

Industrie 4.0

Les leviers de la transformation



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

Les entreprises du Gimélec emploient 69 000 personnes en France où elles génèrent un chiffre d'affaires de plus de 12 milliards d'euros dont 57 % à l'export. Face aux objectifs ambitieux de la France et de l'Europe en matière d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO₂, les entreprises membres du Gimélec s'inscrivent dans une politique éco-industrielle durable en proposant des produits, équipements, systèmes et solutions pour :

- la gestion de la performance énergétique des bâtiments neufs et existants, y compris les Data Centers,
- le développement des réseaux sécurisés et intelligents (*smart grids*) facilitant la maîtrise de la production et de la demande d'énergie ainsi que la diffusion de nouveaux usages,
- le déploiement du véhicule électrique,
- le raccordement au réseau électrique et la gestion des nouvelles sources d'énergies décarbonées,
- le pilotage sécurisé et énergétiquement efficace des procédés industriels.



Industrie 4.0 **Les leviers de la transformation**

En 2013, le Gimélec publiait la brochure « *Industrie 4.0 : L'usine connectée* » pour sensibiliser les acteurs aux enjeux technologiques, économiques et culturels de cette 4^{ème} révolution industrielle. Une dynamique est enclenchée pour mener à bien cette transformation, qui s'inscrit dans les priorités de la politique industrielle française, comme en témoigne le plan « *Usine du Futur* » de la Nouvelle France Industrielle.

La numérisation est un axe majeur pour maintenir, voire renforcer, la compétitivité des industriels français. Encore faut-il s'appuyer sur un diagnostic précis de l'appareil productif. C'est pourquoi le Gimélec a réalisé, en partenariat avec la DGCIS (Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services) et le SYMOP (Syndicat des machines et technologies de production), une étude pour identifier les leviers de la transformation. En s'appuyant sur ces résultats, les adhérents du Gimélec formulent des recommandations pour la modernisation de l'outil de production français. Ils ont le plaisir de vous les livrer dans ce second ouvrage.

Bonne lecture.

Frédéric Abbal
Président du Gimélec

Sommaire

Industrie 4.0, un an après

4# Industrie 4.0, un an après

Vincent Jauneau, Président du Comité de Marché Industrie du Gimélec, nous détaille le travail mené depuis un an et les points positifs.

6# Le temps de l'action

Rappel des « épisodes précédents », Industrie 4.0 lancée par l'Allemagne en 2011, en 2013 le plan Usine du Futur à la française.

8# Moderniser l'appareil productif français, enjeu clé de la ré-industrialisation

Par Max Blanchet - Senior Partner - Roland Berger Strategy Consultants.
Pour comprendre la situation de l'industrie française, il nous faut regarder ce qui est arrivé à « *l'usine France* » ces dernières années.

Les leviers de la transformation

12# Domaines et Technologies

L'appareil productif a été segmenté en six domaines avec pour chacun d'eux les technologies clés pour demain.

16# Le numérique au service de la conception de ligne. Evolution de la maturité

20# Fabrication additive et prototypage

22# Usine virtuelle

24# Le Pilotage-contrôle. Evolution de la maturité

28# Pilotage à distance

30# Capteurs de conditions

32# GPAO partagée

34# Opérations de fabrication. Evolution de la maturité

38# Cobotique et robots intelligents

40# Fabrication directe

42# Services. Evolution de la maturité

Les enjeux de la modernisation

44# Maintenance prédictive

46# Technologies Transverses.
Evolution de la maturité

48# Internet Industriel des Objets

50# Cloud Computing

52# Big Data Analytics

54# Energy Harvesting

56# Organisation du travail. Evolution de la maturité

58# Quatre Secteurs clés et leurs enjeux de modernisation
Les priorités de modernisation sont différenciées par secteur.

59# Secteur Métallurgie

60# Secteur Automobile

62# Secteur Aéronautique

64# Secteur Agroalimentaire

66# Direction l'Usine du Futur

Interview de Tahar Melliti - Conseiller chargé de l'innovation et de la nouvelle économie industrielle au cabinet du ministre de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique. En charge notamment du plan Usine du Futur.

70# La nécessité d'intégrer des compétences nouvelles

Industrie 4.0, ce sont de nouveaux champs disciplinaires tant pour les acteurs de l'offre d'outils de production que pour les industriels. Avec la vision de Frédéric Saint Geours, Président du GFI et de l'UIMM.

72# Quelle place pour l'Homme dans l'industrie de demain ?

Par Michel Roche, Conseiller en performance industrielle et en management. Ex-Directeur des opérations monde produits composants et semi-finis du groupe Michelin.

74# La Cybersécurité s'organise

Interview de Stéphane Meynet, chef de projet Systèmes Industriels à l'ANSSI.

76# Challenges et opportunités des Systèmes
Cyber-Physiques

Par Karine Gosse, directrice du CEA List.

Leur vision de demain

78# Engager l'entreprise dans l'ère du numérique,
un mouvement irrésistible

Par Geoffroy Roux de Bézieux.

80# L'usine du futur, enjeu décisif pour la compétitivité

Le regard de Louis Gallois, président de La Fabrique de l'industrie.

Industrie 4.0, un an après

Il y a un an, nous posions, avec Vincent Jauneau le président du secteur Industrie du Gimélec, les bases d'Industrie 4.0.

En douze mois beaucoup de travail, et de point positifs.

SMART-INDUSTRIES : L'an dernier, le concept de 4.0 semblait un peu un OVNI dans le monde feutré de l'Industrie. Le message est passé ? Les industriels – offre et demande – s'y intéressent ?

VINCENT JAUNEAU : En un an nous avons bien avancé, que ce soit la presse, les syndicats... mais aussi le gouvernement avec le plan 34 - Usine du Futur - a été un relais fort à toutes ces actions.

Aujourd'hui, le terme est connu même si il reste des efforts de pédagogie à fournir. Ce qui est logique pour un sujet aussi vaste, chacun ayant sa propre interprétation de ce qu'est Industrie 4.0.

logique, Industrie 4.0, et c'est lors de sauts technologiques qu'il est possible de retrouver de la compétitivité, sachons en profiter.

L'étude met en avant trois grandes familles d'entreprises. D'abord, les grandes entreprises françaises internationales, ensuite les sites de production de taille moyenne et enfin les constructeurs de machines.

Si les grands industriels maîtrisent, savent appréhender et utiliser 4.0, il n'en va pas de même des autres entreprises.

Or, les grands industriels investissent 80 % de leur budget hors de France,

“*En France le poids de l'Industrie est passé de 18 % à 12 % du PIB, il est impossible de se satisfaire d'un tel résultat.*”

SMART-INDUSTRIES : Vous venez de publier une étude réalisée par Roland Berger, menée par le Gimélec en partenariat avec le Symop et la DGCIS sur l'adaptation de l'appareil productif français, quel était l'objectif ?

VINCENT JAUNEAU : En France le poids de l'Industrie est passé de 18 % à 12 % du PIB, il est impossible de se satisfaire d'un tel résultat, nous devons nous battre contre la désindustrialisation. Nous arrivons à une étape clé techno-

c'est une problématique et une opportunité. Ils investissent majoritairement auprès de constructeurs de machines et se retrouvent face à deux solutions, soit ils trouvent la réponse à leurs besoins sur le territoire français, soit ils vont chercher ailleurs leurs machines. C'est ici que se situe l'opportunité. Ces grands industriels allant dans tous les cas vers le 4.0, ils se tournent vers les constructeurs de machines pour vérifier que ces derniers sont « compatibles Industrie 4.0 », si la réponse est favorable, ils travailleront avec eux et les amèneront à

l'international. C'est la clé du changement.

Des marchés peuvent s'ouvrir aux constructeurs de machines, mais il est impératif qu'ils s'approprient Industrie 4.0.

SMART-INDUSTRIES : Il est donc possible d'avoir une industrie forte, sans avoir une offre nationale d'outil de production forte ?

VINCENT JAUNEAU : L'Usine du Futur ne consiste pas à produire des automates ou des variateurs français. Les principaux acteurs sont déjà en place, les usines de production des grands industriels utilisent déjà des marques reconnues, dont ils sont satisfaits. Le challenge n'est pas là, il est de créer le maximum de constructeurs de machines puissants, c'est ce qui nous pénalise face à l'Allemagne, aux Etats-Unis, à l'Asie...

SMART-INDUSTRIES : Ne faudrait-il pas changer notre culture d'investissement ? Et quelles sont les préconisations ?

VINCENT JAUNEAU : Il y a trois critères importants : la culture d'investissement, le bond technologique et le support à amener aux entreprises.

En Allemagne ou en Italie, les PME ont le support des länder ou des districts, ce sont les syndicats aux Etats-Unis. Globalement, il s'agit de portails qui aident les PME à accéder à des investissements de communication, de marketing, d'export...

Il faut créer, en France, une structure d'aides aux PME. Elle doit être dynamique, réactive et traiter à la fois les problèmes financiers, techniques et d'export. Pour y parvenir, rien ne sert de copier nos voisins allemands ou italiens, leur modèle n'est pas adapté, à l'inverse

le modèle américain des syndicats est intéressant, mais leurs syndicats sont forts.

C'est pourquoi, nous devons arriver à créer une intersyndicale qui puisse répondre à ces demandes des PME, pour les aider à se développer et devenir des ETI exportatrices.

“ Il y a trois critères importants : la culture d'investissement, le bond technologique et le support à amener aux entreprises. ”

SMART-INDUSTRIES : Derrière Industrie 4.0, on dit souvent que les Allemands ne font que de la technique et oublient l'aspect social, c'est vrai ? Y a-t-il une réelle différence ?

VINCENT JAUNEAU : Il n'y a pas de différence, quel que soit le nom utilisé, nous sommes sur un schéma d'industrialisation, d'un côté le monde virtuel et de l'autre le monde réel. Il faut créer le lien entre les deux mondes, sans tout casser, faire fonctionner l'ensemble en cohérence.

SMART-INDUSTRIES : L'étude ne donne pas beaucoup de chiffres, notamment en terme d'investissements ?

VINCENT JAUNEAU : Notre étude fait un état des lieux et, surtout, propose des pistes de solutions comme le portail d'entrée pour aider les industriels sur les aspects financier, technologique, export... Comment va-t-on faire ? Qui va gérer les budgets ? A nos dirigeants de décider si l'idée est intéressante, et doit être développée.

“ D'un côté le monde virtuel et de l'autre le monde réel. Il faut créer le lien entre les deux, sans tout casser. ”



Vincent Jauneau

► Président du Comité de Marché Industrie du Gimélec.

SMART-INDUSTRIES : En attendant, comment doivent faire les industriels pour passer à Industrie 4.0. C'est parfois l'œuf et la poule, l'offre n'existant pas en totalité. Ils doivent démarrer par quoi ?

VINCENT JAUNEAU : A un moment donné, il est souhaitable d'avoir une architecture unifiée du côté de la production, mais

également de côté du bureau d'études, l'aspect hétérogène complexifie les choses.

Le travail est important pour lier les parties matérielles et logicielles associées, pour maîtriser le lien virtuel-réel et avoir un lien fonctionnant avec l'ensemble des outils. Les industriels peuvent d'ores et déjà travailler dans ce sens.

De plus, en dehors de l'aspect technique, ils doivent dès à présent favoriser le dialogue entre les bureaux d'études et de production pour travailler de manière intégrée. Les services travaillent déjà ensemble, mais souvent ils ne sont pas assez intégrés. ▲

Le temps de l'action

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... La révolution ne sera pas technologique mais le mode de production qui en résultera sera en totale rupture avec l'existant. Là se trouve la vraie révolution.

Un paragraphe tiré de notre précédent document, et qui, un an après, sonne encore plus juste. L'année dernière les termes que nous utilisions avaient choqué certaines personnes, les termes d'Industrie 4.0, de Smart-Industries, d'Usine connectée faisaient encore peur, difficile de matérialiser et, pour quelques-uns, de comprendre ce qui pouvait ne ressembler qu'à un « coup » marketing.

Douze mois plus tard, un changement radical est intervenu, les industriels prennent conscience que le monde de l'industrie ne sera plus le même dans quelques années. Assaillis par les termes de BigData Analytics, de Cloud, d'Internet Industriel des objets, de cobotique, de calcul haute performance... ils sentent bien, y compris les PME, que la production de demain n'aura plus rien à voir avec celle qu'ils connaissent depuis plusieurs années.

Cette prise de conscience a été accompagnée par les Pouvoirs Publics qui ont bien compris que la déferlante numérique

n'allait pas s'arrêter aux portes des entreprises. Après l'Industrie 4.0 lancée par l'Allemagne en 2011, il y a eu en 2013 le plan Usine du Futur à la française.

Aujourd'hui, les choses se précisent notamment avec un rapport sur ce sujet mené par la DGCIS, le Gimélec et le Symop et confié à Roland Berger, un document qui classe les technologies en fonction de leur maturité, mais surtout donne des pistes de réflexions et de travail.

Nous avons souhaité, non pas reprendre ce rapport, mais être en cohérence avec lui. Autant ne pas réinventer la roue.



LES TROIS POINTS 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.

RÉVOLUTIONS INDUSTRIELLES

La 1^{re} révolution industrielle

La première révolution industrielle repose sur le charbon, la métallurgie, et la machine à vapeur. Fin du XVIII^e siècle - début du XIX^e siècle. C'est la première machine à tisser mécanique avec moteur hydraulique ; le premier essai d'une locomotive à vapeur (1804)...

La 2^e révolution industrielle

La deuxième, démarrée à la fin du XIX^e siècle, trouve ses fondements dans l'électricité, la mécanique et le pétrole. On peut ajouter les moyens de communication télégraphe et téléphone. Parallèlement, Frederick Taylor invente, en 1911, le taylorisme, et Henry Ford instaure le montage à la chaîne.

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. Avec l'électronique, c'est l'arrivée du transistor et du microprocesseur. Deux produits ont impacté la production industrielle : l'automate et le robot. 1968 pour l'un, 1959 pour l'autre, les deux par des Américains (Richard Morley, l'automate programmable industriel (API), et l'imagination de Georges Devol et le visionnaire Joseph Engelberger).

La 4^e révolution industrielle

La dernière révolution industrielle prend forme sous nos yeux. On peut la résumer par la numérisation poussée à l'extrême des échanges économiques et productifs. On peut rajouter le Cloud, le Big Data Analytics, l'Internet Industriel des Objets... Avec l'industrie 4.0, 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 communiquer avec les machines dans sa phase de réalisation. La rupture consiste à façonner des unités de production autonomes, intelligentes. Les capacités de décision, l'intelligence des processus de production vont être distribuées...

Alors où en sommes nous ?

Si l'on parle de quatrième révolution, il faut plutôt l'envisager en terme d'évolution pour les dix ans à venir. Personne ne passera du 3.0 au 4.0 en une seule opération. Cette migration sera rapide, mais se fera par étape. Les spécialistes allemands, à l'origine du concept, estiment que nous en sommes à 3.8, et qu'il faudra une dizaine d'années pour avoir des usines 100 % Industrie 4.0.

En un an, nous avons vu beaucoup de spécialistes des automatismes, de la robotique... dialoguer avec leurs confrères venant du monde du numérique. Les premiers découvrant les SMAC – Social, Mobility, Analytics et Cloud – quatre lettres qui permettent d'envisager cette transformation numérique indispensable, des outils récents sans lesquels l'Industrie 4.0 serait restée au niveau du concept.

De même le terme d'Internet des objets, maillon entre éléments matériels, une sorte de réseau social des éléments de production, commence à être compris. Cet Internet des objets, c'est l'extension d'internet dans le monde physique. Un Internet des

objets sur le lieu de production mais également un lien, sorte de cordon ombilical numérique, avec l'Internet des objets du produit final, et donc un lien persistant entre l'objet et son lieu de production (d'où le terme d'Internet Industriel des Objets que nous utilisons pour le différencier de son grand frère). Restera à faire communiquer tous ces objets entre eux, mais nous n'en sommes qu'à 3.8 !!!

Il reste l'aspect organisationnel. Une telle mutation va impacter l'organisation de l'entreprise. Comme devront le faire les logiciels, les BE devront parler, échanger, se comprendre avec les méthodes et avec la production pour travailler de manière « *intégrée* ». Les silos devront exploser, et il faudra accompagner ce changement.

Dans cette réorganisation, la place de l'homme est centrale, le transformer en assistant d'ordinateurs ou de tablettes, serait le meilleur moyen de parvenir à un échec. Et si 4.0 doit être la référence dans une dizaine d'années de toute entreprise de production, encore faudra-t-il trouver le personnel formé, et là le bas blesse.

Peu de formation « *Systèmes* » qui intègre l'ensemble des composantes de l'Industrie 4.0

En conclusion, persuadez-vous que 4.0, la Smart-Industrie, n'est pas une option. Si technologiquement c'est décoiffant, perturbant, le train est là, il passe, vous devez le prendre.

Les leviers de la mutation

Alors quels sont les leviers de cette mutation ? Comment s'y prendre ? Quelle technologie mettre en place ? C'est l'objet de cette édition.

Comme nous l'avons évoqué plus haut, pour en parler nous nous sommes appuyés sur la toute dernière étude commanditée par la DGCIS, le Gimélec et le Symop auprès du cabinet Roland Berger. Une étude qui a certes établi un diagnostic, mais a surtout eu pour volonté de privilégier des recommandations, des actions à mener pour que l'Industrie France ne rate pas ce virage technologique et humain. Un enjeu primordial, notamment pour notre tissu de PME. ▲

Moderniser l'appareil productif français, enjeu clé de la ré-industrialisation

par **Max Blanchet, Senior Partner, Roland Berger Strategy Consultants.**

A la faveur du débat qui anime les médias et l'agenda politique depuis quelques années sur les thèmes « industrie », « compétitivité », « coût du travail », « redressement productif », le diagnostic sur la situation de l'industrie française s'est précisé, et diffusé. Il est admis aujourd'hui que la France est prise dans un « cercle vicieux » de désindustrialisation, dû à des raisons qui sont de notre fait, et aujourd'hui bien connues : manque de spécialisation sectorielle, effort insuffisant dans l'innovation technologique, lourdeur et instabilité législative, fiscale et administrative etc.

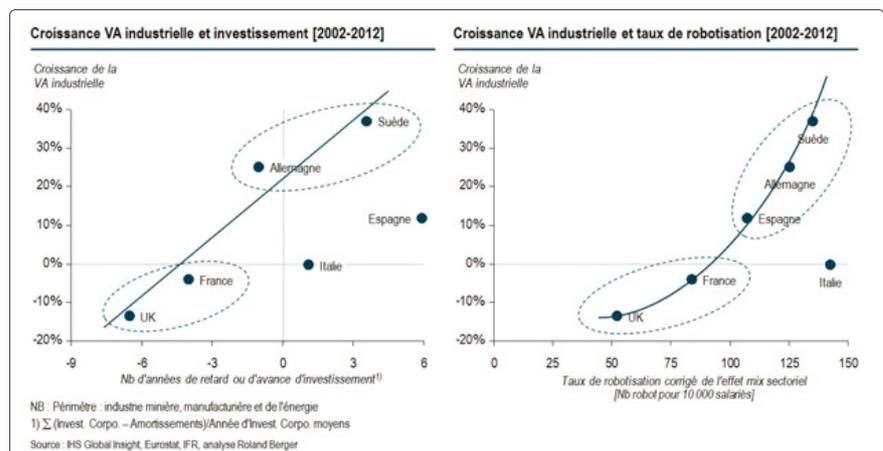
En revanche, on s'intéresse moins aux dynamiques qui concernent l'appareil productif lui-même. Or il est au cœur de la problématique de la désindustrialisation à laquelle nous sommes confrontés aujourd'hui. D'abord parce que la baisse des volumes et de la valeur ajoutée industrielle a pour conséquence directe une obsolescence accélérée de l'outil de production. Mais aussi et surtout car il est impossible de regagner en compétitivité sans un appareil productif qui permette de se positionner sur des produits complexes et à forte valeur ajoutée. Pour comprendre la situation de l'industrie française, il nous faut regarder ce qui est arrivé à « l'usine France » ces dernières années.

Un sous-investissement important

On le sait, l'industrie française perd du terrain par rapport à ses concurrents tant en volume qu'en valeur, dégradant sa rentabilité. Sur 2000 – 2012 les performances des industries française et allemande sont opposées tant en volume (-14 % vs. +19 %) qu'en valeur ajoutée (-3,5 % vs. +28 %)¹. Cette baisse des volumes et de la valeur ajoutée en France ont entraîné une baisse de la rentabilité industrielle de 11 points (-24 milliards € par an) réduisant d'autant la capacité d'investissement lorsque celle de l'Allemagne augmentait de 78 milliards d'Euro par an². Corolaire

de ce recul des volumes et de la valeur ajoutée du secteur industriel, sa rentabilité s'est nettement dégradée, conduisant à un ajustement des facteurs de production : baisse de l'emploi (-600 000 sur la période³) et de l'investissement. Ces évolutions se sont révélées déterminantes pour la capacité d'investissement des entreprises. Ainsi l'Allemagne a accru sa capacité d'autofinancement d'au moins 78 milliards d'euros par an quand celle de la France a diminué de 24 milliards d'euros par an sur la période 2000-2012.

Cette dégradation de la situation de l'industrie française a eu des conséquences importantes sur l'évolution de l'appareil



Analyse de corrélation entre poids de l'industrie et modernité de l'outil.

1. Source : IHS Global Insight, analyse Roland Berger
2. Source : id.
3. Source : Eurostat, analyse Roland Berger

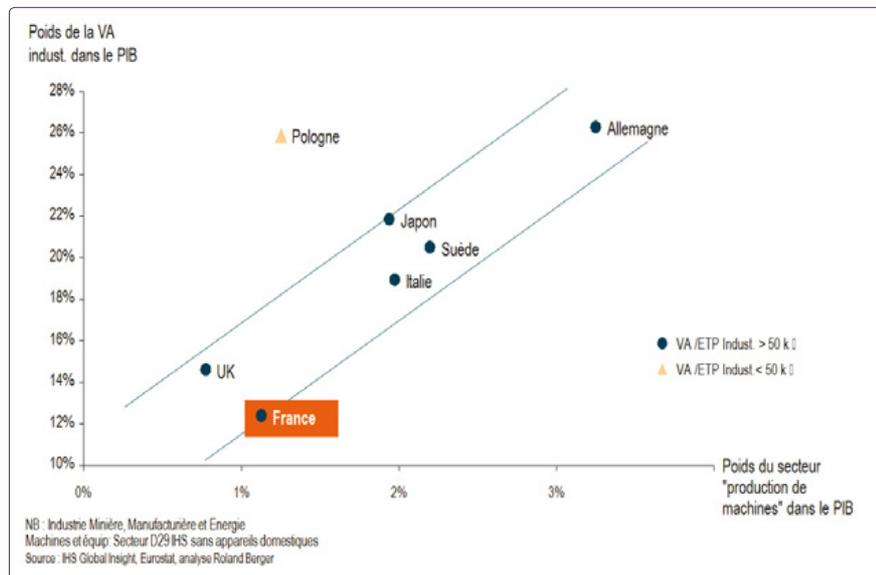
de production industriel lui-même, au premier rang desquelles le sous-investissement. Le capital investi dans l'industrie française a ainsi baissé de 44 milliards sur les 12 dernières années. La baisse du niveau d'investissement (-5 milliards d'Euros par an) et du volume de production (-14 % de 2000 à 2012) ont conduit à une contraction et à un vieillissement du parc de machines de production en France. La baisse des volumes de production s'est accompagnée d'un plus grand nombre de défaillances d'entreprises industrielles (entre 1993 et 2004, l'industrie, hors industrie agroalimentaire, a connu un taux de défaillance moyen de 2,7 % contre 2,4 % pour l'ensemble de l'économie) et de la mise « sous bâche » ou au rebut de machines. Parallèlement, le moindre investissement a conduit à faire rentrer moins de machines nouvelles dans le parc.

Ces deux phénomènes conjugués ont conduit à une contraction du parc de machines français (hors machines de process, d'emballage, de convoyage, de tests et de mesure) de près de 7 % passant d'environ 414 000 machines à 388 000 de 1998 à 2013. Cette contraction s'est accompagnée d'un vieillissement du parc de machines français passant de 17,5 ans d'âge moyen à 19 ans de 1998 à 2013 malgré une pénétration accrue des machines à commande numérique. A titre d'illustration, les machines de plus de 35 ans sont passées de 39 000 en 1998 à 63 000 en



Max Blanchet

- ▶ Senior Partner
- ▶ Spécialiste Industrie, Max Blanchet bénéficie de plus de 20 ans d'expérience dans le conseil de Direction Générale auprès de grands groupes industriels et de la fonction publique.
- ▶ Ses champs d'activités couvrent les problématiques d'amélioration de l'efficacité opérationnelle, l'innovation, la technologie et les organisations dans les secteurs Automobile, Aéronautique, Industrie équipementière et de process.
- ▶ Auteur du livre « *L'industrie France décomplexée* », Max Blanchet a mené et publié de nombreuses réflexions sur l'industrie française et sa ré-industrialisation.



Corrélation entre poids de l'industrie et poids du secteur machines et équipements de production.

2013 quand celles de moins de 10 ans se sont réduites de 129 000 à 109 000 unités.

