euros sur un budget global de 11,5 millions.

former jusqu'à l'emballage et le stockage du produit fini. En effet, la production agile est fondée sur des unités flexibles, entièrement automatisées et totalement interconnectées, permettant de passer rapidement de la fabrication d'un produit à un autre et de moduler, en temps réel, les quantités produites en fonction des com-

ment produire (pour tirer profit, au mieux, des fluctuations tarifaires des différentes énergies) et quelles ressources humaines mobiliser. Au final, même si le montant des investissements sera important, la compétitivité sera quasi assurée dans un scénario idéal, en tout cas suffisamment pour satisfaire les industriels. ▲

Le numérique, enjeu majeur pour la compétitivité

Par **Pascal Faure**, Directeur Général de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services (DGCIS)

L'importance du numérique est cruciale pour la compétitivité des entreprises de demain, et leur organisation, leur système de production, leurs marchés, leur capacité d'innovation, seront dans presque tous les métiers largement impactés par le numérique, directement ou indirectement. Lors des assises de l'entrepreneuriat organisées par le président de la République les entreprises et experts ont convergé sur ces constats.

Le numérique structure les entreprises de demain

L'environnement dans lequel les entreprises vont évoluer à l'horizon 2020-2030 sera influencé par plusieurs facteurs qui forgent le cadre de ce qu'on s'accorde à nommer industries et services intelligents. Parmi ces facteurs, figurent la diffusion des nouvelles technologies, en particulier numériques, au sein de la société, le travail coopératif, la montée en puissance de productions micro-industrielles, à la demande et décentralisées, rendue possible par les systèmes de production avancés. Cela implique que les entreprises de demain seront polymorphes, transgressant les frontières classiques entre services et industries, valeur ajoutée matérielle et immatérielle, entreprise technologique et non-technologique. Qu'elles seront collaboratives et travailleront en réseau avec l'ensemble de leur écosystème (autres entreprises, acteurs institutionnels et sociaux, clients, salariés, citoyens) pour concevoir, produire et distribuer leurs produits/services - et dans certains cas leur propre énergie. Qu'elles utiliseront les nouvelles technologies, notamment numérique, comme levier de création de valeur, même lorsque l'entreprise n'évolue

pas dans le secteur technologique. Qu'elles seront hyper-connectées aux données externes et s'ouvriront pour innover dans une optique de co-création de valeur avec les acteurs de leur écosystème. Qu'elles seront organisées

suivant une forme moins hiérarchique et moins centralisée, sous l'effet des multiples « *intelligences connectées* » et des exigences de coopération des nouvelles générations. Ces modifications sont à l'œuvre dès maintenant.



Pascal Faure

- ▶ Né le 1^{er} février 1963 à Nice. Ingénieur général des Mines.
- ▶ Diplômé de l'École polytechnique et de l'École nationale supérieure des télécommunications de Paris.
- ▶ Débute sa carrière dans la R&D aux Laboratoires Bell, chez Apple Computer puis au Centre national d'études des télécommunications (France Télécom/CNET). Travaille dans divers ministères de 1992 à 1995. De 2007 à 2012, successivement nommé Vice-président du Conseil Général des Technologies de l'Information (CGTI), Vice-président du Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies (CGIET) et Vice-président du Conseil Général de l'Economie, de l'Industrie, de l'Energie et des Technologies (CGEIET).

L'impératif de productivité, l'accès aux marchés extérieurs

L'emploi, première priorité des Français et du gouvernement, dépend de la croissance qui, elle-même, dépend ultimement de la compétitivité des entreprises et de leur productivité. Celle-ci doit donc être renforcée, tant dans l'industrie que dans les services, ces derniers étant de plus en plus entrecroisés avec l'industrie, et, par leur poids dans l'économie, majeurs, alors que les efforts de productivité et d'efficacité y ont été en moyenne plus faibles en France que dans l'industrie jusqu'à une période récente. Simultanément, dans un monde qui continue à croître - mais où la croissance est en moyenne plus forte que sur le territoire national -, il importe d'orienter les outils numériques en faveur d'innovations, de produits, qui s'adaptent aux marchés à croissance rapide et forte valeur ajoutée, où qu'ils soient dans le monde. Cela passe, pour les grandes structures, par des réorganisations de chaînes de valeur, qui conservent dans toute la mesure du possible au territoire national une part importante de valeur ajoutée et d'emplois. Les études convergent pour laisser espérer des gains de productivité significatifs en l'espèce.

Cette recherche de productivité et de performance dans l'industrie manufacturière et les services liés ou à forte valeur ajoutée, passe par l'intégration et l'exploitation des technologies du logiciel et du numérique dans les processus de production (capteurs, logiciels de pilotage, simulation, robotique, objets connectés...). A titre d'exemple, afin d'engendrer des gains de productivité significatifs, l'informatique dans les usines doit gagner en agilité, en intégration, en automatisation et en intelligence entre les multiples fonctions qui la composent. Pour ce faire, beaucoup de solutions développées pour l'informatique de gestion peuvent être adaptées à l'informatique de production (PLM, CAO...). Il s'agit donc de développer et adapter les technologies numériques aux besoins industriels, ainsi que des projets de démonstrateurs pilotes. Cela concerne également la logistique, le marketing, la promotion des marques, la gestion intelligente et conquérante de la propriété intellectuelle.