Du côté Outre-Rhin, étonnamment, l'âge moyen du parc allemand a évolué dans des proportions équivalentes à la France. Cependant, ce phénomène de vieillissement observable dans les deux pays ne s'explique pas par les mêmes facteurs. En Allemagne, l'augmentation des volumes de production industrielle (+33 % entre 1998 et 2012) a été plus rapide que l'investissement en machines de production, ce qui a conduit les industriels à prolonger la durée de vie de machines anciennes pour faire face à la demande, tout en augmentant le nombre de machines récentes. Quand de 1998 à 2013, l'Allemagne a augmenté son parc de machines de moins de 15 ans de 85 000 unités, la France a réduit

le sien de 10 000 unités. La France dispose ainsi de 5 fois moins de robots installés que l'Allemagne : 34 000 robots industriels dans l'Hexagone contre respectivement 162 000 et 61 000 en Allemagne et en Italie en 2012. Rapportés à la population active du secteur de l'industrie, corrigés de l'effet mix sectoriel⁴, le taux de robotisation de l'industrie française creuse près de 50 % de retard sur l'Allemagne.

Industrie forte et outil de production moderne

Cette situation est particulièrement problématique car il n'existe pas d'industrie forte sans outil de production moderne. En effet on est en mesure d'établir aujourd'hui deux corrélations fortes. La première est qu'il n'y a pas d'industrie dynamique sans outil moderne : les pays qui ont une industrie avec un taux de croissance significatif ont également un outil de production davantage « moderne » (que ce soit en terme d'effort d'investissement, ou en termes de robotisation). La seconde est qu'il n'y a pas d'industrie forte sans offre d'outil de production forte : taux d'industrialisation (poids de l'industrie dans le PIB) et poids du secteur de machines et équipements de production sont corrélés.

Compte tenu de ce diagnostic, l'enjeu est aujourd'hui d'organiser progressivement le passage de l'« usine France » vers l'usine du futur. Qu'est-ce que cela signifie concrètement ? Le schéma page 19 précise, pour les différents domaines de l'appareil productif, quels sont les technologies et les savoir-faire correspondant à différents niveaux de maturité. Il permet ainsi de prioriser les principaux enjeux de modernisation de l'appareil productif français.

En route vers le 4.0

Le passage vers l'industrie 4.0 concerne l'ensemble des domaines de l'appareil productif : à la fois l'amélioration de la conception produit/process, mais également le pilotage et le contrôle de l'appareil de production, les opérations de fabrication, les services liés à l'appareil de production et enfin l'organisation du travail.



Les priorités de modernisation répondent aux enjeux stratégiques de compétitivité de chacun des secteurs industriels.

Toutefois une priorité de modernisation partagée pour l'ensemble de l'industrie ressort nettement : la conception produit/process, de par l'importance des enjeux qu'elle recouvre. Dans un contexte de compétition mondiale, la réalisation de produits différenciés aux meilleurs coûts

forcement des capacités de pilotage centralisé, traçabilité allant jusqu'à intégrer des capteurs de condition...), davantage d'interconnexion avec l'amont et l'aval de l'usine et entre machines au sein de l'usine, et plus d'intelligence embarquée (machines auto-correctrices...). C'est pourquoi, cette modernisation et évolution progressive vers l'industrie 4.0 nécessite que les industriels comme les fabricants de machines s'approprient de

“ L'enjeu est aujourd'hui d'organiser progressivement le passage de l'« usine France » vers l'usine du futur. ”

est une préoccupation majeure qui nécessite une conception et une optimisation conjointe du produit et du process (minimisant les pertes de matières, les rebuts, les temps morts, l'énergie utilisée...). De même, la dimension humaine liée à ce domaine explique l'importance que revêtent les opportunités de modernisation qui s'y rattachent (réduction de la pénibilité du travail des opérateurs, maximisation de la valeur ajoutée du facteur travail ...).

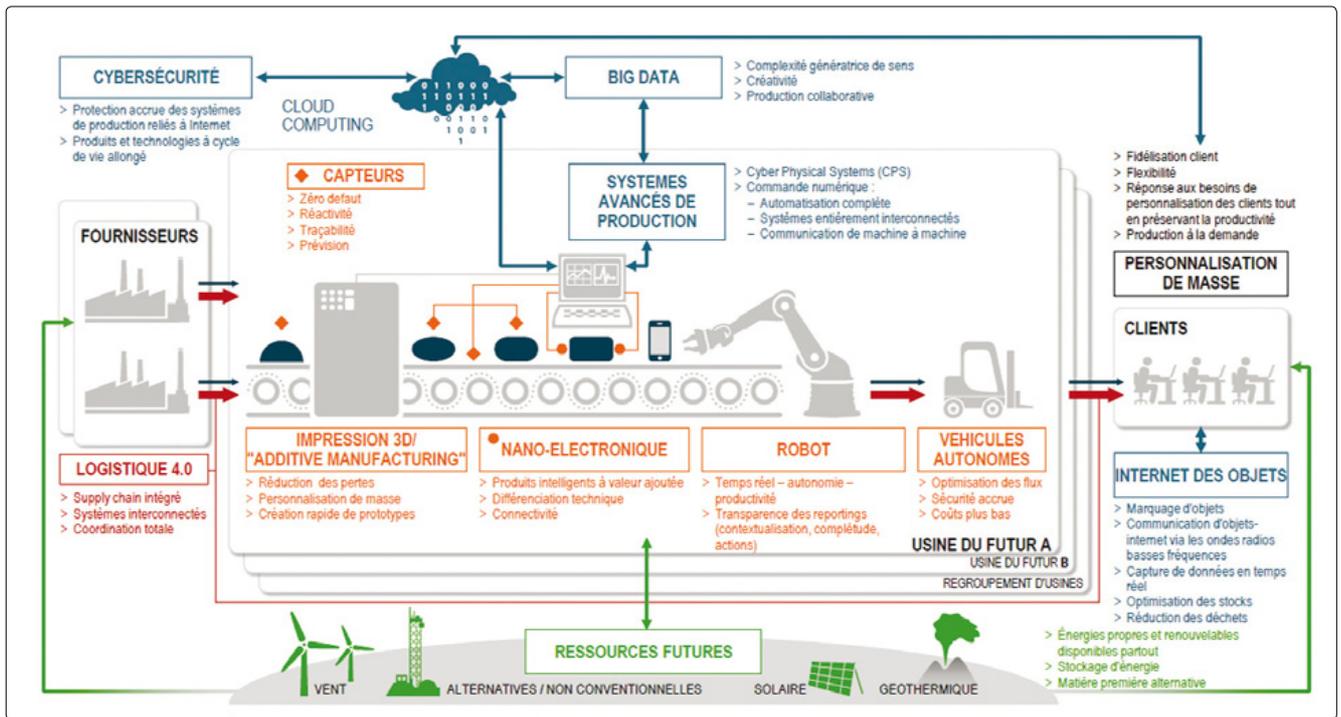
Plus généralement, la mise en œuvre de cette modernisation nécessite une plus grande intégration des différentes composantes de l'outil de production (ren-

nouveaux champs disciplinaires (réseaux, ingénierie système, modélisation, data,...) en complément de la mécanique et de l'électronique.

La place des Pouvoirs Publics

En termes de politique publique, la modernisation de l'appareil productif industriel français implique des efforts à deux niveaux. Tout d'abord une action directement auprès de la demande d'outil de production (les industries), pour créer les conditions d'une relance de l'effort d'investissement productif sur le territoire français, et accompagner cet effort pour

⁴. Les taux de robotisation allemand et italien sont calculés de sorte qu'ils soient comparables avec le taux français. Pour cela, les poids des secteurs (en termes d'employés) de l'Allemagne et de l'Italie sont rapportés à ceux de la France. Ainsi, à structure égale des secteurs industriels, le calcul et la comparaison des taux de robotisation devient possible.



Les évolutions qui vont progressivement conduire à l'émergence de l'Industrie 4.0.

en optimiser l'impact sur la compétitivité. Et par ailleurs une action sur l'offre d'outil de production, pour accompagner la modernisation des différents secteurs industriels avec une offre française d'outil de production adéquate.

L'action en faveur de la modernisation de l'outil de production doit à la fois comporter un volet quantitatif (relance de l'effort d'investissement d'au moins 5 milliards par an, extension de l'amortissement accéléré), et qualitatif (accompagnement pour faciliter l'adoption des approches

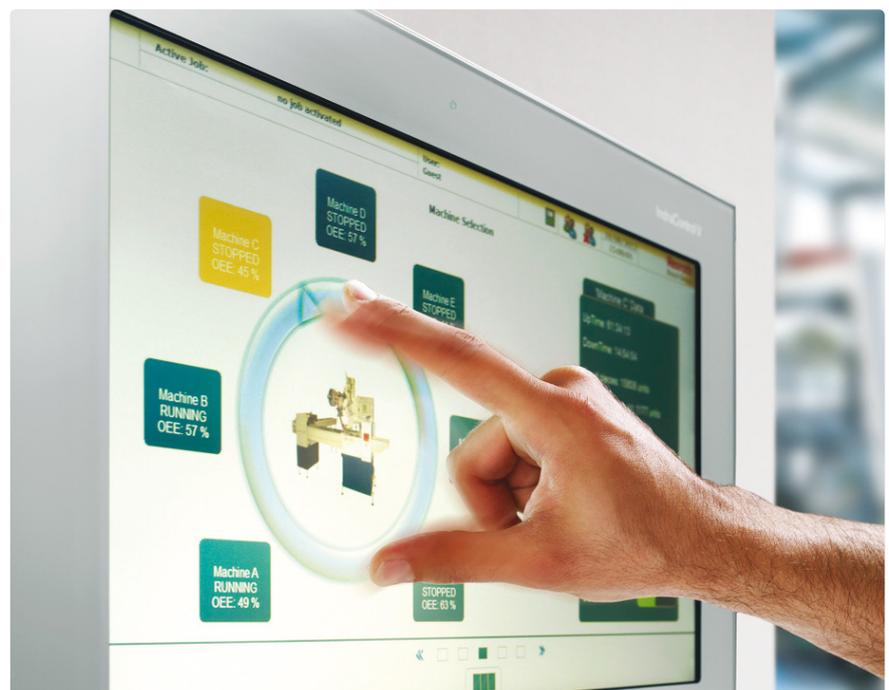
Concernant l'action sur l'offre d'outil de production, il s'agit de maximiser l'impact de l'effort d'investissement sur l'outil de production et de créer les conditions d'une modernisation efficace dans la durée à travers l'émergence d'une filière « outil de production » robuste, qui pourrait prendre la forme d'une plate-forme sectorielle regroupant les différents acteurs couvrant l'ensemble de l'offre outil de production, depuis la conception au service. Un fonds de modernisation de l'outil de produc-

tion pourrait être créé afin de favoriser la consolidation des acteurs et leur développement. Il faut également inscrire dans les feuilles de route des pôles de compétitivité concernés des programmes d'innovation sur le domaine, et également adapter les cartes de formation professionnelles à ces nouveaux besoins.

Le déclin industriel n'est pas une fatalité, les opportunités sont encore devant nous. ▲

Il n'existe pas d'industrie forte sans outil de production moderne.

modernes de production par des diagnostics flash, d'une offre de conseil pour la modernisation des PME, etc.). La mise en place de démonstrateurs d'usines du futur est aussi clé pour disséminer les nouvelles pratiques. L'appui à l'export des PMI industrielles par secteur doit être renforcé (portail internet de la filière, appui à la participation à des salons, accompagnement,...).





Les leviers de la transformation

“

Ce n'est plus le fait de transformer le papier en fichier informatique qui est l'enjeu, mais bel et bien la virtualisation qui est la capacité, dans un environnement numérique, de faire se rencontrer deux choses difficiles : le monde du possible avec le monde du faisable.

Pascal Dalloz,
Directeur Général adjoint
de Dassault Systèmes

Les postes proposés, dans l'Usine du Futur, vont évoluer, l'opérateur aura une fonction de pilote, responsabilisante, qui va donner du « sens » à son travail, ce qui n'était pas forcément le cas auparavant.

Michel Rollier,
Ancien gérant de Michelin,
Président de la PFA

Nous préparons, en France, notre référentiel industriel qui sera exporté dans l'ensemble de nos usines mondiales. Dans l'usine du futur, il faut utiliser le potentiel de la réalité virtuelle tout en aidant l'opérateur dans son cadre de travail.

Jose Vicente de Los Mozos,
Membre du Comité exécutif de Renault
en charge du Manufacturing Monde

L'usine du futur rebat les cartes de la compétitivité mondiale. Elle change les avantages comparatifs des différents pays qui ne vont plus se battre sur le coût du travail de l'ouvrier peu qualifié, mais sur la capacité à attirer des emplois qualifiés. La France a sa carte à jouer dans ce domaine, et peut revenir dans la course.

Louis Gallois,
Ancien dirigeant d'EADS
et ancien Commissaire général à l'Industrie

”
#13

Domaines et Technologies

L'appareil productif a été segmenté en six domaines et pour chacun d'eux, trois niveaux de maturités ont été identifiés. Puis nous avons choisi de développer 12 technologies clés pour demain.

« Si l'obsolescence de l'appareil productif français s'est accrue au cours des dernières années, il existe des opportunités de modernisation pouvant guider son renouvellement futur. Celles-ci ne se limitent pas à un progrès technologique de l'appareil productif au sens strict. La modernisation de l'appareil productif passe également par de nouveaux processus, l'acquisition de nouvelles compétences, l'adaptation de l'organisation du travail, de nouvelles façons de piloter la production », tels sont les propos introductifs de l'Etude commanditée par le Gimélec, le Symop et la DGCIS et réalisée par Roland Berger, sur laquelle nous nous sommes appuyés pour cette partie destinée à vous donner les clés pour devenir vous aussi 4.0.

Pour être précis, l'étude de l'appareil productif a été segmentée en cinq domaines et pour chacun d'eux, trois niveaux de maturités ont été identifiés. Pour notre part, nous avons rajouté un dernier domaine, que nous avons nommé « *transverse* », qui intègre les aspects Cloud Computing, BigData Analytics ou I2dO.

Trois niveaux de maturité

La maturité de chacun des domaines renvoie à deux notions. La première correspond à la maîtrise des technologies et des savoir-faire propres à un certain niveau de maturité alors que la seconde correspond à leur degré de diffusion plus ou moins large dans l'industrie.

Dans le Schéma, sorte de nomenclature pour arriver au 4.0, on retrouve trois niveaux de maturité :

– Niveau de maturité disponible : diffusion généralisée de techniques, technologies et méthodes (ex. : spécialisation des tâches de production) largement maîtrisée.

– Niveau de maturité émergente : diffusion limitée des techniques, technologies, méthodes (ex. : automatisation de la logistique interne) pour certains encore en phase d'optimisation/développement.

– Niveau de maturité future : diffusé à l'heure actuelle chez quelques entreprises/secteurs précurseurs (ex. : usine du futur) et dont les technologies, techniques et méthodes sont encore en phase de développement pour certaines.

Et Six domaines regroupant les technologies

La conception produit/process est le premier de ces domaines qui recouvre l'ensemble des outils et des services d'ingénierie aidant à la conception de pièces, de produits finis, de process, de lignes de production et d'usines. D'une conception produit et process séparée, ce domaine évolue vers une conception largement modélisée et simulée, et surtout conjointe produit/process. Ainsi, l'usine virtuelle consiste à simuler la production d'un bout à l'autre des chaînes de production, permettant d'anticiper les sources potentielles de surcoût ou de non qualité, de pré-paramétrer les machines et équipements afin de réduire les coûts de mise en service d'un nouveau process ou d'une nouvelle ligne.

Le deuxième domaine de l'appareil productif est constitué par le pilotage et

le contrôle de l'appareil de production. Trois critères de performance ont été distingués pour mieux préciser les opportunités de modernisation qui lui sont propres : le système de commande (de la commande numérique à l'interconnexion avec l'amont et l'aval de l'usine, en passant par la planification et le pilotage centralisé de la ligne de production), la traçabilité (des capteurs de conditions de la production en passant par le suivi unitaire des pièces produit) et la gestion des flux physiques (de l'automatisation de la logistique interne à l'interconnexion logistique externe).

Les opérations de fabrication (cœur de la transformation) ont été identifiées comme le troisième domaine caractérisant l'appareil productif. Là aussi, deux critères de performance ont été distingués : la précision (de l'optimisation des techniques existantes, comme l'usinage grande vitesse ou la découpe laser, aux machines intelligentes auto-correctrices) et la flexibilité (des machines multi-supports multi-opérations à la fabrication additive).

Le quatrième domaine recouvre les services liés à l'appareil de production. On y trouve les services d'intégration des différents composants de la ligne de production et les services d'installation et de maintenance des machines de production.

Le cinquième domaine, nouveau venu, regroupe les technologies numériques à l'origine du bouleversement de l'Industrie. Sans ces nouvelles technologies, l'Industrie 4.0 n'existerait pas. Difficile d'imaginer une telle révolution, sans les apports du Cloud Computing que ce soit pour stocker des données, travailler en collaboration avec des postes distants ou l'utilisation de logiciels en mode SaaS ; sans le BigData Analytics qui améliorera la production via une maintenance prédictive.



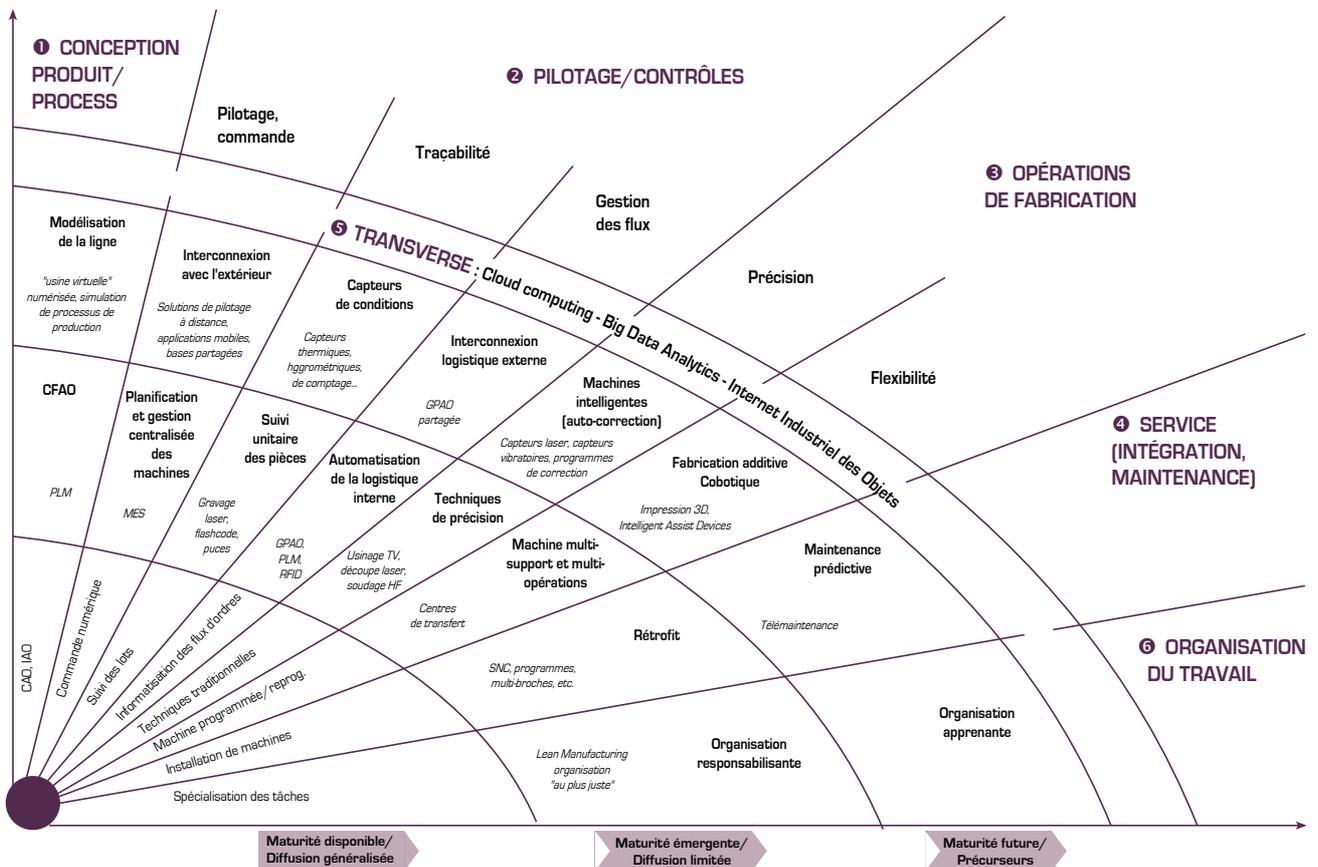
tive à distance ou permettra d'augmenter son efficacité énergétique ; sans l'Internet Industriel des Objets, ces cyber-objets autonomes aptes à prendre des décisions locales.

Enfin, l'organisation du travail constitue le dernier domaine caractérisant l'outil

de production. La mise en place d'organisations responsabilisant les opérateurs ou d'organisations apprenantes sont des exemples de pratiques comprises dans ce segment.

Au global, au niveau de maturité future correspond une plus grande intégration

des différents domaines de l'outil de production. Cette intégration passe par une approche produit/process globale, davantage d'interconnexions entre les machines, l'amont et l'aval de l'usine, mais aussi entre le produit en cours de fabrication et l'outil de production lui-même pour que celui-ci s'ajuste. ▲



Principales technologies, techniques et méthodes associées à chaque niveau de maturité. Source : Adapté de l'étude Roland Berger.

Le numérique au service de la conception

Modélisation 3D, simulation numérique, PLM, réalité virtuelle, ingénierie simultanée, travail collaboratif... autant de bouleversements techniques et méthodologiques qui secouent les industriels depuis 20 ans. Le numérique s'installe progressivement, mais définitivement dans les bureaux d'études des entreprises manufacturières.

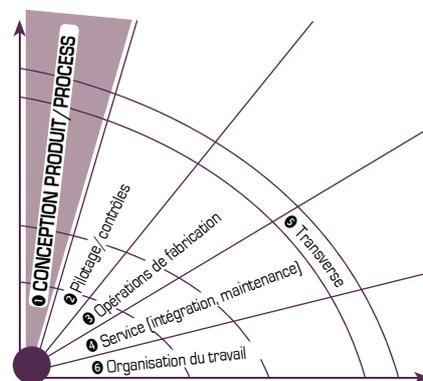
Depuis près de trente ans, les technologies numériques se sont implantées dans les bureaux d'études chargés de concevoir et d'industrialiser les produits de notre quotidien. La planche à dessin a cédé la place aux logiciels de DAO, de CAO 3D, puis de réalité virtuelle. Les tests physiques validant les choix techniques ont été complétés, voire remplacés, par des solutions de calcul numérique. Celles-ci simulent virtuellement le comportement de produits toujours plus complexes en tenant compte de leur environnement naturel. Enfin, les industriels ont entamé depuis quelques années une démarche globale de progrès reposant sur le PLM (*Product Lifecycle Management*). Une organisation qui s'appuie sur ces logiciels, mais surtout sur la formalisation des processus classiques de l'industrie manufacturière. Son objectif est de centraliser, de tracer et de distribuer à chaque maillon de cette nouvelle chaîne industrielle qui se numérise toutes les données techniques liées à la vie des produits et aux projets qui entourent leur développement. Vision idyllique ? Non, plutôt théorique et très inégalement partagée selon les secteurs d'activité et la taille des entreprises observées.

De l'idée au produit fini : un process séquentiel

Impossible, ou presque, aujourd'hui pour un bureau d'études de se passer d'une solution de CAO 3D pour modéliser les produits qui nous entourent au quotidien. PME et grands groupes ont adopté ces solutions que ce soit pour concevoir une carafe ou un avion complet. Les éditeurs de logiciels proposent une gamme de solutions adaptées à ces différentes activités et aux publics visés. Certains logiciels sont même gratuits et permettent à des TPE ou des artisans de s'équiper à moindre frais.

Pascal Daloz, Directeur Général Adjoint, en charge de la stratégie et du développement du marché de Dassault Systèmes

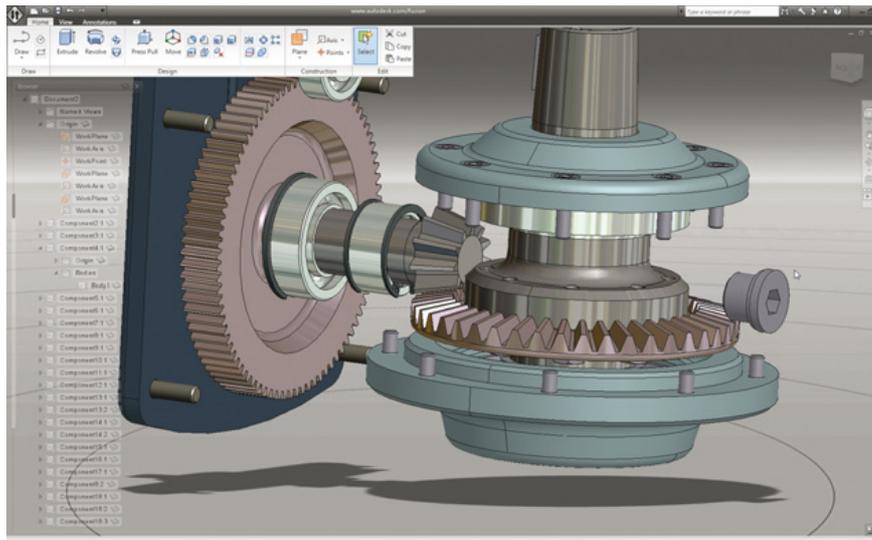
« Il sera possible demain de réintégrer en France des productions délocalisées hier. Cela sera possible notamment en combinant de nouveaux procédés de production, comme l'impression 3D, et leur simulation numérique. Dans ce cadre, on peut imaginer la fabrication comme un service. Dans le domaine aéronautique par exemple, on pourrait réintroduire dans le cycle de construction des avions, la fabrication de petites séries de pièces, en matériaux composites, avec un rapport qualité/coût plus intéressant qu'une pièce équivalente issue d'un pays low-cost. »



Le produit défini par son modèle CAO et sa description technique est ensuite confié au département ingénierie chargé d'évaluer son comportement vis-à-vis de son environnement physique. Ces spécialistes utilisent des logiciels d'analyse pour calculer sa résistance mécanique, son comportement dynamique et, selon le produit, ses performances aérodynamiques, acoustiques, sa résistance aux perturbations électromagnétiques, ses

capacités de refroidissement, etc. Des essais physiques peuvent également être réalisés pour valider le numérique, tester un domaine non simulé, ou satisfaire des exigences réglementaires. Résultats d'analyses et recommandations sont ensuite remontés aux concepteurs pour modifier le projet en conséquence. Ingénierie et études travaillent ainsi en itérations successives pour aboutir à un produit conforme aux attentes.

Pour gérer les évolutions successives du design et les modèles 2D et 3D qui en découlent, le bureau d'études consciencieux utilise une GDT (Gestion des Données Techniques) ou en anglais un PDM (Pro-



Hugues Drion, Directeur de la division Manufacturing d'Autodesk France

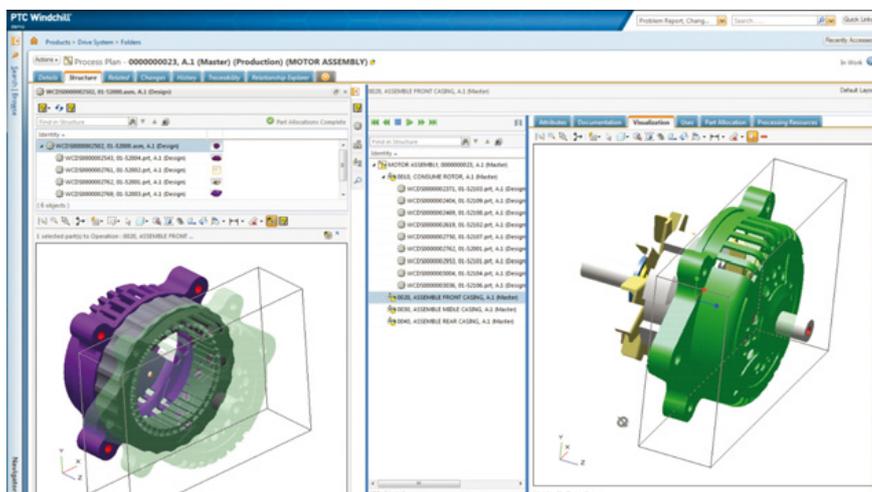


« Avec l'usine numérique 4.0, nous changeons littéralement de paradigme. C'est l'intégration des technologies internet, des besoins de mobilité tout au long de la chaîne de valeur, et l'exigence de produits et d'usines propres. Si l'on associe ces différents critères, on se trouve au cœur d'un bouleversement profond de la manière de concevoir et de produire des objets. Une vue d'ensemble qui exige de repenser le produit lui-même, sa maintenance, l'usine, l'optimisation des machines de production, le bâtiment dans lequel se trouve la ligne, etc. »

Ce rapide tableau de la démarche traditionnelle pour concevoir et industrialiser un produit montre immédiatement une lacune : le travail est séquentiel, très segmenté entre chaque spécialité et les multiples itérations pour aboutir après essais-erreurs au « bon produit » allongent les temps de développement. Or, le monde consommériste n'attend pas ! Il lui faut toujours plus de produits nouveaux. Le time to market est devenu l'enjeu fondamental de tout constructeur. Cela implique un décloisonnement des départements internes des entreprises,

duct Data Management). Ce logiciel de gestion archive les données techniques (modèles CAO, dossiers techniques, spécifications, etc.) et automatise certaines tâches comme les processus de modification par exemple.

Le projet figé est enfin confié au département des méthodes, ou à un sous-traitant chargé de l'industrialisation. Sa tâche ? Déterminer la gamme de fabrication idéale en tenant compte des ressources industrielles et financières disponibles. Une démarche qui nécessite également des allers-retours avec le département des études afin d'obtenir le meilleur compromis entre innovation conceptuelle et facilité de fabrication du produit. La définition numérique 2D ou 3D des pièces est transférée dans un logiciel de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) pour établir l'enchaînement et le détail des opérations d'usinage qu'il s'agisse de fraisage, tournage, poinçonnage, découpe, soudage, etc. Dans le cas de pièces plastiques, ou de pièces embouties par



exemple, l'outil de FAO est employé pour concevoir l'outil d'injection ou d'emboutissage. La technologie numérique sous-jacente reste globalement la même : tous les usieurs utilisent aujourd'hui des logiciels de FAO leur permettant de programmer hors-ligne leurs machines-outils et cellules robotisées. Soit pour fabriquer directement la pièce, soit l'outillage ou le moule permettant sa production en de multiples exemplaires.

un travail collaboratif resserré avec les partenaires extérieurs et la parallélisation des tâches d'ingénierie.

Intégration, simulation et collaboration

La majorité des industriels qui conçoivent et développent des produits adopte aujourd'hui cette démarche d'ingénierie simultanée. Une démarche ancienne

certes, mais qui implique une forte remise en cause de l'organisation des entreprises. Revoir ses processus, les formaliser, travailler ensemble, partager l'information tout au long des projets de développement... constituent de minis révolutions pour des entités habituées à un fonctionnement en silos quasi étanches.

Le PLM et ses outils logiciels ont cependant favorisé cette remise en cause des méthodes pour gagner en terme de productivité, de souplesse, d'innovation, bref de performance. Les industriels utilisent désormais des solutions intégrant sous un même environnement logiciel : la CAO, la GDT, la FAO, la production de notices techniques, etc. Et puis, la CAO

Par ailleurs, les récents développements en matière de CAO 3D permettent à tous de trouver l'outil correspondant à ses besoins. Modélisation paramétrique et modélisation directe se complètent désormais au sein des principaux logiciels du marché. Ces technologies réconcilient production de masse et personnalisation à la demande, conception structurée puissante et rapidité de modification.

L'arrivée sur le marché de solutions moyen de gamme particulièrement performantes a permis à nombre de PME de s'équiper et de pouvoir ainsi travailler avec des donneurs d'ordres exigeant des échanges de données numériques.

plexes, et surtout engager une ingénierie simultanée efficiente.

La gestion de cette maquette numérique est assurée par l'utilisation conjointe de systèmes de GDT étendue qui ont progressivement pris le nom de PLM. Ces solutions de PLM gèrent les configurations de cette maquette numérique, toutes les données techniques qui lui sont liées, mais aussi tous les processus industriels liés au développement d'un produit. PLM et maquette numérique se sont donc généralisés dans les grandes entreprises orientées « *processus* » permettant le co-développement dans un contexte d'entreprise étendue. Ils constituent un support à l'intégration poussée des outils de CAO dans le cadre de la maquette numérique d'un projet. Ils se sont ensuite diffusés vers les sous-traitants travaillant sur des projets d'envergure. Des constructeurs de produits ménagers, de biens de consommation, voire d'équipements industriels adoptent cette organisation PLM. Mais l'effort reste important, tant sur le plan financier que structurel. Si les grandes entreprises sont en cours d'intégration d'un PLM de seconde génération, il reste beaucoup de PME en phase d'étude de ces technologies.

Jacques Bacry, CEO de Keonys

« Beaucoup d'entreprises finalisent leur passage à la 3D en conception/simulation et à en tirer le maximum de profit. Avant l'usine 4.0, une étape intermédiaire devra être franchie : la simulation de systèmes, être capable de modéliser le comportement physique de l'assemblage de sous-systèmes complexes, en prenant en compte le comportement de chaque pièce et leurs interactions. La maîtrise de ce couplage entre le niveau système et le niveau multi-physique est déjà une grosse marche à franchir. »



ne concerne plus seulement la mécanique. Des modules métiers permettent d'aborder l'électricité, l'hydraulique, la climatisation, le style... et même le calcul numérique. On voit ainsi des concepteurs utiliser des outils d'analyse « *simplifiés* » pour faire des choix techniques très tôt dans le processus de conception. Cela facilite largement le dialogue ensuite entre dessinateurs et « *calculeux* », et surtout cela évite des erreurs techniques chronophages.

Les logiciels de conception bénéficient donc de nouvelles fonctions et leurs prix ne cessent de baisser. C'est la possibilité pour les PME de gagner du temps sur leur développement, de maîtriser en interne de nouveaux aspects techniques et d'innover grâce à cela. Et, si elles utilisent des logiciels différents, les standards d'échange permettent une réelle interopérabilité entre outils concurrents ou complémentaires. Il reste des progrès à faire bien sûr, mais on assiste à une convergence des formats de données numériques dans les filières majeures que sont l'automobile et l'aéronautique notamment.

Maquette numérique et PLM

Enfin, la démocratisation de la 3D comme support de conception multi-métiers a progressivement instauré l'idée d'un référentiel géométrique et technique pour tous les intervenants d'un projet. L'industrie automobile et la filière aéronautique travaillent désormais avec ce référentiel baptisé maquette numérique. Un projet comme le Falcon 7X de Dassault Aviation, par exemple, a été entièrement réalisé sur des données numériques centralisées et partagées avec tous les fournisseurs de l'avionneur. Un support collaboratif indispensable pour élaborer des produits com-

Ce qu'il reste à parcourir ?

Demain, comment et à travers quelles technologies seront conçus et développés les produits manufacturés ? Les pistes sont nombreuses et nous n'en citerons que quelques unes.

Première tendance remarquable, les produits se complexifient et intègrent de multiples technologies. Parallèlement, les fabricants standardisent au maximum les sous-systèmes qui les composent

Jean-Camille Uring, directeur Fives Cinetic

« CAO et simulation produit sont déjà bien diffusés dans les entreprises y compris les PME. Elles doivent désormais maîtriser la simulation de leur process pour gagner en flexibilité, et en qualité. Deux paramètres indispensables à leur pérennité. Les solutions existent, elles sont plus accessibles, des partenaires d'intégration sont là pour les aider. A elles de faire les efforts pour revoir leur habitudes et investir pour l'avenir. »

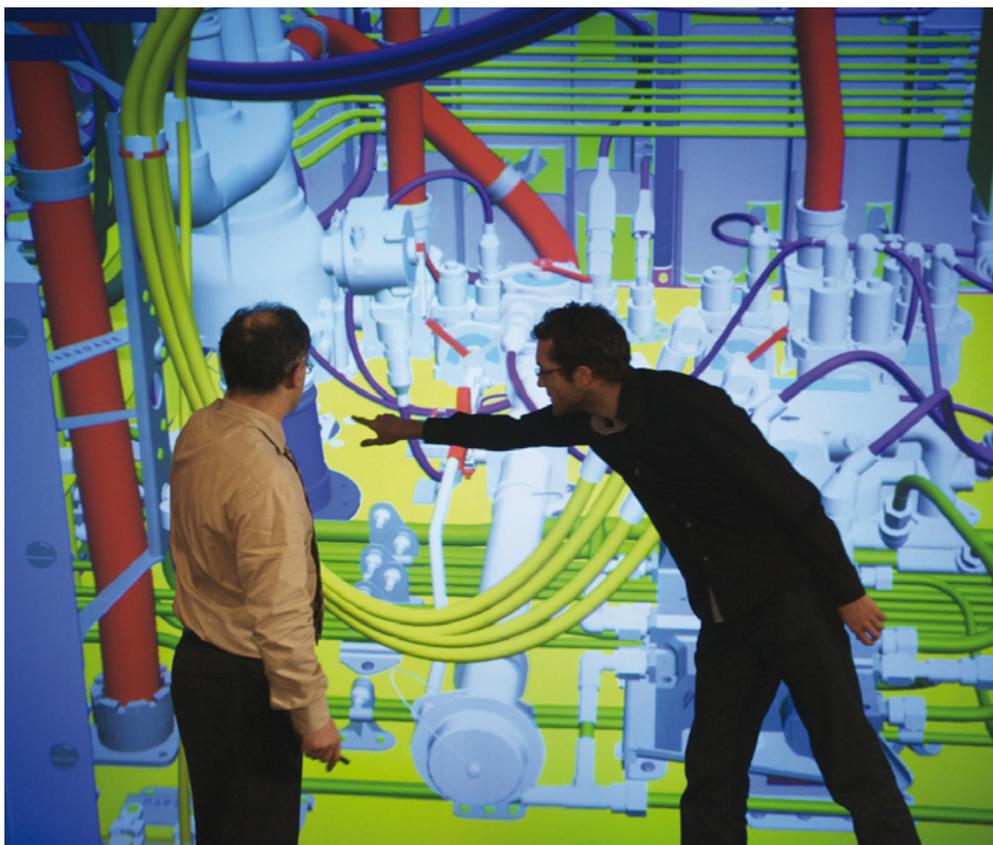


pour faire des économies d'échelle. L'architecture système permettant de modéliser à haut niveau le fonctionnement d'ensembles composés de sous-systèmes devrait se diffuser progressivement. D'abord à l'ensemble des acteurs des filières automobile, aéronautique et naval, où elles est déjà à l'œuvre depuis peu, mais également vers d'autres secteurs d'activité.

Si l'on descend au niveau technique, l'association quasi-systématique de mécanique, d'électricité, de logiciel, et désormais de communication (voir Internet Industriel des Objets) exige également une mutation profonde des équipes de conception. Mécaniciens, électriciens, hydrauliciens et électroniciens viennent à peine de « *faire connaissance* » à travers des projets collaboratifs. Ils doivent faire une place à leurs collègues des logiciels embarqués, qui prennent une part grandissante dans la valeur ajoutée des produits ! Une place qui doit être prévue dès les premières étapes de développement produits, voire dès les premières idées proposées...

Parce que les produits se complexifient et deviennent obsolètes de plus en plus rapidement, on se dirige vers l'achat d'un service rendu par l'objet et non de l'objet lui-même. Qu'il s'agisse d'une voiture, d'une cafetière expresso ou d'une installation de climatisation industrielle, les clients veulent un service global. Les constructeurs doivent donc intégrer dès leur conception les services de maintenance, de pilotage, de configuration à distance, de mise à jour, etc. qui lui apporteront sa véritable valeur.

Seconde tendance, la simulation est désormais à la portée de tous. Non seulement les entreprises peuvent anticiper virtuellement le comportement des produits finis avant d'avoir fabriqué la moindre pièce, mais les plus avancées s'attaquent désormais à la simulation de process. Les plasturgistes et emboutisseurs utilisent déjà des logiciels pour simuler et optimiser l'injection d'une pièce plastique dans son moule, ou son emboutissage sous presse. Les « *usi-neurs* » font la même chose pour les opérations d'enlèvement de copeaux. Et cette technologie est disponible éga-



lement pour les opérations robotisées d'assemblage, de palettisation ou de peinture par exemple. L'objectif visé ? La simulation globale de toute l'usine de production, l'ère du 4.0... Un levier majeur pour raccourcir ce fameux time to market. Ceux qui réussiront à concevoir le produit en même temps que les process de fabrication gagneront la bataille de la compétitivité.

Par ailleurs, d'outil de vérification, le calcul numérique devient progressivement outil d'optimisation, voire de prescription technique. Dans des domaines où les paramètres techniques du produit sont nombreux et sensibles à la moindre

variation, ce sont les logiciels de calcul qui déterminent les meilleurs compromis conceptuels. En fonction de contraintes d'entrée, certaines solutions vont jusqu'à proposer la forme optimale qui y répond... Le rêve, ou le cauchemar de l'ingénieur, le design dirigé par le calcul !

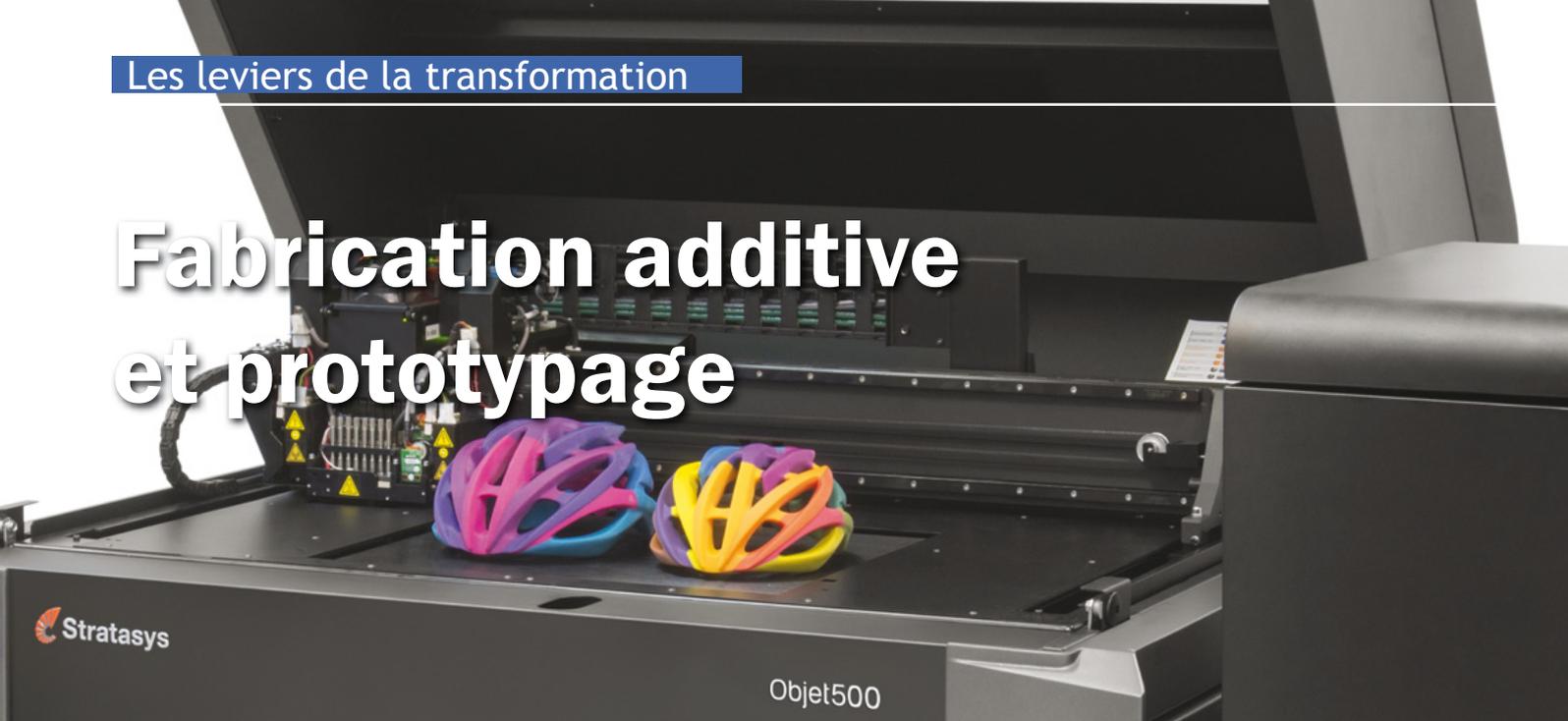
Enfin, toujours dans ce domaine de la simulation, les technologies de réalité virtuelle et d'immersion 3D sont de plus en plus employées par l'industrie. D'une part, pour prendre des décisions plus justes en phase conceptuelle, d'autre part pour former leurs équipes aux bons gestes, enfin pour valoriser leurs concepts auprès de leurs clients. ▲

Yann Bouju, DCNS Ingénierie

« *Tous nos navires sont développés autour d'une maquette numérique et des données techniques utilisées par les différents métiers de DCNS. Ce référentiel est ensuite exploité dans des salles de réalité virtuelle immersive. En phase de conception, cela permet de faire des choix techniques sur des emménagements critiques, ceci avec les clients qui peuvent tester virtuellement le navire selon différents scénarios. En production, c'est également devenu un outil indispensable pour optimiser les phases de montage dans les locaux à forte densité.* »



Fabrication additive et prototypage



Pour tester un concept innovant réalisé en CAO, rien de mieux que de tester sa maquette physique.

Chaque secteur d'activité utilisait jusqu'à maintenant des techniques plus ou moins élaborées pour produire ce prototype. La sculpture sur clay dans le domaine automobile, le collage de carton plume dans l'architecture, l'usinage par enlèvement de matière ou formage pour la mécanique traditionnelle, pour n'en citer que quelques-unes. L'arrivée sur le marché de la fabrication additive, ce que l'on appelle désormais l'impression 3D, a bouleversé totalement cette étape cruciale de l'industrialisation d'un produit. Ce fut l'ère du prototypage rapide.

Fabrication additive et prototypage rapide

La fabrication additive consiste à réaliser une pièce couche après couche à partir de sa définition numérique. L'objet prend forme au fur et à mesure de la solidification de chacune de ces sections. Il peut être extrêmement complexe, intégrer des mécanismes internes et des géométries imbriquées ou tissées. Bref, des caractéristiques qu'il est parfois impossible de reproduire avec des procédés traditionnels. Évidemment, ce sont des machines à commande numérique qui

assurent le traitement du modèle 3D, et son impression 3D.

Dans le domaine du prototypage rapide par fabrication additive, plusieurs technologies coexistent, on citera essentiellement : la stéréolithographie (SLA), le frittage sélectif de poudre (SLS et DMLS), la fusion sélective par laser, la projection par jet de matière (Polyjet) et le dépôt de fil (FDM). Les quatre premières sont sans doute les plus utilisées pour produire des prototypes industriels. Elles permettent de produire des pièces en polymère, ou en métal dans le cas du frittage laser (DMLS), directement à partir d'un fichier CAO 3D issu de la majorité des logiciels du marché.

Maquette visuelle et fonctionnelle

Après nettoyage et post-traitement dans un four pour finaliser la polymérisation,



LE DÉFI À RELEVÉ

Le prototypage par fabrication additive se généralisera dans les entreprises lorsqu'elles pourront, à coût raisonnable, produire une maquette fidèle à l'objet final. Pour cela, il faut encore progresser d'une part sur la variété des matériaux disponibles, et d'autre part sur le coût d'utilisation des imprimantes 3D.

les pièces issues de stéréolithographie par exemple sont utilisées pour des tests fonctionnels et la validation visuelle. Quatre couleurs sont disponibles actuellement, plus la transparence et le matériau permet de simuler les propriétés mécaniques de l'ABS et la tenue en température jusqu'à 70° C, voire 110 °C.

La technologie Polyjet qui repose sur un jet de résine photopolymère durcie par UV offre des capacités semblables de tests fonctionnels et visuels, en rajoutant un large choix de matériaux. L'Objet 500 Connex3 de Stratasys par exemple permet de mélanger trois matériaux différents et d'associer à différentes zones géométriques d'une pièce, des combinaisons de couleurs et de dureté variées.

↑ Avantage : L'impression 3D permet de réaliser des prototypes visuels et fonctionnels sans limitation de forme.

↓ Inconvénient : Reste que le choix des matériaux disponibles est encore limité.

« Cette capacité de faire varier en chaque point de la pièce, la composition du matériau déposé et donc ses caractéristiques techniques est idéal pour tester le grip d'un outil, l'efficacité d'un ressort, ou la facilité d'encliquetage d'un assemblage » explique Eric Bredin directeur marketing chez Stratasys.

Sous-traiter ou s'équiper ?

Pour les entreprises qui souhaitent réaliser des prototypes par fabrication additive, elles peuvent s'adresser à des



« Les systèmes de fabrication additive sont surtout employés dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique ou de l'électronique pour valider des concepts à l'aide de prototypes physiques. Mais de plus en plus d'industriels qui ont choisi cette technologie pour du prototypage à l'origine, finissent par l'utiliser pour fabriquer des pièces industrielles. La limite entre prototype et production s'amenuise progressivement.

Eric Bredin, Directeur marketing
chez Stratasys

propres prototypes. Évidemment, outre le choix de la technologie qui doit être adaptée à leurs besoins, il s'agit de faire attention au coût des consommables, loin d'être négligeable. Cyrille Vue, directeur de la société de prototypage Erpro, rappelle cependant : « avec les techniques

d'impression 3D, le coût de la pièce ne dépend pas de sa complexité. Plus elle est sophistiquée, plus les procédés de prototypage rapide sont intéressants face aux techniques classiques par enlèvement de matière, formage et assemblage. » ▲



sociétés de services spécialisées. Ces « *prototypistes* » comme Erpro, Cresilas ou MB Proto se sont équipés des différentes technologies et réalisent vos prototypes dans un délai compris entre un et cinq jours à partir de la réception de votre fichier numérique. Mais désormais, des machines professionnelles sont accessibles pour moins de 30 K€, ce qui permet à des PME, fabricants ou bureaux d'études, de s'équiper et de réaliser leurs

POINT DE REPÈRE

- Le marché de l'impression 3D devrait atteindre 3,7 milliards de dollars en 2015. (Source Wholers Associates)
- Chez les prototypistes, c'est la stéréolithographie et le frittage laser de poudres polymères qui sont les procédés les plus employés ; le Polyjet et la FDM chez les industriels qui se sont équipés.
- Le procédé 2PP permet de fabriquer des objets à l'échelle nanoscopique, tandis que la VX4000 de Voxeljet délivre des pièces jusqu'à 4 x 2 x 1 m.