Agir à tous les niveaux, individuel, entreprises, filières, sphère publique

Le numérique permet à fois des gains de productivité au niveau des individus : outils de conception accès aux grandes bases de données (« *big data* »), gains de coût grâce au cloud computing en prenant garde à sa sécurisation. Il les permet au niveau des ateliers, des services opérationnels des entreprises, de leur R&D. Il les permet aussi entre entreprises : il s'agit également de dématérialiser les échanges, au niveau de la conception ou de la chaîne d'approvisionnement, entre les différents maillons de la chaîne de valeur d'une filière, ce qui permet d'importants gains de compétitivité de l'ensemble de la filière, et requiert de ne pas agir isolément mais selon la logique de filières et de grands projets que l'Etat, pour sa part en liaison étroite avec les entreprises et les fédérations professionnelles, a mis en œuvre.

A titre d'exemple, des projets ambitieux portés par les acteurs importants d'une filière, à l'image de la plateforme Boost-Aéro pour l'aéronautique, ont fait la preuve de leur efficacité économique et de la facilité de mise en œuvre par les PME. Les filières économiques portées par quelques grands donneurs d'ordre avec plusieurs niveaux de sous-traitance sont particulièrement adaptées pour répéter cette démarche d'utilisation d'outils partagés tout au long de la chaîne de valeur.

De telles démarches sont aussi à l'œuvre pour la sphère publique, et sont nécessaires pour la rendre plus réactive, alléger les coûts administratifs pour les entreprises, et réduire plus globalement le coût de la sphère publique, à qualité de service au moins égale. Une mutation en profondeur de l'environnement administratif et réglementaire des entreprises est nécessaire pour se préparer à demain.

Il s'agit de permettre l'accès à un espace numérique unifié, de simplifier l'environnement et les procédures administratives et les rendre plus interactives, d'auditer les délais de réponse des administrations, de mettre à disposition des entreprises, via les « *open data* » les informations et données publiques

qui leur faciliteront le développement de produits et de services, et plus généralement leur développement tant national qu'international (et sur ce dernier point de mieux déployer les réseaux mondiaux publics d'intelligence économique au profit des entreprises françaises).

Il s'agit aussi de favoriser l'innovation dans le logiciel, ce à quoi servent et le programme d'investissement d'avenir, et les pôles de compétitivité dédiés à cet effet. De développer les fablabs. De développer les usages des TIC et la robotisation dans les PME, en s'appuyant sur les structures professionnelles.

Il s'agit d'avoir de plus en plus recours, dans le domaine de l'enseignement et de l'enseignement supérieur, aux progrès que permet le numérique. Les cours massivement en ligne (MOOCs), sont à cet égard un enjeu considérable pour l'avenir : la compétitivité des entreprises dépend ultimement de la qualité des femmes et des hommes qui les composent, de leurs formations initiales et tout au long de la vie.

Il s'agit également d'avoir de meilleurs accès aux capitaux nécessaires. A cet égard on voit par exemple se développer des formes de notation des PME fondées sur des flux de données plus importants que ce dont disposent d'ordinaire les banques, et qui sont de nature à améliorer la nécessaire confiance. Mais aussi, des opérations comme le financement de masse (*crowdfunding*).

Il s'agit enfin de développer la culture scientifique et technique, cruciale pour disposer, sur le très long terme, d'une population bien au fait de l'état de l'art dans les diverses disciplines, d'en mesurer les possibilités et d'en réduire les risques, et capable ainsi de répondre au mieux aux attentes et besoins futurs.

Cet enjeu nous concerne tous. La démarche est engagée par le ministre du redressement productif, au travers du soutien à un plan industriel relatif à l'usine du futur. Il doit mobiliser chacun comme l'une des voies majeures pour aider le pays à sortir de la crise, et renforcer la confiance qu'il doit avoir en son avenir. ▲

**Les adhérents du Gimélec prêts à vous accompagner
pour construire « L'usine connectée » :**

A PUISSANCE 3	LEGRAND
ABB	LENZE
ALSTOM POWER	LEUZE ELECTRONIC
BALLUFF	MAFELEC
BAUMER	MECALECTRO
BECKHOFF AUTOMATION	MOTEURS JM SAS
BIHL + WIEDEMANN	MOTEURS LEROY-SOMER
BOSCH REXROTH	NIDEC ASI
CONNECTION PROTECTION	OMRON ELECTRONICS
CONTRINEX FRANCE	PARKER HANNIFIN FRANCE
CROUZET AUTOMATISMES	PEPPERL+FUCHS
DANFOSS	PHOENIX CONTACT
DATALOGIC AUTOMATION	PILZ FRANCE ELECTRONIC
di-soric	ROCKWELL AUTOMATION
DURAG France	SCHMERSAL
EATON	SCHNEIDER ELECTRIC
ECOFIT	SETNAG
EFD Induction	SEW-USOCOME
EMERSON PROCESS MANAGEMENT SAS	SICK
ENDRESS+HAUSER	SIEMENS
ENERDIS	SIREM
FESTO	SOCOMECH
FUJI ELECTRIC EUROPE	SOURIAU
FUJI ELECTRIC FRANCE	SPIE
GE Energy Power Conversion France	TDK-LAMBDA FRANCE
GEFRAN France	TECUMSEH EUROPE
HACH LANGE FRANCE	TRANSRAIL BV
IFM ELECTRONIC	TURCK-BANNER
INEO ENGINEERING & SYSTEMS	VEGA Technique
INVENSYS SYSTEMS FRANCE S.A.S.	VINCI Energies
ITEIS	WAGO CONTACT
JEUMONT Electric	WEG FRANCE
KEB	WEIDMULLER
Kraus & Naimer	WIELAND ELECTRIC
KROHNE	YOKOGAWA FRANCE S.A.S.
LANGLADE & PICARD	



Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés
11 -17 rue de l'Amiral Hamelin - 75783 Paris cedex 16 - France - Tél. : +33 (0)1 45 05 71 36
www.gimelec.fr - [@Gimelec.fr](https://twitter.com/Gimelec)