Usine virtuelle



Concevoir une automobile ou la ligne de fabrication qui la produira relève de la même démarche et fait appel de plus en plus souvent à des technologies numériques semblables. Comme une voiture ou un avion, la ligne est constituée d'éléments assemblés issus du commerce dans le cas d'éléments standards (machines-outils, dispositifs de transfert..) ou conçus par l'ingénieur. L'objectif du concepteur est d'organiser les différentes opérations d'usinage et les flux (matières premières, pièces, opérateurs, outils...) pour aboutir au produit final. Ceci en tenant compte bien évidemment de contraintes comme la place disponible, la cadence de fabrication, le coût de production, l'énergie consommée et, de plus en plus souvent, d'une exigence de flexibilité de son installation.

Le virtuel pour comprendre

Le concept d'« usine virtuelle » repose sur l'emploi de technologies numériques pour optimiser l'implantation des postes d'usinage/assemblage, simuler leur fonctionnement global et dans le détail, puis concevoir les systèmes de contrôle/commande. De nombreuses solutions numériques sont disponibles sur le marché

traitant le plus souvent d'un seul aspect du processus global. Les plus évoluées intègrent désormais sous un même environnement informatique ces différentes phases.



La première étape consiste à planifier le processus de fabrication. L'approche la plus simple est d'utiliser des solutions 2D pour modéliser la ligne à partir de

LE DÉFI À RELEVÉ

Pour adopter et exploiter au mieux les outils de simulation de process, les industriels doivent être capables de revoir leur méthode de travail et considérer l'automatisation de tâches à faible valeur ajoutée comme une chance de développement de leur activité.

« blocs » symbolisant chaque opération industrielle. Des outils complémentaires permettent de simuler le fonctionnement dynamique de l'installation, de calculer les temps de cycle, d'identifier les risques de collision, de tester différentes configurations, voire d'analyser la possibilité de reconfigurer la ligne pour une autre production.

On peut faire le même travail avec une modélisation 3D de la ligne. La démarche reste la même, l'opérateur utilise une bibliothèque d'équipements de production modélisés en 3D pour construire la maquette virtuelle de son projet. Outre l'aspect technique, cette maquette 3D permet de produire des images et des vidéos réalistes du fonctionnement de l'installation.

↑ **Avantage :** Les technologies d'usine numérique permettent d'éviter la majorité des aléas très coûteux qui surviennent lors de la mise en route d'une ligne de production.

↓ **Inconvénient :** Une grande partie des logiciels disponibles restent coûteux et complexes à mettre en oeuvre pour des PME.

Simuler pour optimiser

Il s'agit ensuite de simuler virtuellement le process dans le détail en utilisant les données 3D des équipements de production. On peut ainsi simuler les flux au sein d'une cellule, ou optimiser l'ergonomie d'un poste d'assemblage à l'aide d'un mannequin virtuel. Sur ce dernier aspect, certaines entreprises se sont dotées d'installations de réalité virtuelle pour évaluer la pertinence d'opérations manuelles complexes. A l'aide d'un environnement immersif (écrans multiples, visualisation stéréoscopiques, capture de mouvement...), elles vérifient si une manipulation est faisable, quel effort elle exige, si elle n'est pas contraire à la morphologie humaine, etc.



Ces outils permettent également d'optimiser la répartition des opérations d'usinage/assemblage sur la ligne, et la circulation des pièces entre chaque poste afin de gagner en productivité. Certains logiciels indiquent en outre la consommation d'énergie des machines selon leur état. « *Cela permet de modifier sa stratégie de flux pour diminuer la consommation globale. Dans certains cas, cela peut atteindre 60% d'économie. Et ceci sans impacter la cadence de production* », souligne Serge Scotto, responsable avant-vente Tecnomatix.

“ Les entreprises qui ont compris les enjeux utilisent la globalisation et ne la subissent pas. Les outils dits d'usine numérique leur permettent de modéliser, de standardiser et d'optimiser leur process de fabrication. Des capacités indispensables pour augmenter leur productivité, innover et produire en n'importe quel point du globe en conservant le même niveau de qualité.

Yves Coze, Sales Vice-président
Dassault Systèmes Delmia EMEA South

Le concept d'« *usine virtuelle* » ou d'« *usine numérique* » vise à réunir sous un même environnement les trois étapes précédemment décrites. Une intégration qui permet de visualiser le fonctionnement d'une installation de production, de découvrir certains défauts et d'y apporter les correctifs immédiats, avant tout lancement en fabrication. Dès l'étude de conception, vous pouvez travailler sur la structure de l'équipement, la programmation des automates, des IHM, et finalement diminuer d'autant le temps de réalisation du projet. Et donc son coût... ▲

Le Graal de l'intégration

La troisième opération appelée « *virtual commissioning* » consiste à concevoir le contrôle/commande de la ligne. Là encore, les industriels utilisent des solutions spécifiques. Par exemple : TIA Portal fédère au sein d'un seul environnement tous les logiciels d'automatisation développés par Siemens. Il permet de réaliser tous les processus automatiques, depuis une seule interface, et de générer le programme des automates, des robots et les tests de validation.

POINT DE REPÈRE

- Les éditeurs proposent des solutions clés en main pour simuler et programmer complètement une cellule robotisée à partir de 15 k€.
- Les solutions les plus évoluées sont capables de simuler complètement le fonctionnement d'une usine, depuis les flux des produits jusqu'à l'ergonomie d'un poste d'assemblage en passant par un changement de production.
- L'automobile et le secteur aéronautique sont les principaux utilisateurs des technologies d'usine numérique.

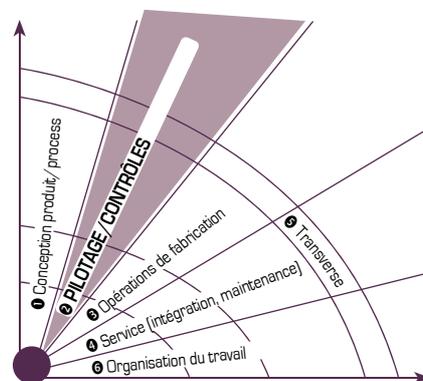
Le pilotage-contrôle transcende les frontières de l'usine

La façon de commander les sites de production est en train de se transformer radicalement. Aujourd'hui, toutes les machines sont connectées et commencent à communiquer. Demain, le moindre équipement apportera son lot d'informations au système global, les architectures se feront plus décentralisées et les usines verront leur comportement changer en temps réel en tenant compte des données d'exploitation mais aussi d'informations extérieures.

Finis les machines isolées. Il y a quelques années encore, le pilotage des équipements de productions était réalisé de façon scindée, avec une commande par machine. Plus tard, ces mêmes commandes ont été connectées par des bus de terrain et des réseaux industriels. Désormais, tout équipement doté d'un automate ou d'une commande numérique est en mesure de remonter des informations vers un système de gestion supérieur, selon une hiérarchie pyramidale, et peut recevoir des consignes depuis ce système de contrôle. Avec l'industrie 4.0, le périmètre s'étend davantage. Ces mêmes machines tissent des liens de site en site, d'un pays à l'autre, et avec d'autres activités de l'entreprise : la conception, la supply chain, la maintenance, la logistique... Cela se concrétise par des connections réalisées entre les outils traditionnels de gestion des ateliers, superviseurs, Scada et MES, avec des applications de PLM, d'ERP, de GMAO... « Dans certains domaines comme l'emballage, on peut même imaginer un site B2B de commande en ligne lié à un site de fabrication, qui assurerait de la production à la demande et expédierait les commandes directement »,

déclare Vincent Caulet, responsable des secteurs Industrie de Bosch Rexroth en France. A condition d'adopter une logistique adéquate...

Les nouvelles technologies (appareils mobiles, cloud, virtualisation, wifi, 3G/4G...) prennent également de plus en plus de place. Alors qu'hier, chaque domaine utilisait des logiciels particuliers, tournant sur des systèmes dédiés, « on se dirige vers des plateformes communes qui emploient les technologies du web et d'Internet », annonce Philippe Allot, PDG d'Ordinal Software. A l'avenir, « pour la réplique et la redondance, on s'appuiera sur des technologies issues du monde des bases de données et des systèmes. Cependant, la partie exécution de la pro-



duction ne passera certainement pas chez Google, Oracle et Microsoft », tempère-t-il. « Ces technologies donnent accès à de l'intelligence partagée, note Patrick Hell, directeur marketing de Endress+Hauser France. Les données issues des capteurs permettent d'obtenir la bonne information au bon endroit, sur le fonctionnement des instruments, leur état ainsi que des informations d'auto diagnostic voire des grandeurs de mesures additionnelles. En outre, l'accès à ces informations est désormais très simple et très rapide. » A noter, ces possibilités de prendre le contrôle d'un équipement à distance constitue une

Philippe Allot, PDG d'Ordinal software

« Je ne vois pas d'obstacle au fait que demain tout soit virtualisé sauf les automates. Cela permet de séparer la technologie du métier, en utilisant des outils qui ne présupposent pas la technologie de gestion. Par contre, il faudra des logiciels qui évoluent quasiment en continu. L'idée, c'est de profiter des nouvelles technologies mais sans provoquer des coûts de rupture trop importants. »



belle occasion pour les OEM de mettre en place de nouveaux services : réglage à distance, télé-opération, suivi des performances, télémaintenance...

De nouveaux types de pilotage

Grâce aux technologies d'Internet, les usines peuvent aussi utiliser des données qui leur étaient jusque-là étrangères et pouvant améliorer le pilotage des installations. « Les facteurs externes comme la

ter une usine en suivant des consignes uniquement financières, en faisant passer, par exemple, la rentabilité avant la productivité. Là encore, à condition de respecter les contraintes de l'industrie, notamment en tenant compte des coûts et des temps liés à l'arrêt et au redémarrage de certains équipements comme des fours. Pour assurer ce type de pilotages, « il faudra des modèles suffisamment riches. La rentabilité sera un point important à prendre en compte dans ces

Jean-Michel Ruscica, responsable Business Development – Process Automation chez ABB France



« L'industrie 4.0 est en train d'automatiser toute l'entreprise quand auparavant, seule l'usine l'était. On automatise tout le circuit de fabrication des produits, toute la chaîne. Mais il faut remettre l'opérateur au centre de l'usine du futur. Depuis 20 ans, on a automatisé et réduit les équipes et les opérateurs placés dans des salles de contrôle peuvent perdre le contact avec les équipements. Or, aujourd'hui, encore, les décisions importantes reviennent à l'opérateur. »

météo peuvent s'avérer importants pour les commandes prédictives des chaudières, par exemple », note Jean-Michel Ruscica, responsable Business Development – Process Automation chez ABB France. D'ailleurs, « le coût énergétique va avoir de plus en plus d'importance dans la conduite des process et la production à l'avenir », poursuit-il. Cela ouvre la voie à des modes de pilotage totalement nouveaux. En effet, actuellement, la prise en compte de l'énergie en exploitation consiste avant tout à augmenter l'efficacité énergétique des équipements, et donc à en réduire la consommation. Mais il est aussi possible d'asservir des ateliers entiers aux ressources, au coût de l'énergie dans toutes ses formes à l'instant t, par exemple, grâce à des logiciels d'optimisation connectés directement au contrôle commande de l'usine. « Dans la chimie fine et la papeterie, certains industriels demandent déjà de coupler les SNCC aux ERP pour réduire les cycles entre demande et production, pour décider de l'usine, de la machine qui va produire, avec une notion de coût des matières premières etc. Dans l'industrie lourde, on n'y est pas encore », note Jean-Michel Ruscica, responsable Business Development – Process Automation chez ABB France. A terme, il serait même possible de pilo-

modèles, mais aussi l'image de l'entreprise, l'environnement, etc. Les modèles vont s'enrichir de plus en plus avec toutes ces composantes », prédit Philippe Allot.

Traçabilité généralisée et condition monitoring

« Avec l'Industrie 4.0, les notions de traçabilité et de gestion de flux deviennent essentielles. La traçabilité sera présente à



toutes les étapes de la production et hors des usines, pour garantir la sécurité des consommateurs, optimiser l'organisation des sociétés et assurer la lutte contre les contrefaçons. Dans l'industrie pharmaceutique, la norme impose déjà la sérialisation dans certains pays », déclare Thierry Pouchol, directeur marketing de Sick France. Là encore, les technologies nécessaires existent, à commencer par les codes 1D, 2D et les puces RFID. Ce qui manque ? Sans doute des outils informatiques pour assurer le lien entre la traçabilité en production et hors production et capables de traiter des tonnes d'informations. Cette traçabilité, on la retrouve également dans l'exploitation elle-même avec, par exemple, le condition monitoring. Ainsi, alors qu'on se contente souvent d'intervenir après une panne ou de prévoir des opérations de maintenance en se basant



sur une historisation des événements, les exploitants peuvent scruter l'état réel de leur machine pour en assurer une maintenance conditionnelle, et ainsi anticiper une panne de façon plus précise et n'intervenir que lorsque cela est vraiment nécessaire.

Eviter les embouteillages

Ces démarches deviennent possibles par l'instrumentation importante des machines, qui ouvre de nombreuses portes. Cependant, « on a beaucoup de choses en place, mais pas toujours exploitées »,

Alain Greffier, Directeur Marketing de la Division Industry Automation de Siemens France



« Industrie 4.0 c'est une réalité. Des solutions concrètes sont disponibles et de nouveaux maillons apparaissent comme les nouvelles technologies de communication. Il faut savoir comment les utiliser dans l'industrie. Mais la technologie pour la technologie n'est pas forcément la meilleure chose et il ne faudrait pas lancer des investissements importants finalement inutiles. La question pour un industriel sera de bien déterminer ce qui a du sens. Il faut donc une stratégie entreprise par entreprise, profession par profession pour définir de quoi chacun a besoin. »



regrette Jean-Michel Ruscica. A l'avenir, il faudra développer les couches logicielles nécessaires pour traiter toutes ces données et générer les informations utiles aux personnels de maintenance. Autre contrainte forte : il y a deux échelles de temps dans le pilotage. Certaines opérations comme le suivi de certains para-

mètres d'environnement, et *a fortiori* le « pilotage » d'une entreprise dans son ensemble, peuvent être assurées avec des prises d'informations peu fréquentes. Par contre, le contrôle d'un équipement tournant à grande vitesse nécessite le temps réel. Il est donc peu probable qu'Internet gagne le pilotage fin des machines.

Thierry Pouchol, directeur marketing de Sick France

« Avec l'Industrie 4.0, les notions de traçabilité et de gestion de flux deviennent essentielles. La traçabilité sera présente à toutes les étapes de la production et hors des usines, pour garantir la sécurité des consommateurs, optimiser l'organisation des sociétés et assurer la lutte contre les contrefaçons. La RFID y jouera un rôle clé. Cela impliquera aussi des investissements importants dans les infrastructures informatiques. Sur les équipements, le pilotage sera également de plus en plus décentralisé avec ces capteurs et des actionneurs intelligents qui déchargeront les réseaux et les automates ».



En outre, avec l'augmentation de la masse d'informations remontées des machines vers les organes de pilotage – notamment dans le cadre du condition monitoring et de la généralisation de la traçabilité – mais aussi des contenus annexes empruntant les réseaux (les vidéos sur IP par exemple), le risque d'engorgement des tuyaux grandit. D'autant que pour la communication hors des sites de production, ce sont les opérateurs qui dicteront la bande passante disponible... « Il faudra une vraie stratégie de communication et établir des cahiers des charges à ce sujet », prévient Alain Greffier, directeur marketing de la division Industry Automation de Siemens France. A l'intérieur de l'usine, la segmentation d'un réseau unique pour cloisonner les transferts de données constituera une solution. L'intelligence embarquée dans les composants (capteurs, actionneurs, organes de commande déportés comme les variateurs pilotant les moteurs) propose une autre piste dans ce sens. Capables de traiter une partie des tâches d'automatisme directement au niveau du terrain sans passer par le niveau supérieur, ces équipements pourront décharger les automates de tâches non critiques et désengorger les réseaux d'informations inutiles au niveau supérieur.

Vers des standards universels

Côté matériel, il est probable que les architectures se simplifient en se décentralisant, remontant directement toutes les informations provenant des machines (depuis les capteurs et les automates) vers une surcouche unique. Le grand défi à relever pour les industriels ? Consolider les données de manière rationnelle.



Pour l'instant, les échanges entre les différents outils, entre MES, supervisions et ERP, par exemple, restent limités car il est nécessaire d'employer des interfaces, des « traducteurs » entre les systèmes. Pour tirer parti de l'importante masse de données disponible, il sera nécessaire de créer des modèles structurés communs aux applications, pour organiser la transversalité des disciplines et des matériels utilisés. Plusieurs acteurs misent pour cela sur le standard défini par l'ISA 95. Au niveau du terrain, certains standards s'imposent. Reste une tâche importante :

d'eux, comme c'est le cas pour une puce RFID. Certains explorent aussi la voie d'un langage de programmation universel pour tous les organes de contrôle : commandes numériques, automates, baies robots... « Pour le client, cela présente l'intérêt d'une solution unique ; pour l'intégrateur, cela apporte l'ouverture tout en protégeant ses intérêts », note Vincent Caulet. En se rapprochant des langages informatiques, de type C++ ou Java, un tel langage aurait aussi plus de chance de séduire les jeunes générations...

Dernier point essentiel pour le futur : l'interface homme machine. Les spécialistes concentrent une grande partie de leurs efforts sur ce sujet, en s'inspirant notamment des mondes du mobile et du jeu. Au programme, des écrans simplifiés qui optimisent la visibilité et la compréhension des informations, de la reconnaissance de gestes et le suivi du regard, mais aussi des salles de contrôles dont les postes s'adaptent aux opérateurs et aux situations (jour, nuit, stress, etc.) pour leur permettre de prendre la meilleure décision possible à tout instant. Pourquoi tout cela ? « Il y a quelques années, on disait que le MES allait assurer les arbitrages lui-même, mais dans les fait ce n'est pas le cas. Les opérateurs sont toujours les mieux placés pour prendre la décision », explique Philippe Allot. De l'avis de tous, en phase d'automatisation intense, c'est donc encore et toujours l'homme qu'il faut placer au centre du terrain. ▲

Jean-Claude Reverdell, directeur général SEW Usocome France



« Savoir piloter une machine ou gérer l'interconnexion d'un groupe de machines, en y intégrant aussi le contrôle du transfert des pièces fabriquées, procède d'une évolution industrielle connue, avec des architectures établies. L'aptitude à faire communiquer de manière autonome et décentralisée les systèmes productifs et logistiques marque l'ouverture sur une dimension inédite qui s'accompagnera très naturellement d'une nécessaire réflexion sur l'optimisation des processus de conception et de fabrication. »

assurer des échanges sûrs entre tous les systèmes, depuis la base jusqu'au poste d'un opérateur distant.

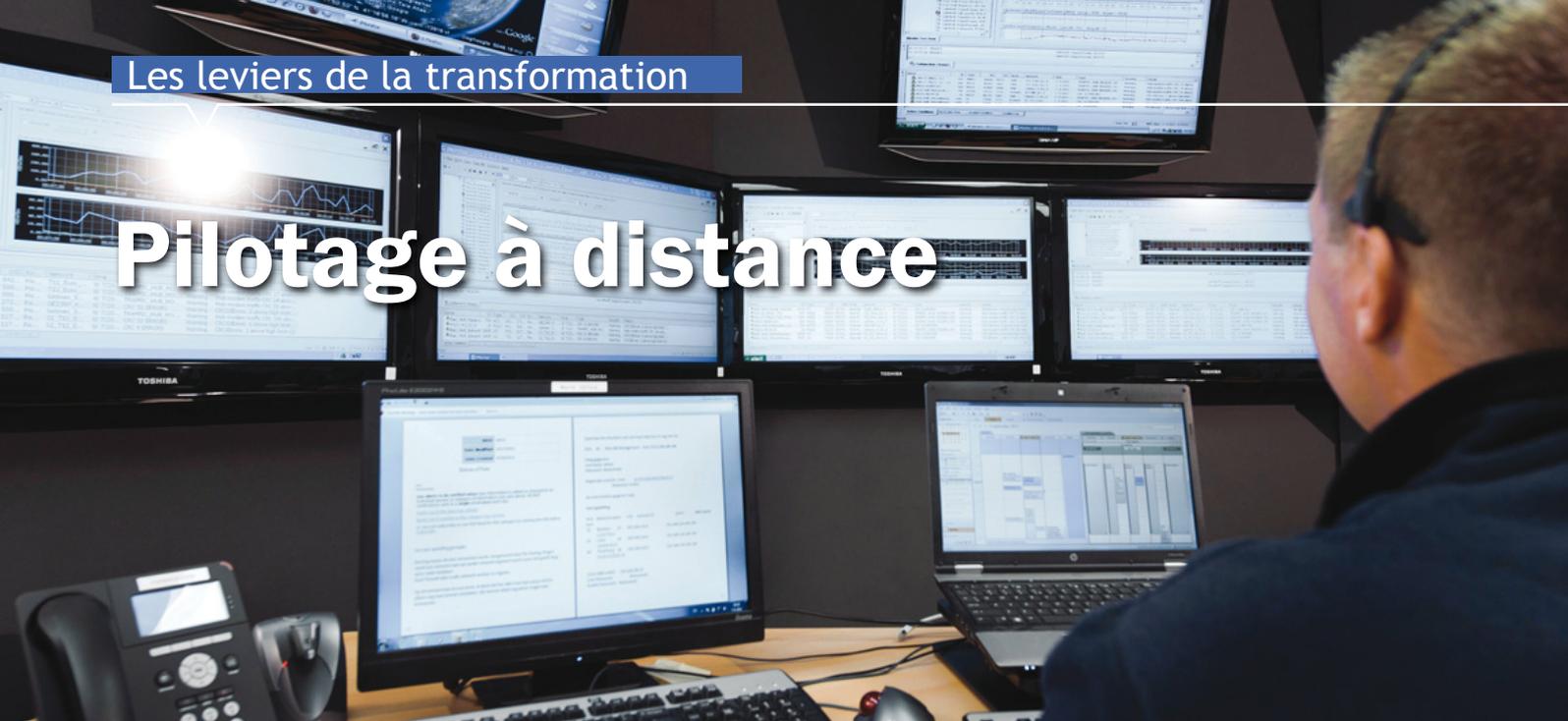
Parmi les pistes de développement actuelles, on retrouve aussi la communication sans fil entre les capteurs et les machines au niveau du terrain. Cela posera la question de leur alimentation en énergie. On parle notamment de capteurs réanimés, réveillés quand on a besoin

Urs Endress, Président de Endress+Hauser France

« La standardisation des nouvelles technologies liées notamment à Internet, au cloud et au sans-fil, permet désormais d'atteindre, à moindre coût, un haut niveau « d'intelligence partagée ». Elles nous offrent ainsi des accès plus simples, rapides et automatiques aux capteurs, à leurs données, dont les utilisateurs peuvent tirer des informations enrichies tout au long du cycle de vie des installations ».



Pilotage à distance



La distance ne doit plus faire peur aux industriels ! Suivre et commander des machines depuis son domicile, c'est possible ; piloter une usine en Chine depuis la France, c'est possible ; forcer la marche ou l'arrêt d'une pompe sans fil, à partir d'une tablette tactile, c'est aussi possible. Toutes les technologies nécessaires à ce type d'actions sont déjà disponibles. En effet, désormais, la plupart des automates, des instruments, des capteurs et des actionneurs du marché intègrent des serveurs Web connectés à des clouds privés ou publics qui permettent d'y accéder, de récupérer des informations, voire d'en prendre le contrôle, depuis un simple explorateur Internet.

Certains appareils font d'autres choix, par exemple d'échanger avec vous par le truchement d'un serveur dédié mais, globalement, depuis les entrailles de la machine, les données transitent via les réseaux de terrain installés dans l'usine, puis via Internet, et sans fil via le Wifi ou les réseaux 3G/4G si vous utilisez un appareil mobile en bout de chaîne.

Enfin, pour permettre de surveiller et régler un appareil sans passer par le réseau d'un site, il suffira de lui associer un boîtier de communication 3G (ou plus) pour communiquer avec lui directement. At-

tention cependant de ne pas faire l'amalgame entre pilotage à distance et pilotage sans fil...

Moins de dépenses, plus de services

L'intérêt de ces solutions, outre le fait d'accéder à ses machines en dehors des sites industriels ? Pour les utilisateurs finaux, elles reposent, dans l'usine, sur des réseaux existants et « hors de l'usine, elles utilisent des solutions publiques. Cela limite les investissements », note Alain Greffier, Directeur Marketing de la Division Industry Automation de Siemens en France. Pour les fabricants de machines et fournisseurs de matériel, cela permet de proposer des services nouveaux. Configuration et mise en route à distance, télémaintenance... « *il y a un potentiel très important en maintenance et en dépannage à distance* », note Patrick Lamboley, End User Business Group - Industry Business chez Schneider Electric. Et les réseaux progressent. On peut, par exemple, désormais, faire transiter des flux vidéo entre une machine et un opérateur distant, si cela est nécessaire à l'exploitation ou à la compréhension d'un problème. Par contre, « *Internet n'est pas compatible avec du pilotage fin* », tempère Philippe Allot, PDG d'Ordinal Software.

LE DÉFI À RELEVÉR

Pour aller plus loin, les technologies utilisées devront garantir la sécurité des données qui transitent et les infrastructures publiques usitées devront apporter des garanties vis-à-vis des contraintes industrielles.

Des contraintes industrielles

La machine est en route. « *Il y a une tendance vers la mise en place de plusieurs niveaux de pilotage, depuis l'opérateur sur le terrain avec sa tablette aux salles de contrôles qui gèrent plusieurs unités de production* », commente Patrick Lamboley. « *On se dirige vers des plateformes communes qui emploient les technologies du web et d'Internet* », ajoute Philippe Allot. Avec, entre autres, l'avantage de s'affranchir des contraintes liées au matériel et d'assurer des mises à jour fréquentes, en quelques clics. « *L'idée, c'est de profiter des nouvelles technologies mais sans provoquer des coûts de rupture trop importants* », poursuit le PDG d'Ordinal Software. A condition de satisfaire les contraintes industrielles, à commencer par la disponibilité du réseau. Et si les performances du Web

 **Avantage** : L'accès à distance permet de gagner en souplesse et de proposer de nouveaux services aux utilisateurs.

 **Inconvénient** : La performance et la disponibilité des technologies Web ne sont pas garanties.

« Dans le cadre du pilotage à distance des installations, une attention particulière doit être accordée au niveau de la sécurité des réseaux et de la disponibilité des systèmes informatiques. C'est avant tout une question de confiance dans les technologies informatiques. La cybersécurité est aussi essentielle. L'enjeu majeur, ce n'est pas le temps de réponse, que l'on maîtrise, mais la garantie de la connexion.

Pierre Youinou, chef d'entreprise chez Actemium Maisons-Laffitte

»

rateurs voudront bien donner », prévient Alain greffier.

Mais avant toute chose, les industriels ne devront pas perdre de vue un point essentiel : « Il faut que cela fasse sens. Ils doivent se poser une question simple : le tout accessible à distance, pourquoi pas, mais pour quoi faire ? », conclut Patrick Lamboley. ▲



en temps de réponse sont compatibles avec bon nombre d'applications industrielles, il n'offre aucune garantie de ces performances ni du maintien permanent de la connexion entre l'homme et ses équipements. Se posent également des problèmes de cybersécurisation de ces tuyaux... Parallèlement, dans la construction de leurs offres, les industriels devront respecter les normes en vigueur dans le monde « hors usine ». Et pour la bande passante, « elle aura la limite que les opé-

POINT DE REPÈRE

- Dans l'usine de traitement d'eau des Grésillons du syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne (SIAAP), les opérateurs peuvent suivre et prendre le contrôle de tout équipement à partir de tablettes tactiles.
- En 2010, grâce au virus Stuxnet, des pirates sont parvenus à modifier les paramètres de centrifugeuses dans une usine d'enrichissement d'Uranium à Natanz, en Iran.
- Selon les nombreuses études sur le sujet, le marché du cloud s'exprime en dizaines, voire centaines de milliards de dollars. Pour autant, cette technologie concernera davantage les CRM et ERP que les solutions dédiées à l'exploitation des sites industriels.

Capteurs de conditions



Qui de mieux placé que les machines elles-mêmes pour nous apporter les renseignements nécessaires à leur bon fonctionnement ? C'est le postulat de base du « *condition monitoring* », traduit généralement par maintenance conditionnelle. En effet, alors que la maintenance curative consiste à intervenir après une panne, que la maintenance préventive par historisation programme des opérations en fonction d'une probabilité basée sur l'expérience, la maintenance conditionnelle, elle, propose d'intervenir lorsque cela devient réellement nécessaire, en détectant des signaux faibles de dégradation des équipements avant leur point de rupture. Pour cela, il « *suffit* » de suivre attentivement certains paramètres clés sur les installations : niveau et qualité des huiles, températures et pressions des fluides industriels, tension et intensité des matériels électriques, vibrations et jeux mécaniques... Cette surveillance peut être assurée en continu ou de façon périodique.

Des gains substantiels

Les informations nécessaires à ces analyses sont récoltées auprès de capteurs installés sur les équipements. Elles sont remontées vers un système expert, traitées, et alimentent les logiciels de GMAO

ou les ERP des entreprises en alarmes de dépassement de seuils prédéfinis, afin de programmer les opérations et les approvisionnements en pièces de rechange. Un gain substantiel pour les responsables de maintenance.

« *La maintenance prédictive par historisation coûte cher car on a parfois tendance à changer des éléments trop tôt* », commente Laurent Carlion, directeur marketing d'ifm electronic France. La maintenance conditionnelle représente quant à elle évidemment un surcoût au démarrage, puisqu'elle met en œuvre un outil de surveillance, mais elle évite cela en se référant à un état réel de la machine.

Tous les capteurs comptent

Pourquoi se contenter de capteurs dits « *hors process* » pour mettre en place le condition monitoring ? En effet, les machines elles-mêmes, en particulier lorsqu'elles sont fortement automatisées, emploient déjà un grand nombre de capteurs dont les informations permettent de suivre leur état en temps réel. A condition que la récupération des informations reste simple et n'engendre pas de coûts exorbitants. Pas question de réaliser des

LE DÉFI À RELEVÉ

Les systèmes doivent passer d'un fonctionnement parcellaire à une logique intégrée et les logiciels devront se développer pour fédérer les informations et apporter l'intelligence nécessaire à une maintenance et une exploitation optimisée.

câblages supplémentaires, les capteurs doivent remonter les données jusqu'aux automates (puis jusqu'au niveau supérieur) via le réseau, grâce à des interfaces vers les standards les plus répandus (Profibus, Ethernet IP, Etc.). Seule difficulté, cela oblige parfois d'associer une « *verrue* » disproportionnée à un capteur miniaturisé... Depuis peu, nombre de spécialistes proposent également d'employer la technologie de communication IO-Link. Compatible avec les bus de terrain classiques, elle permet de sauvegarder dans une mémoire et de remonter toutes sortes d'informations jusqu'aux automates. IO-Link permet ainsi de localiser précisément un capteur en panne, de reparamétrer automatiquement un capteur après un échange standard, mais aussi de remonter des informations diverses jusqu'aux systèmes de gestion : encras-



Avantage : L'emploi de ces capteurs permet de prévoir les dates d'interventions sur les machines en fonction de leur état réel, pour réduire les coûts et augmenter la disponibilité des machines.



Inconvénient : Il faut savoir interpréter les données et attention à la sur-instrumentation des lignes de production.

sement du capteur, nombre de cycles effectués, dérive des résultats de mesure, etc. De quoi suivre l'état des équipements d'encore plus près, à condition de disposer d'un outil de traitement suffisamment puissant (le nombre de données récoltées devient vite énorme) et capable d'interpréter au mieux toutes ces informations.

Vers des capteurs intelligents

L'étape d'après passera sans doute par les « *smart sensors* », des capteurs intelligents intégrant des capacités de traitement embarqué. Plus « *intelligents* », ils peuvent prendre en charge certaines tâches d'automatisme au plus près de la source de l'information, sans surcharger les automates. En outre, « *ils sont capables de détecter leurs dérives et de se remettre automatiquement en état de fonctionnement optimal* », annonce David Ecobichon responsable produits détection chez Sick. De grands industriels, comme Danone exigent l'usage de ce type de capteurs en première monte. Ces technologies

“ *Le condition monitoring est très prometteur, mais il y a des contraintes à sa généralisation. Ainsi, les capteurs utilisés pour instrumenter les machines n'impliquent pas de surcoût élevé, mais il faut les câbler et récupérer les informations nécessaires. Jusqu'à présent cela n'était pas assez simple et pas assez intégré. En outre, il ne faut pas surcharger les automates avec des informations qui ne concernent pas la production. Pour éviter cela, on remonte une partie des données vers la supervision pour gérer la maintenance et organiser la flexibilité de la ligne et une partie vers les automates de production, via des modules de raccordement aux réseaux industriels.* ”

Jan-Rémi Fromentin,
Président d'ifm electronic France



ouvriront ensuite la voie à l'adaptation des machines en temps réel à un dysfonctionnement passer par le recours à un mode « *dégradé* » adapté à la situation, sans porter préjudice à la productivité, en attendant une intervention. « *On a ce qu'il faut au niveau des équipements, mais il faut encore développer la couche du dessus. Il faudra un logiciel de suivi des signaux de vie des capteurs, afin d'utiliser cela en exploitation* », note David Ecobichon. ▲

POINT DE REPÈRE

- Selon une étude de Global Industry Analyst Inc., le marché du Condition monitoring s'élèvera à 2,1 milliards de dollars en 2015.
- Une autre étude de Frost & Sullivan évalue à 6,7 % le taux de progression moyen annuel du marché, dominé à hauteur de 60 % par les dispositifs d'analyse vibratoire.
- D'après la norme NF EN 13306 X 60-319, la maintenance conditionnelle est « *une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent* ».

GPAO partagée

On peut l'appeler Gestion Partagée des Approvisionnements, Planification Étendue de la production, supply chain intégrée..., on en revient toujours à la même problématique : comment faire fonctionner l'ensemble de l'écosystème de production sachant qu'une partie des acteurs sont multi-produits, multi-clients, multi fournisseurs ?

Dans le mode de fonctionnement classique, le client confronté à un besoin émet une commande vers son fournisseur avec une expression de délai associé à une quantité. Le fournisseur concatène l'ensemble des demandes reçues de ses clients, les hiérarchise pour satisfaire au mieux tout le monde dans les délais voulus et les quantités attendues. Il évolue dans un système à capacité adaptable mais finie (équipement, personnel...). On imagine la difficulté de l'exercice avec quelques centaines de références pour ne serait-ce qu'une dizaine de clients. La moindre perturbation entraîne une amplification du signal que celui-ci vienne d'un client ou remonte d'un fournisseur. Sans aller chercher des exemples complexes comme des avions, des trains ou des voitures, imaginez l'impact d'un décalage de commande de 15 jours sur le tissu de sous-traitant concerné d'un fournisseur. Dans les faits, si la commande est retardée, la majorité gère l'événement comme si de rien n'était, alors que dans l'absolu, le temps de production disponible pourrait être mis à profit pour un autre client qui a besoin de pièces à plus court terme, voire pour le même client sur une autre référence plus urgente. Dans ce contexte,

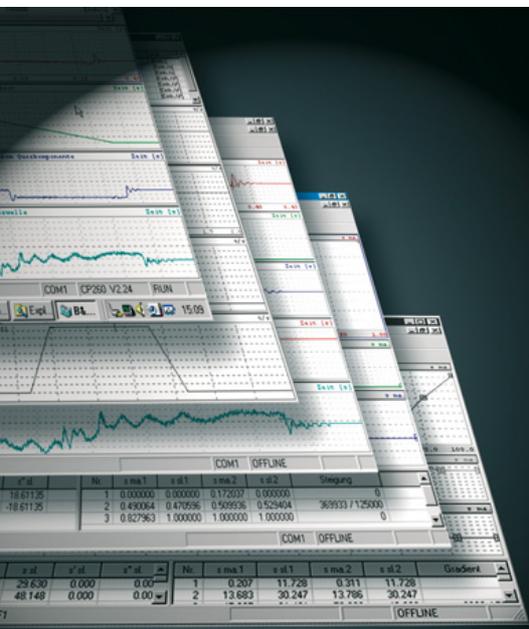
LE DÉFI À RELEVÉ

Planifier la production des équipements en assurant une prise en compte réaliste des besoins de consommation, mais en même temps, garantir une parfaite synchronisation des actions de l'écosystème de production pour obtenir la bonne réalisation de la planification de production et sa mise à jour dynamique en fonction des aléas rencontrés.

mieux vaut ne pas imaginer la gestion des conséquences d'une rupture d'un des éléments auprès d'un sous-traitant qui conduirait à revoir en cascade la planification des livraisons des autres fournisseurs concernés par le produit, afin de leur permettre de dégager du temps de production pour les besoins réels de leurs clients.

Des enjeux de taille

L'idée d'une planification globale de tout l'écosystème semble donc la meilleure idée du monde. Ce qui est sûr, c'est que les enjeux ne sont pas négligeables car, derrière cette difficulté de gestion, il y a des pertes de performance multiples allant



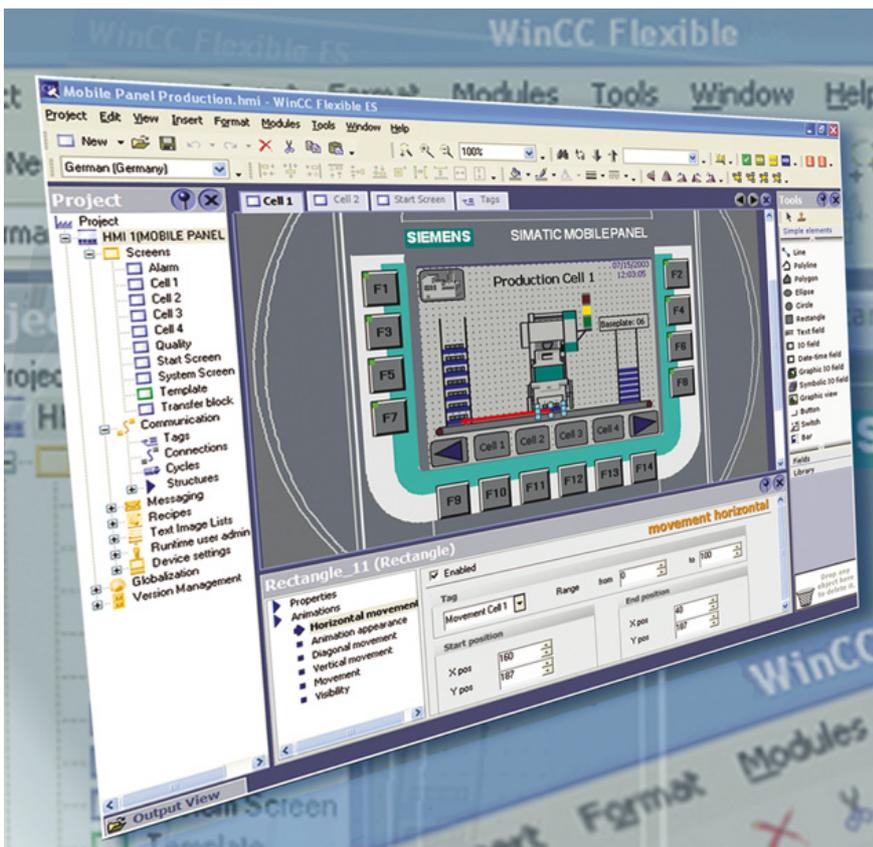
Avantage : Le partage de l'information facilite la planification de la production et permet une meilleure objectivité dans la prise de décision des acteurs.



Inconvénient : L'absence de règles de gestion commune à tout l'écosystème entraîne une amplification des variations prévisionnelles.

Derrière l'évolution vers un système d'information partagé par tout l'écosystème, il y a des enjeux de réactivités car les acteurs de l'entreprise ont de plus en plus besoin de savoir en temps réel ce que l'outil de production est capable de faire et ce qui a déjà été produit. Ceci implique un besoin renforcé de communication entre les composantes de l'ERP relatives à la gestion de production et le MES : Les informations réelles de ce qui se passe sur le terrain permettent une meilleure planification des ressources.

Philippe Allot, Pdg d'Ordinal Software



de simples retards de production à des méventes. Des pertes à tous les niveaux de l'écosystème, mais le principal enjeu, c'est la sécurisation de la chaîne d'approvisionnement. Des secteurs, comme l'agroalimentaire via la grande distribution ou l'automobile, y sont sensibles depuis de nombreuses années, mais plus récemment, c'est l'aéronautique qui s'est

saisie du problème à bras le corps. En effet, l'accroissement considérable des cadences de production dans le secteur fait craindre un effondrement de l'écosystème sous l'effet d'une mauvaise gestion de la planification et de la prise en compte des aléas de production de chacun des acteurs. Cette sécurisation de l'écosystème place la relation client fournisseur au

cœur du problème. C'est une chance car la nécessité d'une collaboration poussée et exigeante entre fournisseur et client peut permettre de jeter les bases de réels partenariats technologiques profitables aux deux parties. Cependant, la pression exercée sur les prix du fait du contexte économique et de la compétition internationale risque d'exposer les fournisseurs aux mêmes affres que ceux qu'ont connus leurs confrères dans les secteurs évoqués précédemment.

Des défis considérables à relever

Quoiqu'il en soit, la construction de l'édifice n'est pas simple car elle dépasse de loin la mise en place d'outils informatiques existant ou à construire. Les premières pierres d'achoppement sont les formats d'échanges pour les informations. Pour atteindre l'objectif, des groupes de travail se sont constitués au niveau européen, à l'image de Galia ou Odette dans l'automobile ou plus récemment la plate-forme Boost Aéro autour d'Airbus, mais la tâche est énorme et remet en cause une part importante des développements réalisés par le passé. Ceci n'empêche pas une partie des éditeurs de considérer que c'est le sens de l'histoire, mais cette nouvelle approche induit des modes de fonctionnement qui remettent en cause les modèles économiques de certains acteurs plus présents dans ces groupes pour s'informer et phagocytter le système que pour faire avancer les choses. ▲

POINT DE REPÈRE

- Part de marché en ERP de SAP : plus de 40 %
- Seul 15 % des ERP déployés restent standard, mais 70 % ne reçoivent que des modifications légères ou mineures, affectant moins de 25 % du code.
- Les formats d'échange de données collaboratifs : Autogration dans la cadre d'Odette pour l'automobile, BoostAero dans le cadre d'AirSupply pour l'aéronautique.

L'outil de production d'hier à demain

Pas de compétitivité sans équipements productifs et performant ! Derrière cette évidence, il y a une réalité : celle du décalage entre la disponibilité d'une technologie et son usage à grande échelle. Une réalité dangereuse car c'est un long processus qui faute d'investissements entraîne les entreprises dans une spirale de pertes de compétitivité inéluctable.

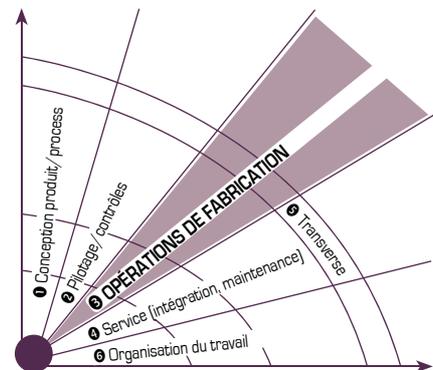
Les techniques de production classiques qui ont marqué le début de l'ère industrielle n'étaient en fait que le prolongement du bras de l'Homme. Sans un ouvrier qualifié, impossible de réaliser la moindre pièce, l'opérateur était totalement à l'origine de la conformité et de la qualité toutes deux placées sous son contrôle. Une situation propice à l'émergence d'ouvriers hors pair capables de réaliser des pièces de hautes précisions avec des moyens de production qui l'étaient beaucoup moins. À l'inverse, la reproductibilité des processus était beaucoup plus difficile à gérer et les gammes opératoires constituées d'une kyrielle d'opérations simples aboutissant au résultat final. Un mode de fonctionnement générateur de nombreux encours de production et nuisible à la qualité de l'ensemble, car chaque opération de reprise entraîne une perte de précision entre les différents usinages réalisés séparément. Des équipements de production conventionnels qui n'ont plus leur place dans des processus de fabrication de grande série, mais qui répondent encore à des besoins de production spécifique, c'est le cas de certaines pièces aéronautiques où c'est le savoir-faire des hommes aidé

par la machine qui permet l'obtention du produit dans les qualités requises et non la machine qui produit sous le contrôle de l'homme.

Des mécaniques admirables

Afin de remédier à la difficulté de reproductibilité des pièces, des mécaniciens de génie ont mis au point des machines capables de reproduire des cycles opératoires complexes en tournage, fraisage, découpage, formage... Des solutions que l'on a vu apparaître autour de secteurs forts comme l'horlogerie par exemple, elles sont basées sur l'usage de cames aux profils complexes et le réglage de butées mécaniques. Si de tels équipements ont permis de réaliser des gains de productivité considérables, ils sont très pénalisants car les cycles de la machine sont figés par les cames. Des éléments coûteux et complexes à réaliser ainsi que contraignants, car ils engendrent des changements de production longs à réaliser. Pour autant, des versions modernes de tels systèmes sont encore utilisées en production pour des pièces en très grandes séries. En effet, l'avènement de machines à commande numérique (CN)

Atelier d'injection plastique totalement robotisé chez Iigus en Allemagne.



à certes opéré une profonde remise en question des principes de production, mais ces « *automates mécaniques de production* » ont très longtemps gardé une suprématie en termes de cadence de production et sont même pour certains encore « *indétrônable* » sur ce terrain.

L'émergence de technologies clé

Un constat qui nous montre que l'arrivée de technologies qui ont vocation à améliorer de manière importante la performance des entreprises ne répond pas à une évolution linéaire, mais dans une mutation diffuse s'appuyant sur plusieurs approches concurrentes.

L'avènement de la CN sur les machines a considérablement fait évoluer l'approche de la production. Considérées au début comme des équipements dédiés aux petites et moyennes séries, elles ont peu à peu démontré qu'elles étaient à même de répondre à des besoins de production plus importants tout en apportant une souplesse de planification inégalée grâce à des temps de changements de séries bien plus courts que des machines à asservissement mécanique et une adaptabilité que n'offrent pas les machines spéciales par essence dédiées à un type de production. Pour illustrer cette concurrence, le secteur automobile a longtemps hésité, pour la production de pièces mécaniques, entre une approche de type machine spéciale et l'usage de machines CN organisées en îlots et utilise aujourd'hui des machines CN « dédiées » à des typologies de pièces (arbre de transmission, pignons, support moteur, triangle de direction...). Aujourd'hui démocratisé l'usage de la commande numérique dans la production est incontournable. Que la CN soit basée sur une architecture d'automate programmable ou sur base PC, le pilotage de l'équipement de production passe par une commande numérique. Un avènement qui s'est accompagné des outils de programmation nécessaires. L'évolution dans le domaine de la CN est à rapprocher de

Eric Bredin, directeur Territory Manager France, Iberia, FSA chez Stratasys



« La fabrication additive nous fournit deux approches de production. La première que nous appelons Augmented Manufacturing consiste à réaliser des outillages qui permettent d'optimiser des chaînes de fabrication en fournissant des outillages plus performants dans un meilleur délai. L'Alternative Manufacturing permet de substituer la fabrication additive aux moyens de production conventionnels afin de réaliser, en petite série, des pièces à forte valeur ajoutée en améliorant diverses caractéristiques de la pièce ».

ce que nous avons connu dans le domaine de l'informatique. L'accroissement des capacités de calcul a permis aux éditeurs de concevoir et de faire tourner des algorithmes de plus en plus performants et de gérer de plus en plus d'axes, des trajectoires complexes dans l'espace...

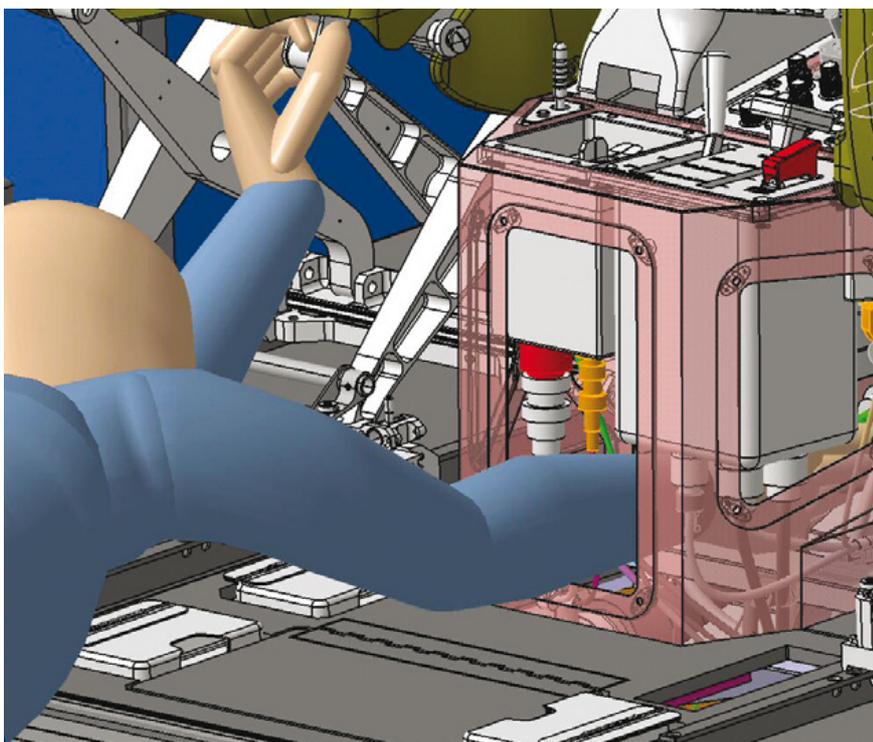
L'émergence de nouvelles machines

Ainsi, les premières machines utilisaient entre 2 et 3 axes positionnés, mais le champ des possibles s'est élargi grâce à une émulation entre les possibilités de pilotage offertes et la complexifica-

tion des machines. Une des premières applications a été l'avènement d'unités de perçage puis de fraisage sur les tours puis l'émergence des centres d'usinage 4 axes permettant de réaliser des pièces en un seul posage, pour arriver aux systèmes actuels qui sont capables de piloter 5 ou 6 axes ou plus en interpolation continue. Or, si l'esprit humain est en mesure de programmer des trajectoires simples sans trop de difficultés, dépasser 3 axes utilisés de manière positionnée n'est pas simple et le pilotage d'un outil en 5 axes continu sans assistance paraît tout bonnement inconcevable. Bien sûr ce type d'usinage n'est pas toujours indispensable car un grand nombre de composants usinés sont réalisables en utilisant les axes de manière positionnée, mais la technologie rend aujourd'hui ces techniques plus faciles d'accès et autorise la création de parcours d'une grande complexité comme dans l'usinage des aubes de turbine ou de dentures hélicoïdales. Des opérations qui nécessitent une assistance de l'opérateur lors de la programmation de la machine. Il existe pour cela une chaîne numérique complète qui couvre l'ensemble des étapes depuis la conception de la pièce jusqu'à son contrôle en passant par sa réalisation. Une chaîne qui intègre la programmation et même la validation du programme.

Virtualiser l'environnement réel

La validation externe au moyen de production est dans certains domaines une nécessité incontournable car les parcours d'outils et les mouvements



Validation d'une opération de production par simulation dans Delmia de l'éditeur Dassault Systèmes.

d'axes sont devenus si complexes que les interférences entre l'outil, les axes, le montage, la pièce... sont imprédictibles. Ajoutez à cela des taux horaires machines importants et des pièces coûtant une fortune et vous comprenez aisément l'intérêt qu'il y a dans une validation hors ligne du programme. Cette dernière s'opère par simulation du code ISO du programme d'usinage dans un environnement numérisé, mais parfaitement réaliste. Sous l'effet conjugué de la complexification des pièces et de l'arrivée de nouvelles techniques, la simulation d'usinage se démocratise et trouve une justification dans l'accroissement de la disponibilité des machines. La simulation joue d'ailleurs un double effet bénéfique sur cet aspect. Le premier réside dans la validation hors ligne du programme qui libère la machine pour des temps de production, le second est lié à la sécurisation du processus de production et à la détection des collisions avant qu'elles se

écho auprès des petites structures qui ne disposent pas de ressources suffisantes pour les utiliser et ne peuvent pas amortir l'investissement logiciel et humain que cela représente.

Des facteurs d'amélioration multiples

Les entreprises préfèrent concentrer leurs efforts sur d'autres aspects plus concrets. Le long travail qui s'est opéré sur les outils, les procédés et les processus est à ce titre édifiant. À part pour des applications de modélisme, (et encore !) qui utilisent des outils en acier rapide ? Là c'est l'avènement et la démocratisation des carbures qui est à l'origine d'une mutation totale des outils dans un premier temps avec l'apparition des outils à plaquette rapportée ou amovible puis des outils carbure massique et maintenant les outils diamant poly ou mono cristallin. Une offre qui, combinée à des géométries

usinier sans réelle valeur ajoutée. Un aspect qui tend à évoluer avec l'arrivée de la cobotique. Jusque-là les robots étaient maintenus, pour des raisons de sécurité, à l'écart des humains qui travaillent à leur côté. De récentes avancées permettent de sécuriser le fonctionnement des robots poly-articulés dans le même environnement que des opérateurs. Il est ainsi concevable d'imaginer un atelier où un opérateur sera assisté à son poste par un ou plusieurs bras effectuant des opérations d'ébavurage et de contrôle au-delà de la simple manipulation des pièces. C'est un profond changement dans l'approche de l'automatisation et de la robotisation des tâches. Pendant longtemps, ces dernières ont eu vocation à remplacer l'homme partout où cela était possible, il semble que tout le monde s'accorde aujourd'hui à penser qu'il est plus pertinent de mettre les robots au service d'hommes qui leur apportent l'intelligence, qui leur faisait cruellement défaut en dépit de tous les capteurs du monde, en échange de la force et de la précision qu'ils apportent.

Vincent Caulet, responsable du secteur industrie chez Bosch Rexroth



« Au sein du groupe Bosch, nous avons identifié le besoin d'un robot capable de travailler en collaboration avec des opérateurs. Un équipement à fois polyvalent, flexible, simple d'utilisation et surtout sécurisé. Après 4 à 5 années de R&D et plusieurs versions, nous avons, en partant d'une mécanique de bras standard, mis au point un robot capable d'éviter tout contact avec son environnement même si ce dernier est imprévisible dans son évolution. Déjà utilisé en interne pour valider son fonctionnement en conditions réelles avant sa commercialisation, il va recevoir une connexion Wifi dans sa prochaine version, pour une configuration encore plus rapide ».

Placer les processus sous surveillance

Aujourd'hui le prix des pièces tend à augmenter sous l'effet de plusieurs facteurs. Les avancées technologiques conduisent à la réalisation de formes de plus en plus complexes, des matériaux exotiques font leur apparition, et leur usage se démocratise. Il convient donc de limiter les rebuts au maximum afin de respecter des équations économiques pérennes pour l'entreprise. Dans ce domaine, les capteurs ont un rôle majeur à jouer. Toutes les technologies de capteurs sont à même de donner des réponses car les besoins sont variés. Prenons le cas de la détection des usures et des bris d'outil qui peuvent entraîner la mise au rebut d'une pièce après un grand nombre d'heures d'usinage. Ce sont des capteurs optique ou laser qui peuvent être utilisés afin de programmer des points de validation de l'état des outils avant leur utilisation. Une approche qui peut être complétée ou remplacée par l'utilisation des vibrations. La détérioration du tranchant de l'arrête de coupe entraîne en effet un changement du régime vibratoire de l'opération. Ce n'est là qu'un exemple et le but final

produisent sur machine en générant des arrêts de production et des surcoûts de maintenance.

Des techniques similaires permettent même de simuler avant même leur mise en œuvre des ateliers ou des chaînes de production complètes avant leur mise en œuvre. Il est ainsi possible de valider la faisabilité des opérations, les temps de production, d'identifier les postes goulots avant même d'avoir passé la moindre commande ou procédé à la moindre mise en place. Utilisée depuis des années dans les grandes entreprises de l'automobile ou de l'aéronautique pour la gestion de grands projets industriels, cette simulation à grande échelle peine à trouver un

de plaquettes et d'outil de plus en plus complexes et des revêtements de plus en plus sophistiqués, ouvre des possibilités d'usinage quasi infinis dans les matériaux les plus divers. Autre axe important, les stratégies d'usinage telles que l'usinage grande vitesse (UGV) ou grande Avance (UGA) ainsi que les stratégies d'ébauche par trèflage ou trochoïdale se révèlent des sources de productivité sérieuses. Dans ce panorama, il convient de ne pas oublier l'usage des robots. Largement utilisés dans l'automobile pour construire des cellules de production dédiées, les robots sont encore peu présents en France dans les ateliers où leur rôle se limite la plupart du temps à remplacer la pièce finie par une autre à

n'est rien de moins que l'avènement de l'usinage auto-adaptatif et au-delà les machines et les usines intelligentes.

La réalité de demain

De la science-fiction ? Pas vraiment ! Les technologies sont déjà là et en quelque sorte, il suffit d'assembler entre elles les différentes briques disponibles pour atteindre cet objectif. Ainsi la gestion des besoins est aujourd'hui assez bien maîtrisée dans l'ensemble des secteurs industriels grâce à l'utilisation généralisée des outils de GPAO jusque dans les petites entreprises. La problématique repose plus dans l'intégration des bonnes pratiques de gestion au sein de l'écosystème pour éviter les distorsions de signal et les amplifications produites par l'application de règles non adaptées. On trouve d'ailleurs dans l'industrie des exemples de chaîne d'approvisionnement qui fonctionnent de manière quasiment auto-adaptative, et parfois même sur des principes visuels simples ne faisant pas intervenir de systèmes informatiques. La cascade d'opérations qui en découle, s'appuie également sur des technologies existantes même si certains capteurs ont besoin d'être miniaturisés et que leur coût doit baisser pour en démocratiser l'usage.

Une nouvelle vision de la production

Aller de l'esprit à l'action par le plus court chemin c'est en quelque sorte ce qui pilote cette évolution. Une quête qu'illustrent bien les différentes approches de fabrication additive qui au-delà de leurs différences se rejoignent sur un même changement de paradigme : envisager la réalisation d'une pièce par agglomération de la matière qui la constitue au lieu de partir d'un volume et d'en approcher la forme par une ablation sélective du surplus de matière constaté. Si l'on confronte cette nouvelle technologie avec l'approche qui consiste à regrouper sur une même machine plusieurs procédés (usinage et ablation laser, tournage rectification...) qui permettent de regrouper des opérations et d'accroître la précision d'usinage et celle qui consiste à utiliser des micro-machines pour construire « des usines de table », c'est toute notre

vision de « l'Usine » qui est en train d'évoluer à la vitesse de l'éclair.

Combinons encore cette vision avec la mise à disposition dans le « nuage » (Cloud) d'applications dédiées à la pro-

partagée et impactant faiblement l'environnement dont les Fab Labs sont les prémices.

Certes le chemin qu'il reste à parcourir pour que ces usines d'un nouveau genre



Machine d'usinage 5 axes doté d'une tête Clad permettant de réaliser des pièces en fabrication additive.

duction et proposées par un large panel d'acteurs de la machine-outil, d'éditeurs, de fabricants d'outillage... et on commence à la voir se dessiner notre usine 4.0 : connectée, adaptative, de proximité,

prennent forme est encore long, mais nous savons aujourd'hui qu'elles sont notre réalité future et surtout notre unique planche de salut industrielle face au modèle de production de masse actuel. ▲

Cobotique et robotique intelligente

Avec la cobotique, la robotique passe un cap essentiel : rendre des mécaniques à l'inertie parfois importante suffisamment inoffensives pour les faire évoluer sans danger en présence d'opérateurs. Elle ouvre ainsi la voie à de nombreuses nouvelles applications, en particulier dans l'assistance aux opérateurs dans des tâches de manutention et d'assemblage.

Des assistants industriels

Si le mot désignant cette nouvelle discipline est né en 1999, plusieurs années ont encore été nécessaires avant de voir arri-

ver sur le marché des solutions viables de robots collaboratifs. Différentes formes de cobots existent. Les premiers, comme ceux du Français RB3D, sont des exosquelettes qui amplifient la force d'un opérateur. Les autres sont des modèles industriels dotés de capteurs et de fonctions de sécurité permettant de contrôler leur comportement en présence d'un humain. En découpant l'environnement du robot en zones de l'espace, des scrutateurs laser autorisent ainsi un homme à s'approcher d'un robot en fonctionnement, entraînant sa marche au ralenti ou son arrêt « sûr », sans nécessiter la coupure de l'alimentation. Les nouvelles

LE DÉFI À RELEVÉR

Le défi ultime consistera à apporter l'autonomie complète à la machine. Dans l'immédiat, il s'agit davantage de créer une chaîne numérique de programmation la plus proche possible de la réalité, afin de réduire les retouches et interventions sur le robot avant sa mise en marche.

générations de machines intègrent pour leur part des capteurs d'efforts ou une « peau » sensible, leur permettant de détecter, voire d'anticiper un contact avec un humain et de s'immobiliser immédiatement. « Les capteurs rendent le robot « sûr », mais pas l'outil qu'il porte. La prochaine étape consistera à intégrer l'outil », note Laurent Bodin, directeur commercial de Yaskawa France. Cela pourrait passer par l'emploi d'autres capteurs d'effort sur la mécanique, ou par la mise en œuvre sur le robot de procédures d'évitement.

Les humanoïdes arrivent

Pour que leurs cobots soient perçus par les opérateurs humains comme de véritables collègues mécaniques, les fabri-



↑ Avantage : Les robots intelligents et collaboratifs assistent l'homme sans le remplacer.

↓ Inconvénient : Leur usage nécessite des dispositifs onéreux et leur vitesse d'évolution, lente, peut porter préjudice à la productivité.

cants devront désormais aussi travailler sur l'aspect psychologique, par exemple en trouvant un moyen de rendre « naturel » et sans conséquence un contact fortuit avec le robot. Autre piste pour rendre les robots plus « humains », construire des machines... humanoïdes. Grâce à des développements mécatroniques, plusieurs modèles à deux bras cumulant jusqu'à 15 axes (7 par bras et une rotation sur le tronc) ont été mis au point – certains sont même commercialisés – par les grands constructeurs. Leurs applications industrielles sont encore peu nombreuses, mais ils pourront notamment assister ou remplacer les hommes dans des applications critiques, par exemple pour la manipulation de produits dangereux, dans des environnements contrôlés, etc.

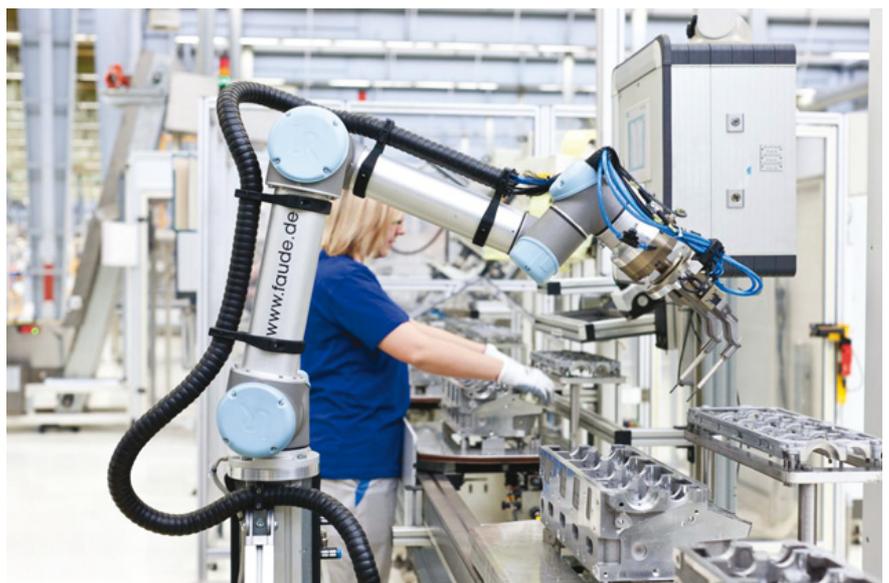
Pour se généraliser dans les usines, les robots de prochaine génération devront aussi gagner en « intelligence ». Pour Yaskawa, cela passera par trois axes : la mobilité, la vision et l'auto-apprentissage. Sur le premier point, ils pourront s'inspirer des développements réalisés dans les AGV (*automated guided vehicles*). Côté vision, ils s'appuieront sur des caméras et des technologies issues du monde de la métrologie. Certains travaillent également sur des systèmes de reconstruction 3D en direct, capables de générer, à chaque instant, une image virtuelle exacte de l'environnement du robot. Enfin, l'auto-apprentissage affranchira les robots de l'inévitable phase de programmation des trajectoires à suivre. Pour l'heure, les ingénieurs s'en approchent en réduisant la complexité des cas à reconnaître à l'aide d'outils mathématiques (symétries, homothéties...) et en utilisant des moyens informatiques plus performants. Le rêve des roboticiens ? Un modèle auquel on ne communiquerait que des gammes, de montage par exemple, et qui disposerait de l'expertise nécessaire pour choisir les mouvements à réaliser et les trajectoires à suivre.

Autonomes et intelligents

Pour Vincent Caulet, responsable des secteurs Industrie de Bosch Rexroth en France, « l'intelligence, c'est plus que de la communication. A terme, le robot saura

“ On se dirige vers une proximité physique des robots et des hommes. Nous n'avons pas le choix. Mais il faut que cela reste simple pour les industriels, pas cher, et le cobot doit être aussi fiable et performant qu'un robot industriel traditionnel. Le robot de demain devra aussi être autonome et adaptatif. En effet, dans les PME, le temps d'apprentissage des trajectoires constitue un frein important, surtout lorsque les lots à produire sont petits. Un robot qui choisirait lui-même ses trajectoires gommerait ces temps de définition des trajectoires. ”

Nicolas Couche, Responsable produits robotique chez Fanuc Robotics.



accomplir une tâche complète de façon autonome. » Sa vision : un pool de robots « intelligents » auxquels un système central communique des plans de production et qui s'adaptent grâce à leur intelligence

embarquée, en organisant leurs travaux au service des machines, en fonction des lots à produire. Une vision d'avenir, qui pourrait se concrétiser plus vite qu'on ne le pense... ▲

POINT DE REPÈRE

- Selon la fédération internationale de robotique (IFR), les ventes de robots industriels dans le monde s'élevaient à 179 000 unités en 2013.
- Le terme de « cobotique », issu des mots « robotique » et « coopération », est né en 1999. Il désigne « l'interaction réelle, directe ou téléopérée, entre un opérateur humain et un système robotique ».
- La norme ISO 10218-2 relative à la sécurité des cellules robotisées industrielles intègre la cohabitation homme-robot mais seul le Japon a sauté le pas en normalisant la cobotique.

Fabrication directe

Voilà déjà plusieurs années que l'on est capable de produire des pièces non pas en procédant à des enlèvements de matière successifs, mais en agrégeant celle-ci de manière sélective en fonction d'une définition numérique de l'objet. Considérées comme des technologies de prototypage rapide, les solutions de fabrication additives s'émancipent de cette fonction première pour jouer un rôle de production de plus en plus grand. Si depuis 2001, la part de marché de la

fabrication additive (540 Millions de dollars) a été multipliée par un facteur 5 ou 6, la proportion de pièces réalisées pour une utilisation finale non-prototype est elle passée de 4 % à 20 % et représente actuellement un marché mondial de 600 millions de dollars.

La partie est déjà jouée

La part de fabrication directe est donc aujourd'hui tout sauf anecdotique et il est

LE DÉFI À RELEVÉ

Obtenir des pièces ébauchées, finies ou même des ensembles fonctionnels directement à partir de leur définition numérique, en mettant en œuvre des matériaux identiques à ceux utilisés par les procédés de fabrication conventionnels en terme de comportement mécanique.

plus que probable que cette approche va connaître dans les années qui viennent un engouement croissant.

Plusieurs facteurs plaident en ce sens. C'est une technologie qui permet de répondre aux besoins de personnalisation demandés par le marché pour des coûts acceptables, mais le principal facteur de progression est technologique. Aujourd'hui, l'approche de fabrication directe que mènent certains industriels consiste à prendre une pièce existante complexe, difficile et coûteuse à obtenir, et à adapter sa définition à une réalisation par impression 3D. La pertinence des procédés de fabrication additive en production reste limitée dans ce contexte. Par contre si la remise en question de la conception de la pièce est plus profonde et intègre des



↑ **Avantage** : La technologie permet d'obtenir des pièces à partir de leur seule définition numérique, sans outils ni outillage et dans des délais records.

↓ **Inconvénient** : Les matériaux sont coûteux et ne présentent pas toujours les mêmes caractéristiques notamment pour les matériaux métalliques (porosités, tensions interne structure métallographique différente...).

6 *Il y a une difficulté à diffuser ces technologies du fait de leur grande diversité et du peu de formation disponible pour les démocratiser auprès des PME-PMI. Nous avons aujourd'hui de nombreuses entreprises qui nous contactent en envisageant de faire appel à ce type de procédés mais qui hésitent encore à se lancer.*

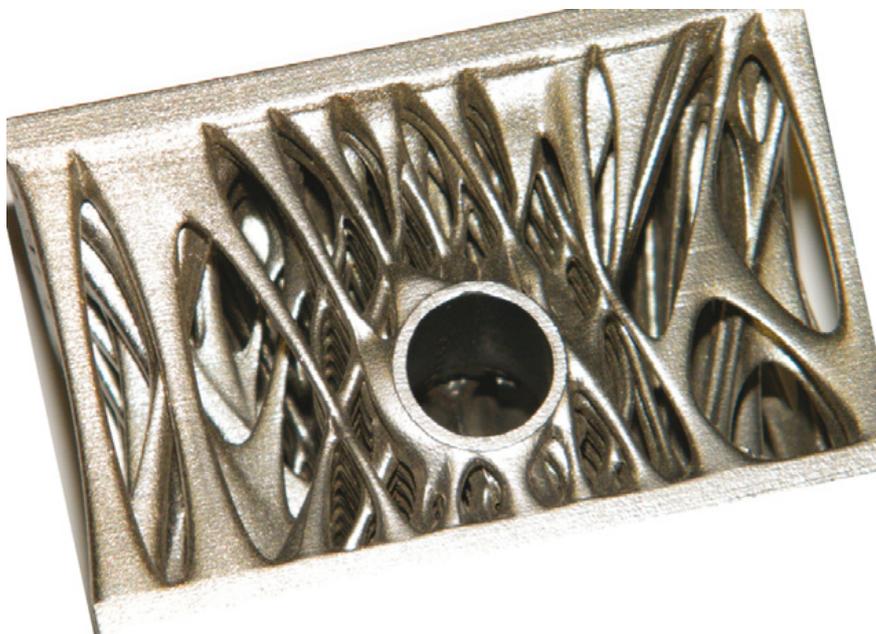
Éric Gallet, responsable commercial Procédés Performants et Innovants au Cetim

applications dans le domaine de l'électronique à partir de matériaux conducteurs et la production de tissus organiques est aujourd'hui une piste des plus sérieuses. Neri Oxman, artiste et chercheuse au très sérieux MIT, considère même que des matière 4D vont faire leur apparition. Elles présenteront des capacités adaptatives comme nos tissus organiques en réagissant aux sollicitations (frottement pression chaleur, contact...) et seront même capables de se régénérer. S'il est difficile d'imaginer les applications possibles en terme de produit, on imagine allégrement qu'il ne sera pas envisageable de les produire de manière conventionnelle. ▲

regroupements de fonctions, des allègements de pièces – nombre de pièces deviennent tout simplement non réalisables de manière économique autrement –. C'est le cas de composants comportant des corps creux renforcés par des structures en nid d'abeille ou en réseau cristallin (lattice).

De nombreux challenges à relever

Pour autant, il y a plusieurs défis à relever avant que la fabrication directe ne trouve la place qu'elle revendique. La première clé tient dans les matériaux. Pour les polymères et pour les métaux dans une moindre mesure, nous avons affaire à une combinaison matière processus très intriquée qui conduit souvent les utilisateurs qui optent pour une technologie, à devenir captifs de leur fournisseur de machine en terme de consommable. « *C'est un verrou qu'il va falloir lever pour que les industriels se lancent* » considère Éric Gallet, responsable commercial Procédés Performants et Innovants au Cetim. La technologie doit également faire des progrès dans le domaine des pièces métalliques pour que les caractéristiques deviennent compatibles avec des exigences élitistes : absence de porosité et de tensions résiduelles par exemple. Le succès passe également par une sélection et une réelle industrialisation des équipements. En fait toutes les technologies de fabrication additive ne vont pas intéresser les acteurs de la production de manière égale mais elles ont toute leur chance à condition de faire l'objet d'une prise en compte des besoins du secteur concerné. L'impression 3D par collage de papier (SDL), que l'on



serait tenté de rejeter d'un revers de main pourrait bien trouver sa place dans les métiers de l'emballage si l'on remplace le papier par des cartons d'épaisseurs adaptées.

Ce n'est là qu'un exemple et les applications ne se limitent pas à la production de pièces plastiques ou métalliques pour des applications mécaniques. Il existe des

POINT DE REPÈRE

- La plus grande imprimante 3D du marché : la VX4000 de Voxel Jet qui offre un espace de travail de 4 m sur 2 sur une hauteur de 1 mètre pour la production de pièces ou d'éléments en sable pour moules de coulé.
- La part de fabrication directe dans l'enveloppe de l'impression 3D : en 2013 la fabrication directe, c'est 20 % d'un marché de 3 milliard de dollars.
- La plus petite pièce produite : une maquette de formule 1 d'environ 1 dixième de mm de longueur avec une précision de l'ordre du micron.

Services vs Industries – la fin de la guerre

Parmi les changements fondamentaux d'Industrie 4.0, on trouve l'arrivée à grande échelle des services. Durant des années, deux entités étaient souvent opposées, on les disait antagoniques, d'un côté les entreprises qui concevaient/produisaient, et de l'autre les entreprises produisant des services, les plus souvent destinés aux premières.

Avec Industrie 4.0, les entreprises de production deviennent fournisseurs de services comme les autres, les cartes sont rebattues.

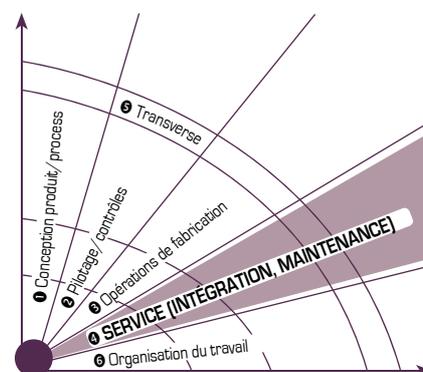
Comme le note le CEPPI, « la frontière entre la fabrication de biens matériels et la production de services est en réalité bien plus floue que la stricte distinction imposée par les classifications statistiques des activités. Ce flou a une double dimension. Tout d'abord, les entreprises industrielles ont, nécessairement, une production de services pour compte propre. En effet les processus de production industrielle impliquent un grand nombre d'activités de services. Pour autant, les travailleurs de l'industrie employés à ces tâches de services participent effectivement à une production finale de biens et peuvent légitimement être comptabilisés comme des travailleurs industriels. La seconde zone de confusion entre industrie et services est plus profonde. Le fait est que de nombreuses entreprises enregistrées dans les secteurs industriels ont aussi une production de services pour compte d'autrui, c'est-à-dire pour les proposer en tant que tels à des clients extérieurs ».

Et les exemples ne manquent pas. Ils correspondent souvent à des services complémentaires aux biens manufacturés, produits et vendus par l'entreprise : un producteur de fenêtres propose leur installation, un producteur de machines se charge de leur maintenance, un producteur de matériel électronique offre des « contenus », un constructeur automobile des services financiers, etc.

La production de services pour compte d'autrui peut aussi résulter d'une stratégie d'externalisation des segments les plus « industriels » de la chaîne de valeur,

“ L'activité de services de prestations intellectuelles devient un facteur de la compétitivité des secteurs qui ont recours à ces services. ”

la firme « industrielle » se concentrant sur le développement et la commercialisation. Elle produit alors des services, vendus à des sous-traitants en charge de la production matérielle.



L'un des premiers à avoir souligné la fin de l'affrontement, production/services, c'est le Syntec qui, au début de cette année, a souhaité ne plus être catalogué dans la « rubrique - Services ». Ses adhérents travaillent dans et pour l'industrie, seulement leur job ne peut être assimilé à quelque chose de physique, de palpable.

Pour mieux faire apprécier leur valeur ajoutée, ils ont même lancé le terme d'API pour Activité de Prestations Industrielles,

ces activités de prestations agrégeant l'ensemble des activités de conseil, de services liés au numérique ou encore de services d'ingénierie. Des services partie intégrante du processus de produc-

tion global. En première approximation, le syndicat évalue à 800 000 le nombre d'emplois concernés.

Alors que représentent ces services/prestations ? Difficile d'y voir clair, c'est le cabinet COE Rexecode qui donne des éléments.

Un secteur aux 800 000 emplois

Le travail de COE Rexecode a consisté à apprécier comment la compétitivité des activités de services de prestations intellectuelles contribue à la compétitivité globale du système productif. L'objectif a consisté à analyser les conditions de l'insertion internationale et de la compétitivité de ces activités elles-mêmes. Elle visait également à approcher comment ces activités étaient facteurs de compétitivité des secteurs auxquels elles apportent leurs prestations.

Le chiffre d'affaires des entreprises de prestations intellectuelles incluses dans ce périmètre était en 2011 de 160 milliards d'euros. Leur excédent brut d'exploitation était estimé à 12,7 milliards d'euros et leurs effectifs se montaient à près de 800 000 emplois mesurés en équivalent temps plein.

COE Rexecode précise que les échanges internationaux de services de prestations intellectuelles ainsi définis présentent un solde déficitaire en France en 2012, dernière année connue, de 1,7 milliard d'euros. Il masque des divergences marquées selon le type d'activités, ainsi le solde des échanges internationaux de services informatiques est déficitaire à hauteur de 1,6 milliard d'euros. Il en va de même pour les échanges internationaux de services d'architecture, d'ingénierie et autres services techniques. A l'inverse, les échanges internationaux de services juridiques, comptables, de conseil en gestion et de relations publiques présentent un solde excédentaire à hauteur de près de 2 milliards d'euros.

Au total, les exportations de services de prestations intellectuelles se sont montées en France à 19,5 milliards d'euros en 2012. Elles sont ainsi équivalentes à 1 % du PIB et à un peu plus de 3,4 % de l'ensemble des exportations de biens et

services effectuées depuis la France. En comparaison, les exportations de ce type de services sont d'un montant équivalent à 1,6 % du PIB en Allemagne, 0,5 % du PIB en Italie, et 2,3 % du PIB au Royaume-Uni.

Produit intégrant des services

Parmi les apports de l'étude de COE Rexecode, il est noté que la production et, in fine, l'exportation de biens industriels (qui représentent environ les trois quarts des exportations françaises) incorpore une part croissante d'activités de services dans leur produit, et notamment de services de prestations intellectuelles.

En conséquence, en même temps que les services associés à un produit sont un des éléments qui façonnent la compétitivité et l'image d'un produit, la compétitivité de

Mais attention spécifie le rapport, enjeu de compétitivité pour les biens industriels comme pour leurs propres exportations, les activités de services de prestations intellectuelles en France pâtissent d'un désavantage en matière de coût du travail vis-à-vis de leurs partenaires européens.

L'importance de cette dimension est d'autant plus marquée dans ces secteurs que le coût direct du travail représente de 35 à 50 % de la valeur de la production selon les activités de services de prestations intellectuelles contre 17 % dans le cas de l'ensemble de l'industrie. En 2011, le salaire moyen par tête dans ces activités est de 58 427 euros à comparer à un salaire moyen par tête de 34 313 euros dans l'ensemble des branches et de 36 460 euros dans l'industrie manufacturière. Le salaire moyen par tête dans les activités

“ Il est nécessaire d'encore mieux intégrer produits et services pour favoriser les nouveaux types de consommation. ”

l'activité de services de prestations intellectuelles devient un facteur de la compétitivité des secteurs qui ont recours à ses services. C'est d'autant plus le cas que le recours par l'industrie à des services de prestations intellectuelles a eu tendance à s'accroître au cours des années récentes.

En 2011, le montant des prestations de services de prestations intellectuelles (entendues ici par le regroupement de l'ensemble des activités juridiques, comptables, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques, les activités spécialisées, scientifiques et techniques, ainsi que les activités de services informatiques et de services d'information, soit un champ plus large que celui de la Fédération Syntec) achetées par l'ensemble de l'industrie manufacturière s'est monté à 37,6 milliards d'euros. Ce montant correspond à 4,9 % de la valeur de la production de l'industrie. En comparaison, le montant de la rémunération que l'industrie verse directement à ses salariés représente l'équivalent de 16,7 % de la valeur de sa production.

de services de prestations intellectuelles est ainsi d'un montant équivalent à 3,6 fois le SMIC (2,2 fois le SMIC dans l'industrie manufacturière).

Imbriquer Services et Produits

Avec Industrie 4.0, c'est l'implication du client dans la chaîne de valeur, du design à l'utilisation, soit une « consommation hybride », qui est l'enjeu. Le développement de nos usines est forcément lié à une amélioration simultanée de la qualité de service et de la rentabilité. Il est nécessaire d'encore mieux intégrer produits et services pour favoriser les nouveaux types de consommation.

C'est le cas, par exemple, d'une utilisation 100 % connectée d'un véhicule, dès sa conception, qui va influencer ses caractéristiques de conduite, le confort, la sécurité, mais aussi la relation entre le client et le constructeur. Le passage d'une maintenance réactive à une maintenance proactive, à la fois plus souple pour le conducteur mais aussi plus économique pour le constructeur, est un exemple que suivent certains constructeurs allemands. ▲

Maintenance prédictive



Un équipement qui tombe en panne coûte bien plus que sa remise en état et même que son entretien. Le meilleur exemple de besoin de maintenance préventive, c'est celui de la courroie de distribution d'un moteur thermique dont la rupture peut

mais c'est plutôt son orchestration au sein de l'entreprise qui est sujette à une évolution. En effet nombre de petites entreprises sont encore organisées pour assurer des opérations d'entretien de premier niveau, et font du curatif pour le reste. Les sociétés les plus avancées



engendrer un grave endommagement du moteur. Ainsi la conscience de la nécessité d'anticiper les opérations de maintenance n'a-t-elle rien de nouveau

font du préventif basé sur les durées de fonctionnements ou des dates de visites décidées plus ou moins empiriquement. Le concept de maintenance

LE DÉFI À RELEVER

Prévoir les besoins d'intervention sur les équipements de production afin de planifier leur déroulement en fonction de critères multiples comme la disponibilité des équipes et des pièces de rechanges mais également le niveau de stock, les prévisions de consommation, pour que l'absence de panne se conjugue avec une optimisation de la productivité dans une démarche de TPM (Total Productive Maintenance).

prédictive représente le cap au-dessus, mais arrêtons-nous sur les enjeux pour bien comprendre l'objectif. Lorsque l'on applique les principes de la maintenance préventive, on limite les conséquences des pannes mais les coûts ne sont pas réellement optimisés. La pièce que l'on a changée, n'aurait-elle pas encore tenu quelques jours, semaines ou mois ? Un temps durant lequel on aurait pu continuer à produire sans interruption. À l'inverse, une décision d'espacer les interventions pour maximiser la performance peut avoir des effets dramatiques sur la production.

↑ Avantage : La gestion prédictive de la maintenance s'accompagne à terme d'une disparition des arrêts de production pour causes de panne.

↓ Inconvénient : Cette approche a un coût important car anticiper les arrêts de maintenance, c'est de la non-productivité et remplacer un élément avant que ce soit indispensable n'est pas non plus gratuit.

“ En cas de panne, l'identification des causes d'arrêt est assez facile à identifier, car nous disposons d'une demande d'intervention, par contre, déceler des micro-arrêts et en comprendre l'origine est plus complexe. La perte de productivité est la clé. C'est donc le TRS qui nous sert de détecteur. Nous le mesurons et il nous sert de référence pour chaque poste de production. S'il chute pour une cause non définie, nous déclenchons un chantier d'amélioration continue. ”

Vladimiro Carminati, responsable maintenance en charge du déploiement de la TPM chez Brembo



Placer les composants sous surveillance

Dans ce contexte, les choix sont cornéliens ou assimilables à la roulette russe. L'objectif de la maintenance prédictive est, comme le laisse entendre son nom, de prévoir le moment où une panne se produira. Non pas sur la base d'une expérience plus ou moins longue que l'on a d'un système, mais par une surveillance de son comportement. Il s'agit de substituer une prise de décision objective à l'approche statistique que représente aujourd'hui l'approche préventive des opérations d'entretiens. Il convient pour cela d'une part de déceler des critères objectifs de bon fonctionnement (consommation électrique, niveau vibratoire, température...) et d'affecter les

dérives à des dysfonctionnements. Une fois ce travail effectué, il suffit de placer la constante sous contrôle pour déceler un problème technique. Prenons le cas d'un arbre tournant, chacun des paliers présente une « signature vibratoire » donnée lorsque le matériel est neuf. Au fil du

temps et de l'utilisation, cette signature va évoluer du fait de l'usure des roulements, de la disparition de la lubrification... Une surveillance régulière de cette signature permet de cibler le ou les éléments qui nécessitent une intervention ou une surveillance accrue. Dans ce cas, il n'est plus indispensable de réaliser une intervention systématique à intervalle régulier sur les équipements car certains éléments, moins sollicités que les autres pour des raisons variées et pas forcément identifiées, nécessiteront moins, voire pas, de besoin d'entretien sans risquer pour autant de provoquer une panne.

Truffer les machines de capteur

Dans le cas que nous venons d'évoquer la surveillance reste périodique mais la miniaturisation et surtout la démocratisation des capteurs conduisent inévitablement à leur intégration au sein des systèmes. Celle-ci permet de placer les équipements sous contrôle permanent et de diffuser des alertes aux équipes d'exploitations ou directement à celles de maintenance afin que ces dernières statuent sur la gravité et planifient l'intervention. L'intérêt majeur de cette approche est qu'elle permet de mettre en place des seuils limites correspondant à des niveaux donnés de signaux. Il est ainsi possible de planifier une réponse graduée. Lorsque notre palier-exemple commence à donner des signes de faiblesse, il est envisageable de différer l'intervention parce qu'un arrêt de maintenance pénaliserait la production, car il reste sous surveillance et que le fonctionnement de l'équipement peut être conditionné à un niveau de signal supérieur considéré comme inacceptable. Ça revient à jouer à la roulette russe avec le cran de sûreté ! ▲

POINT DE REPÈRE

Pour l'AFIM, la maintenance en France génère annuellement 21,2 milliards d'€ de dépenses dans l'industrie (2,3 % de la production en valeur), dont 7,1 milliards d'€ sous-traités. 17,6 milliards d'€ de dépenses dans l'immobilier et tertiaire, dont 13,2 milliards d'€ sous-traités et 12 milliards d'€ de dépenses en produits et composants industriels en maintenance et travaux neufs.

La maintenance industrielle c'est d'après l'AFPA : 213 000 salariés dans tous les secteurs de l'industrie, 20 000 recrutements par an dont 70 % au niveau techniciens et agents et maîtrise.

Les 4 métiers « qui montent » - Techniciens de maîtrise de maintenance d'équipements industriels, agents de maîtrise de maintenance d'équipements industriels, techniciens méthodes en maintenance, techniciens de maintenance de parc éolien.

Ces technologies transverses qui font exploser les silos

Plusieurs technologies transverses vont impacter tout autant les bureaux d'études que la production dans l'Industrie 4.0. Les silos sautent.

Convergence à tous les étages

Parmi ces technologies transverses, nous faisons un focus sur quelques tendances lourdes, parfois directement liées entre elles. Comme l'explique Jean-Pierre Hauet, Président d'ISA-France, l'Energy Harvesting reste un sous-problème de l'Internet Industriel des Objets (IIoT). Les objets connectés auront d'autant plus d'intérêt qu'ils pourront s'autoalimenter et être indépendants.

Vision complémentaire pour Oliver Vallée, de Rockwell Automation, « les capteurs intelligents mis en place via l'IIoT vont produire beaucoup de données, ce qui implique une architecture Ethernet et du

Olivier Vallée, Directeur marketing de Rockwell Automation France



« Les capteurs intelligents mis en place via l'IIoT vont produire beaucoup de données, ce qui implique une architecture Ethernet et du Cloud. De quoi nécessiter de l'analyse de données, d'où le Big-Data Analytics. »

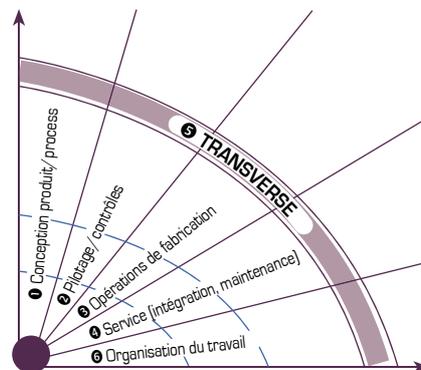
Cloud. De quoi nécessiter de l'analyse de données, d'où le BigData Analytics ».

Une convergence imposée également aux offreurs, aucun ne sera capable de maîtriser toutes ces technologies. Les automatismes devront travailler avec les informaticiens, pour la cybercriminalité ce sera avec McAfee ou Cassidian (devenu Airbus), dans le Cloud avec Cisco... Convergence confirmée par Vincent Jauneau, Directeur des Divisions Industrie de Siemens France, « Industrie 4.0 impose un changement dans les méthodes de travail, que ce soit pour les offreurs, comme nous, ou pour les clients dont les services vont devoir collaborer encore plus ».

Des normes en devenir

Autant pour les technologies précédemment détaillées (conception, contrôle/commande, production...), il était possible de parler des évolutions dans le temps, certaines technologies ayant pratiquement un siècle d'existence, autant pour les nouvelles technologies issues, pratiquement en totalité, du monde numérique, la maturité et le niveau des connaissances restent limités.

D'où une maîtrise différente en fonction de la typologie des entreprises, comme



le précise Patrick Lamboley, End User Business Group - Industry Business chez Schneider Electric, « pour l'instant les demandes proviennent de groupes industriels qui, le plus souvent, ont plusieurs sites implantés mondialement. A

Patrick Lamboley, Customer View and Marketing Director chez Schneider Electric

« Nous allons assister à la virtualisation du poste de travail. A terme, en fonction de la demande, les bonnes configurations du poste de travail descendront via le Cloud. »



l'inverse, le nombre de PME est restreint, ce qui semble logique eu égard à l'offre de services encore limité ».

Pour fonctionner sans à-coup, ces technologies transverses devront adopter un/des standards. Si l'Allemagne et les Etats-Unis

Frédéric Drappier, Directeur Général de National Instruments France & Portugal

« Nous sommes aux balbutiements du Big Data Analytics. De premiers changements importants apparaissent, durant des années les industriels étaient parcimonieux en terme d'échantillonnage, ils freinaient le nombre d'informations à stocker. Ce verrou est en train de sauter. »



Vincent Jauneau, Directeur des Divisions Industrie de Siemens France

« Industrie 4.0 impose un changement dans les méthodes de travail, que ce soit pour les offreurs, comme nous, ou pour les clients dont les services vont devoir collaborer encore plus. »



sont en pointe, la France met son « grain de sel » avec un groupe de travail ad hoc à l'Afnor, notamment pour relayer Industrie 4.0 avec les standards de bas niveau.

Comme le précise Jean-Pierre Hauet, « I2dO devra reposer sur un ensemble de technologies et de standards reconnus par les trois organismes que sont l'ISA, l'IETF et l'IEEE, et les produits devront être compatibles entre eux ».

L'Industrial Internet Consortium (IIC), organisme à but non lucratif, est sur la même longueur d'onde. Sa mission est de faciliter l'intégration du monde réel et du monde digital en créant des normes cassant les silos technologiques qui pourraient freiner l'adoption de l'Internet Industriel. Il travaille notamment à identifier les normes d'interopérabilité et à définir des architectures communes de manière à ce que les appareils, capteurs et abonnés réseaux puissent communiquer, de manière sécurisée.

Même combat pour l'Energy Harvesting avec les travaux de l'IEEE et son CoAP (Constrained Application Protocol) qui est un protocole de niveau « application » dédié aux dispositifs dotés de faibles ressources comme les capteurs et actionneurs auto-alimentés. Un protocole qui devrait être adopté dans l'industrie, mais pas avant cinq ans.

Des développements encore en gestation qui confirment que nous n'en sommes encore qu'aux prémices, toutes les techno-

logies ne sont pas matures. Mais comme le rappelle Vincent Jauneau « pour que les industriels avancent et investissent dans le 4.0 encore faut-il que l'offre existe. Et si certains offreurs sont fin prêts notamment sur la partie Hard, infrastructure, il n'en va pas de même pour les services et logiciels associés ».

Dans le même temps, il faut aider les industriels à comprendre et maîtriser ces technologies. Par exemple, avoir un Cloud, reste simple, encore faudra-t-



Philippe Bertrand, Directeur Général de Phoenix Contact France

« Au fil des ans, la technologie pose de moins en moins de problème, la véritable barrière est culturelle. Dans le domaine des technologies nouvelles, une fois cette barrière tombée, l'amplification sera très rapide. »

il l'organiser pour retrouver ses petits, comme le souligne, Vincent Jauneau « la collaboration entre les mondes de la production/conception et informatique aura obligatoirement lieu. Si pour la partie SaaS le développement se fera tout naturellement, le stockage des données devra se faire de façon intelligente ». La Smart Industrie dans toute son ampleur.

Entre le 3.0 et le 4.0, il reste des unités

Si le 4.0 est un objectif à terme pour beaucoup d'industriels, aucun ne passera du 3.0 au 4.0 en une seule fois. Aussi les pro-

fessionnels préconisent-ils de procéder par étape, et chronologiquement.

Le Ministère du Redressement Productif dans son plan « Usine du Futur » va même jusqu'à prendre en compte le parc machines actuel, et souhaite dans un premier temps que les entreprises se mettent à niveau avant de s'attaquer au 4.0.

Il est donc primordial qu'elles intègrent la notion de 4.0 dès l'origine, qu'elles en comprennent les enjeux car l'architecture qu'elles vont mettre en place devra être cohérente avec les évolutions futures.

Autre élément à prendre en considération, au moment où nous détaillons quelques-unes des technologies transverses, c'est que l'Industrie 4.0 ne sera pas que tech-

Jean-Pierre Hauet, Président d'ISA-France

« Il est illusoire de vouloir tout mettre dans le Cloud. Il n'y a aucun intérêt de transférer ce qui est local, sauf si l'on veut créer du BigData Analytics pour le plaisir de le résoudre. »



nologique. Elle implique un challenge organisationnel et culturel.

Ce que confirme Philippe Bertrand, Directeur Général de Phoenix Contact France, « Au fil des ans, la technologie pose de moins en moins de problème, la véritable barrière est culturelle ». Un frein qui pourrait sauter rapidement, tellement le lien est fort entre les technologies nouvelles Grand Public et celles développées pour les marchés industriels (Cloud, Energy Harvesting...) de l'énergie avec les Smart-Grid, le tertiaire... et Philippe Bertrand de prévenir « l'amplification sera rapide, une fois cette barrière tombée ». ▲

Internet Industriel des Objets

50 milliards d'objets connectés en 2020, mais seulement 2,7 % des objets identifiables à cette même échéance. Autant dire que le potentiel est énorme.

Derrière le terme d'Internet Industriel des Objets (IIoT) se cache la volonté de mettre en place des éléments technologiques, des cyber-objets autonomes aptes à prendre des décisions locales. Un concept de l'hyper connectivité qui, s'il est en pleine explosion dans notre monde numérique quotidien (on parle alors d'IIoT), est encore loin de trouver sa place dans les lignes de production, même si elles devront s'adapter pour produire, justement, ces nouveaux produits IIoT.

Les industriels ne vont pas tout « casser » pour implanter des cyber-capteurs ou des cyber-actionneurs, d'ailleurs Jean-Pierre Hauet, Président d'ISA-France, ne note pas « d'emballage très fort de la part des fournisseurs ».

A leur décharge, autant le lien entre un téléphone portable et son bracelet podomètre semble évident, autant au sein d'un site de production, les applications sont moins flagrantes. Mais attention,

plusieurs acteurs ont fait de l'IIoT leur stratégie pour les années à venir. Selon Jim Heppelmann, le PDG de PTC « *c'est le prochain bouleversement de notre écosystème, à la fois pour les consommateurs et pour les fabricants. Pour ces derniers, la possibilité de suivre en temps réel un produit tout au long de sa vie et de remonter les informations sur son état et son environnement est un vecteur formidable d'innovation. Ils pourront ainsi améliorer la conception de la génération suivante, anticiper les pannes...* ».

Pour Jim Heppelman « *on n'achète plus un produit, mais le service qu'il peut rendre* ». Nous sommes passés du « Product » au « Smart Product », désormais c'est l'intégration de capteurs et de dispositifs de communication qui leur permettront de devenir des « Smart Connected Products ». Ce sont ces technologies qui constituent la principale source de valeur ajoutée. Et pour concevoir et fabriquer des produits intelligents connectés, il faut des technologies qui vont au delà du traditionnel PLM. C'est pourquoi la SLM et l'ALM, respectivement la gestion de vie des Services et des Applications autour des produits, font partie de la stratégie des offreurs.

La communication sera au cœur de l'IIoT d'où, notamment, la création du Consortium Internet Industriel (IIC) par AT&T, Cisco, GE, IBM et Intel. Son objectif est de formuler des exigences en matière de standards d'interopérabilité et de définir des architectures communes pour la connexion des équipements intelligents, des machines, des processus... pour améliorer l'intégration des mondes physique et numérique. Aujourd'hui, le consortium réunit plus de 60 sociétés.

LE DÉFI À RELEVÉ

Du côté des clients

Sur les lignes de production, les industriels attendent de ces IIoT qu'ils apportent une meilleure visibilité sur les procédés, des communications directes plus rapides, une distribution optimale des données et des traitements, une réactivité accrue et évidemment une intégration totale entre le monde de l'IT et celui de l'OT. Une volonté qui se heurte parfois à des notions de temps réel/temps critique, de disponibilité, de sécurité...

↑ **Avantage :** La possibilité d'amener de l'intelligence au plus près des composants/cybers-systèmes, avec pour ces derniers la capacité de décision locale plus prompte.

↓ **Inconvénient :** Une ouverture totale vers l'extérieur, d'où un risque lié aux cyber-attaques. En 2012, on dénombrait 102 attaques de cybercriminalité réussies par semaine, deux ans plus tard le chiffre est passé à 122.

Les premières briques se mettent en place. « Elles vont rapidement rencontrer les mêmes problèmes d'interopérabilité qu'à l'époque des bus de terrain, mais avec un niveau de complexité bien plus élevé. Il faut créer un réseau social d'abonnés avec une autorité qui impose le respect, par exemple si A veut dialoguer avec B, il faut édicter des conditions et empêcher que tout capteur puisse communiquer directement avec tout autre capteur, sinon c'est l'anarchie » prévient Jean-Pierre Hauet, pour qui les travaux menés au sein de l'ISA, notamment sur le sans-fil, seront essentiels.

Et ces contraintes (communication, sécurité...) se retrouveront avec les capteurs/actionneurs disséminés sur les sites industriels « une porte que l'on ouvre, peut toujours mal se fermer » insiste Frédéric Drappier, Directeur Général de National Instruments France & Portugal. D'où, depuis quelques temps, la création du consortium IIC (*Industrial Internet Consortium*) pour travailler sur les futurs standards. Autre initiative liée à l'I2oD, la création de réseaux cellulaires pour objets comme Sigfox, un réseau bas débit ayant une faible consommation d'énergie et une portée de plusieurs kilomètres.

Bien démarrer

Alors que faire ? Attendre que tout soit réglé ? Certainement pas, même si toute l'offre matérielle et de service n'est pas encore disponible sur le marché. L'une des premières étapes consiste à mettre à niveau son outil de production avec un réseau utilisant le même protocole. Comme le précise Patrick Lamboley, End User Business Group - Industry Business chez Schneider Electric, « c'est une priorité pour supporter la convergence entre l'outil de production et l'informatique de l'entreprise ».

Pour cette première étape, l'offre est mature depuis plusieurs années. L'arrivée d'Ethernet a simplifié la partie câblage, même si plusieurs standards de communication existent. D'ailleurs des offreurs ont même pris le parti de ne plus proposer que des produits compatibles, par exemple chez Schneider Electric, qui a choisi EthernetIP, tous les nouveaux variateurs, automates... sont « IP compatibles », de façon native.

« Les possibilités offertes et les données générées par cette nouvelle génération de produits intelligents connectés impliquent d'appréhender différemment les applications d'entreprises et l'écosystème connecté pour optimiser les processus métier existants, améliorer la prise de décision et ouvrir le champ des innovations.

Jim Heppelmann,
Président-directeur général, PTC Inc.

Globalement, pour Vincent Jauneau, Directeur des Divisions Industrie de Siemens France, « cette notion de Cyber-objet est en devenir. Pouvoir connecter drives, CN, coupleurs... devrait prendre encore une année de développement ».

Chez Rockwell Automation, Olivier Vallée, Directeur marketing explique que « la stratégie maison est de passer de l'architecture multidisciplinaire (motion, safety...) qui permet le contrôle de l'information via un réseau, un automate programmable, des capteurs... à l'Integrated Control Information qui permet la gestion et l'analyse des données, la mobilité... ».

Demain, les services

C'est sur cette architecture que vont circuler les divers services. Services encore en développement, même si des logiciels de maintenance prédictives existent. Le futur des I2dO est encore à venir.

D'où une stratégie pour aider les clients à tester la technologie qui se résume à proposer de premiers services simples, comme un basique monitoring, si possible de manière gratuite. Des outils statistiques viendront ensuite enrichir le service, cette fois-ci le client pourra déci-

der d'utiliser ou non le service, celui-ci devenant payant. Et ainsi de fil en aiguille, ce sont des solutions complètes, hébergées dans le Cloud, qui pourront prendre place.

Au bout du bout, le BigData Analytics apportera de l'intelligence aux installations industrielles, et Pascal Brosset, Senior VP Innovation & Chief Technology Officer de Schneider Electric, de citer des exemples dans le domaine de la gestion de l'eau, permettant de visualiser une pompe à l'arrêt, de savoir dans le même temps à quoi sert la pompe et qui elle alimente. Un moyen de prioriser les décisions.

Et les ouvertures sont multiples comme le détaille Philippe Caisson, Business Development Manager chez Siemens, « avec un logiciel comme IntoSite, vous avez entre les mains un navigateur d'usines qui autorise, via des outils comme Google Earth, d'aller dans une usine, de cliquer sur une machine pour connaître ses caractéristiques... avec la possibilité de prendre contact avec une personne physique présente sur le site ». Une approche retenue par Ford qui, disposant déjà des maquettes numériques de ses sites de production, modélise ses différents sites d'assemblage en 3D. ▲

POINT DE REPÈRE

- Tout comme l'Internet of people a modifié les rapports entre personnes, l'Internet Industriel des Objets changera les relations entre sociétés.
- S'il manque un composant, l'outil peut de lui-même décider de stopper ses activités, de passer une commande pour réalimenter le stock et alerter les responsables.
- Pour McKinsey, l'I2dO représentera une valeur ajoutée potentielle de 6,2 trillions de dollars par an pour l'économie mondiale d'ici 2025. A cette date, 80 à 100 % des fabricants auront adopté les applications IdO, soit un impact économique potentiel de 2,3 trillions de dollars pour la seule industrie manufacturière mondiale.

Cloud computing



Venues du monde informatique, il est normal que les premières et principales applications se trouvent plutôt dans la partie gestion, conception... que dans la production pure. Mais dans l'Industrie 4.0 connectée, toutes les composantes vont devoir migrer vers le Cloud.

D'abord les logiciels et le SaaS

Pour définir le Cloud, on peut le faire au travers de trois caractéristiques : un terminal d'accès (PC, tablette ou smartphone) relié à internet ou à un réseau privé ; une infrastructure informatique externe à l'entreprise ; et enfin des applications. Le Cloud computing est une solution qui fournit un espace numérique virtuel comme un service, avec un paiement à la consommation.

Dans le domaine industriel, les premiers à avoir été intéressés par le Cloud furent les utilisateurs de logiciels et applications métiers (calcul numérique, PLM, CAO, collaboration...). On parle dans ce cas de SaaS (*Service as a Software*) qui donne accès à un ou plusieurs logiciels pré-installés et à un espace de stockage pour ses données. Un bon moyen de payer à moindre frais des logiciels en fonction du temps d'utilisation, mais également

de ne pas avoir à régler les problèmes de mise à niveau. Les dernières études sur le sujet parlent de recherche, de la part des industriels, d'une flexibilité accrue (65 %) et d'une réduction des coûts (57 %).

En 2013, 23 % des entreprises et administrations utilisent du Cloud en France. Essentiellement en mode SaaS (65 %), elles se montrent encore frileuses vis-à-vis de l'IaaS - *Infrastructure as a Service* - (28 %) et du PaaS - *Platform as a Service* - (11 %). Et dans le domaine de l'infrastructure, elles privilégient (67 %) nettement le Cloud privé.

Une prise de conscience des entreprises qui démarre, mais moins d'une entreprise sur sept a formalisé une stratégie Cloud. Du chemin reste à faire. Et de nouvelles questions se posent, en dehors de la question de la sécurité au sens large, comme la possibilité de changer de prestataires. Comment récupérer ses données et les transférer ailleurs ?

Ensuite la Production

Les entreprises utilisant le Cloud dans la partie Gestion/Conception/Simulation se sont tournées vers les autres postes de l'entreprise et notamment la production.

LE DÉFI À RELEVÉ

Le Patriot Act, mis en place aux États-Unis après les attentats du 11 septembre 2001 (qui accorde aux autorités américaines le droit d'accéder directement aux données cloud stockées sur les serveurs des sociétés américaines ou des entreprises étrangères ayant des intérêts économiques dans le pays), impose la vigilance. D'où la recherche, pour certaines applications, d'hébergement national.

Les premières installations permettent l'historisation, la reconfiguration, le calcul... Pour Patrick Lamboley, End User Business Group - Industry Business chez Schneider Electric, « nous allons assister à la virtualisation du poste de travail. A terme, en fonction de la demande, les bonnes configurations du poste de travail descendront via le Cloud ».

Toute la difficulté consiste à mener une réflexion sur ce qui doit être mis dans le Cloud ou pas comme l'indique Jean-Pierre Hauet, Président d'ISA-France, « il est illusoire de vouloir tout mettre dans le Cloud. Il n'y a aucun intérêt à transférer ce qui est local, sauf si l'on veut créer du BigData pour le plaisir de le résoudre ».



Avantage : La possibilité d'utiliser des logiciels sans acquérir de licences ; de collaborer entre sites et industriels.



Inconvénient : La sécurisation des données mais également la possibilité de changer de prestataire tout en récupérant ses données.

Un propos pragmatique, provocateur, qui rappelle qu'il vaut toujours mieux traiter localement tout ce qui est local, plutôt que de vouloir le remonter au niveau supérieur.

D'ailleurs plusieurs offreurs ont bien compris cette problématique à l'image de Cisco qui parle du concept de Fog Computing. Un brouillard, avec des routeurs intermédiaires, qui éviterait de remonter l'ensemble des informations dans un seul nuage, en créant de plus petits nuages gérant plus localement les informations.

Enfin l'usine connectée

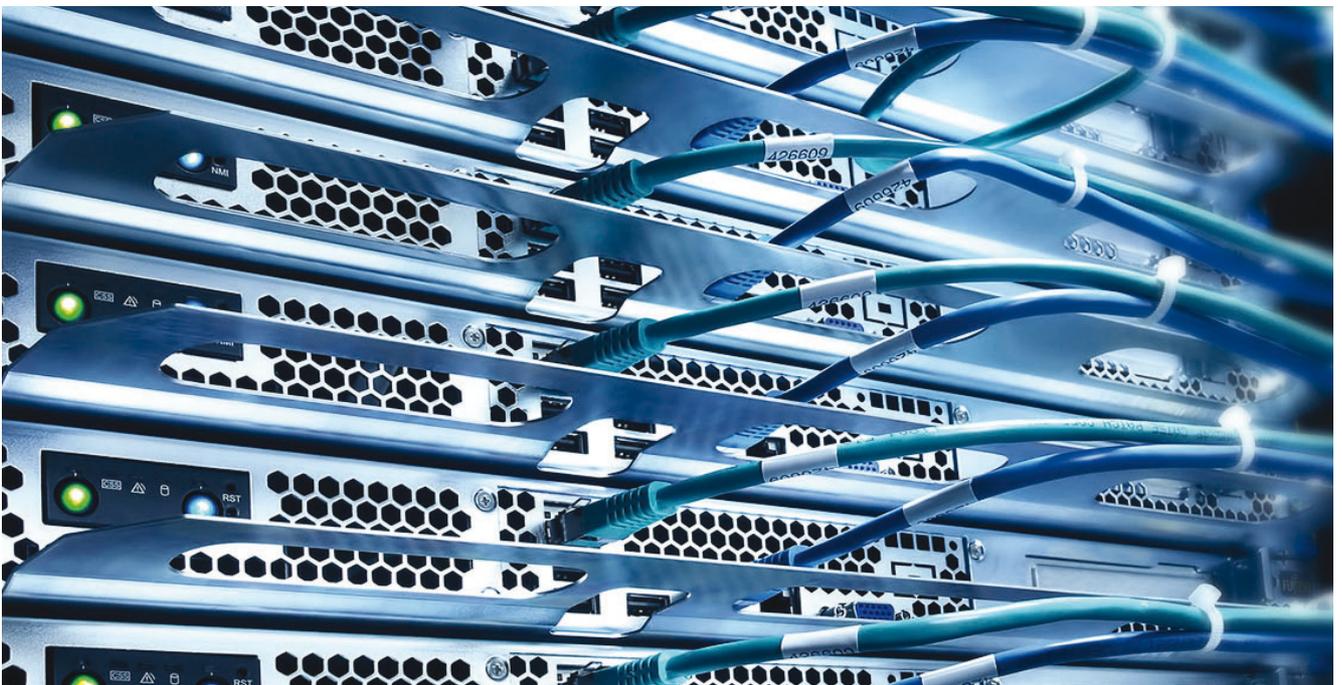
Derrière le terme d'Industrie 4.0 se cache l'Usine digitale connectée. Bien que la « forme » de ces Usines de demain sera variée, pour certaines productions le changement sera radical. Ce sera la fin des méga-usines desservant le monde, au profit d'infinité d'usines à taille humaine collaborant.

“ L'objectif principal est l'intégration numérique de toute la supply chain dans le processus de développement d'un projet aéronautique. Ce Hub numérique devrait donc accroître la compétitivité de la filière européenne en agissant directement au niveau de l'entreprise étendue. La solution repose sur un portail web unique de co-conception pour toute la filière. Les entreprises de rang 1 peuvent l'utiliser avec leurs propres fournisseurs de rangs inférieurs en mode SaaS. ”

Boost Aerospace

Certaines études annoncent que 73 % des utilisateurs en entreprise travaillent avec des collaborateurs de différents fuseaux horaires et de différentes régions au moins une fois par mois.

Des arguments qui plaident en faveur d'une extension du Cloud dans le domaine industriel. Restera à changer les habitudes de travail, ce qui n'est pas une mince affaire. ▲



Et en termes de collaboration, le Cloud reste l'outil idéal. Il permet à l'ensemble des protagonistes, où qu'ils se trouvent, de synchroniser leurs actions et de travailler sur des documents et des applications partagées simultanément, le tout avec des mises à jour critiques en temps réel.

POINT DE REPÈRE

Enfin on distingue trois typologies de Cloud computing :

- Cloud public : applications et données sont hébergées sur des infrastructures informatiques mutualisées et inconnues des clients,
- Cloud semi-public : applications et données sont hébergées dans un lieu choisi par le client, voire sur des serveurs qui lui sont dédiés,
- Cloud privé : applications et données sont hébergées sur les serveurs du client, situés dans ses propres locaux, ou dans un data center.

Big Data Analytics

Les annonces du Ministère de l'économie numérique, le rapport Lauvergeon... les signaux en faveur du passage à la phase d'industrialisation du Big Data ne manquent pas.

Le volume de données numériques augmente de manière exponentielle, 90 % de l'ensemble des données aujourd'hui disponibles ont été créées ces deux dernières années. Alors que l'on parlait il y a peu de gigaoctets (10⁹ octets), on parle maintenant plutôt de téraoctets (10¹² octets), de pétaoctets (10¹⁵ octets), d'exaoctets (10¹⁸ octets) et même de zettaoctets (10²¹ octets).

Il est vrai que plus de 50 milliards d'appareils seront connectés à Internet dans le monde d'ici 2020. Ils deviendront l'une des principales sources de carburant pour l'industrie du Big Data, cœur de ces objets connectés.

Les quatre V

Mais de l'Internet des Objets au Big Data, quelle chaîne de valeur se met en place ? Les technologies sont déjà maîtrisées par des éditeurs, pour la plupart américains.

La France doit donc chercher ailleurs son salut et en l'occurrence le potentiel se situe dans l'analytique, le DataMining (l'ensemble des techniques pour l'extraction des données).

Tout l'intérêt des masses de données ne réside pas uniquement dans leur quantité, le volume à partir duquel il est possible de parler de Big Data ne fait d'ailleurs pas l'unanimité. Pour le Commissariat à la Stratégie et à la Prospective, « *l'analyse des Big Data comprend quatre critères que l'on retrouve de façon plus ou moins simultanée : vitesse, variété, véracité, valeur* ».

La vitesse se réfère aux délais d'actualisation et d'analyse des données numériques. Les données ne sont plus traitées en différé, mais en temps réel (ou quasi réel). Selon les cas, il est même possible de ne plus stocker les informations, mais de les analyser en flux (streaming).

Par exemple en croisant les données de capteurs installés sur des éoliennes avec celles relatives à la météo ou aux marées, il est possible d'optimiser leur orientation en temps réel, de mieux prévoir les temps de maintenance.

LE DÉFI À RELEVÉ

Structurer les données sera essentiel, et dans cette multitude d'informations disparates comprenant du texte, des images, du contenu multimédia, des traces numériques, des objets connectés... l'industriel devra être certain qu'un capteur ou un composant défectueux ne va perturber les résultats globaux de son logiciel d'analyse.

Autre caractéristique, les données analysées ne sont plus forcément structurées comme dans les analyses antérieures, mais peuvent être du texte, des images, du contenu multimédia, des traces numériques, des objets connectés... Et donc se pose l'éternelle question : « *un capteur défectueux utilisé dans un système de conduite assistée peut-il causer un accident en raison d'une donnée fautive ?* ».

À ces quatre V s'ajoute souvent un cinquième, qui désigne la valeur qu'il est possible de tirer de ces données, les usages qu'elles produisent. Autre exemple, en analysant les données provenant de capteurs sur les avions et en les associant à des données météo, on modifie les cou-



Avantage : Un moyen de régler des problèmes jusqu'ici non solubles avec notamment des millions de données.



Inconvénient : Le risque de vouloir tout remonter et de complexifier une application. Il faut éviter de créer du Big Data pour le « plaisir » de le résoudre ensuite.

loirs aériens pour réaliser des économies de carburant, on améliore la maintenance des avions et leur sécurité.

Les exemples ne manquent pas

D'autres idées foisonnent, comme ces véhicules connectés capables de récupérer les informations d'essuie-glaces se mettant en marche. Liées au GPS ces informations permettent de prédire une possibilité de pluie imminente sur une zone. Des exemples qui laissent rêver les industriels qui voient là un potentiel de nouveaux services. Comme dans le secteur de l'Énergie, et notamment la notion d'efficacité énergétique. Beaucoup d'industriels ne savent pas ce qu'ils consomment, poste par poste, or des économies conséquentes peuvent être faites, encore faut-il que l'ensemble de la chaîne de valeur soit relié (machines +

“ Il ne fait aucun doute que le traitement de ces masses de données jouera un rôle primordial dans la société de demain, car il trouve des applications dans des domaines aussi variés que les sciences, le marketing, les services client, le développement durable, les transports, la santé, ou encore l'éducation. Par ailleurs, le potentiel économique de ce secteur est indéniable et les retombées en termes d'emploi et de création de richesse seront non négligeables. Son développement nécessite toutefois de bien comprendre les enjeux qui y sont liés.

Commissariat à la Stratégie et à la Prospective

”



coûts horaires proposés par les fournisseurs d'énergie).

Concrètement Frédéric Drappier, Directeur Général de National Instruments France & Portugal, note que « nous en sommes encore aux balbutiements. Mais de premiers changements importants apparaissent, par exemple durant des années les industriels étaient parcimonieux en terme d'échantillonnage, ils freinaient le nombre d'informations à stocker. Ce verrou est en train de sauter ».

L'une des fonctions les plus recherchées reste la notion de maintenance prédictive. Vincent Jauneau, Directeur des Divisions Industrie de Siemens France, donne comme exemple « des Commandes Numériques qui remontent des flux de données afin de permettre, grâce à des applicatifs, de faire de l'analyse prédictive des moteurs de machines-outils ».

Un Big Data qui peut également s'avérer intéressant pour les fournisseurs de matériels eux-mêmes, c'est ainsi qu'un

fabricant de machines, possédant une part importante du marché mondial dans le domaine de l'habillement, a rapidement vu, via les remontées d'informations destinées à la maintenance de ses machines, que ses clients produisaient moins de vêtements durant la crise, cette chute se chiffrant à environ 3 %. Par expérience cela impliquait des investissements machines en diminution de 30 % dans les mois à venir. Une prévision qui lui permettra de s'adapter et d'anticiper une baisse des commandes.

Reste, comme le note Olivier Valley, Directeur marketing de Rockwell Automation France, que « ces Big Data Analytics sont plutôt bien adaptés à des grandes entreprises ayant plusieurs sites de production, or en France nous avons beaucoup de PME notamment dans l'agroalimentaire, et pour l'instant elles se passent fort bien de cette gestion des Big Data Analytics ». Encore pour combien de temps ? ▲

POINT DE REPÈRE

- Le prix d'un gigaoctet pour un disque dur est passé d'environ 16 USD (12,30 euros) en février 2000 à 0,10 USD (0,07 euros) en août 2010.

- Le volume de données numériques augmente, 90 % de l'ensemble des données aujourd'hui disponibles ont été créés ces deux dernières années.

Energy Harvesting

Sous le vocable d'Energy Harvesting, diverses études prédisent des chiffres d'affaires de 4 milliards à l'horizon 2020, avec un total de 18 millions d'unités.

Nous sommes face à un concept bien « détourné », les technologies sont là, les choix sont multiples... reste que les appli-



cations industrielles de l'Energy Harvesting sont en partie liées à l'I2dO (Internet Industriel des Objets).

Avec l'Energy Harvesting, il s'agit d'exploiter les sources d'énergie faible et diffuses présentes dans l'environnement du capteur, et cela à seule fin de l'alimenter et de le rendre autonome, sans objectif de valorisation autre.

Pour y parvenir, vont être exploités les mouvements d'un élément environnant ou constituant le capteur, mais il sera également envisageable de profiter de la chaleur, des vibrations ou des ondes électromagnétiques émises. Des énergies souvent faibles, mais suffisantes pour une auto-alimentation, d'autant plus que les technologies de récupération évoluent et que dans le même temps les composants diminuent leurs besoins en consommation. Plus les éléments d'une usine seront considérés comme des cyber-objets, plus il sera opportun de les rendre autonomes en énergie. Cette recherche d'autonomie d'énergie est souvent liée à la volonté de travailler en sans-fil, c'est l'autonomie complète du capteur/actionneur qui est recherché.

D'où, face à ces prévisions de marché, un bémol émis par plusieurs spécialistes du secteur, comme pour Patrick Lamboley, End User Business Group - Industry Business chez Schneider Electric, pour qui le marché reste restreint, « pour l'instant nous ne sentons pas une explosion du sans-fil. Les cas les plus fréquents concernent plutôt des extensions d'architecture vers des zones distantes ». De

LE DÉFI À RELEVÉ

L'Energy Harvesting pour les applications industrielles, reste très lié au déploiement de l'Internet Industriel des Objets. Il prendra sa véritable place lorsque les capteurs/actionneurs seront indépendants en termes de décision, de communication... et devront impérativement le devenir en énergie.

là à remplacer l'ensemble des acteurs/actionneurs, il risque de couler pas mal d'eau sous les ponts.

Wifi et communication

De plus, pour se plonger dans une architecture 4.0, l'idéal serait d'avoir des produits intégrant nativement la communication Wifi. Ce qui n'est pas encore à l'ordre du jour, en raison de coûts de production encore élevés.

Autre sujet en voie de réglementation, la communication. Partant du principe qu'un composant auto-alimenté devra consommer le moins d'énergie possible, il est opportun qu'il ne soit « réveillé » que pour envoyer ou recevoir des informations

↑ Avantage : Dans une usine 4.0, il deviendra possible d'installer tout composant à l'endroit le plus pertinent, sans se soucier de son alimentation en énergie.

↓ Inconvénient : Trouver les moyens de produire suffisamment d'énergie pour être certain que, dans tous les cas de figures, le composant aura suffisamment d'énergie ne serait-ce que pour prévenir de cette insuffisance.

tout en évitant le mode veille. D'où l'utilisation de technologies comme Sigfox ou Zigbee.

Sigfox, lancé par une startup toulousaine, utilise UNB (*Ultra Narrow Band*) basé sur une technologie radio pour connecter des périphériques. Le réseau fonctionne dans les bandes ISM disponibles mondialement (bandes de fréquences sans licence) et coexistent sur ces fréquences avec d'autres technologies radio, mais sans risque de collision ou de problèmes de capacité.

Avec Sigfox, l'aspect le plus important de la sécurité de transmission est le fait que seuls les fournisseurs comprennent les données échangées entre le périphérique et les systèmes informatiques. Sigfox agit seulement comme un canal de transport, poussant les données vers le système informatique du client.



Sigfox retrouve face à lui des technologies déjà établies comme Zigbee (et notamment sa version Green Power qui propose une solution dans des lieux où l'électricité fait défaut) avec des caractéristiques plus variées et notamment des flux montants et descendants (permettant des mises à jour ou des informations d'acquiescement) et des débits plus importants. La contrepartie est la nécessité de connecter une box en local avec des couvertures parfois limitées. ZigBee propose un protocole plus lent dont le rayon d'action est rela-

66 Nous sommes à l'aube d'une nouvelle convergence de 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... ce 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.

Jeremy Rifkin, économiste, prospectiviste et essayiste américain

99

tivement faible, mais dont la fiabilité est assez élevée.

Si l'on retrouve déjà ZigBee dans plusieurs applications de contrôles industriels, Sigfox annonce des premiers clients comme le contrôle des panneaux d'affichage à distance de Clear Channel.

Quelles technos vont émerger ?

Parmi les principales techniques d'Energy Harvesting, on peut citer :

- Piézoélectricité : récupération de l'énergie générée lorsqu'une pression est exercée sur un matériau piézoélectrique, les vibrations sont ainsi transformées en électricité.
- Thermoélectricité : récupération de l'énergie résultant de la différence de températures entre deux éléments.
- Photovoltaïque : récupération de l'énergie issue du soleil, mais également de toute lumière même artificielle.
- Energie cinétique : énergie issue des mouvements d'un corps.
- Electromagnétisme : collecte de l'énergie véhiculée par les ondes électromagnétiques. ▲

POINT DE REPÈRE

- Le marché de ces dispositifs pourrait passer de 10 millions d'unités en 2013 à 18,7 millions en 2020.
- Des protocoles comme Sigfox, Zigbee... vont permettre d'économiser la consommation en ne « réveillant » l'instrument auto-alimenté seulement si nécessaire.
- Un des points forts de ce marché reste qu'il est en partie tiré par la domotique et les Smart-Grids. De quoi trouver des technologies matures et fiabilisées.

Organiser, mais aussi réorganiser

Experts et spécialistes s'accordent sur un point : la révolution Industrie 4.0 ne sera pas que technologique, elle sera surtout organisationnelle.

Chaque grande révolution industrielle a amené son lot de changements dans l'organisation du travail. Ce fut notamment le cas avec la deuxième révolution Industrielle à la fin du XVIII^e siècle avec l'arrivée de l'électricité, de la mécanique, du pétrole... C'est l'origine de la mécanisation du travail, des machines mues par des moteurs électriques, et comme l'a si bien montré Chaplin l'homme n'a plus qu'à courir après la machine, si possible en rythme.

Il était une fois l'Industrie 2.0

Parallèlement, à cette révolution, l'ingénieur Frederick Winslow Taylor invente, en 1911, le taylorisme, une organisation scientifique du travail qui permet d'augmenter la productivité des salariés, et Henri Ford instaure le montage à la chaîne qui permet de réduire fortement les temps de production, dans son cas le modèle Fort T passe de 6 heures à 1 heure trente. Un modèle toujours d'actualité.

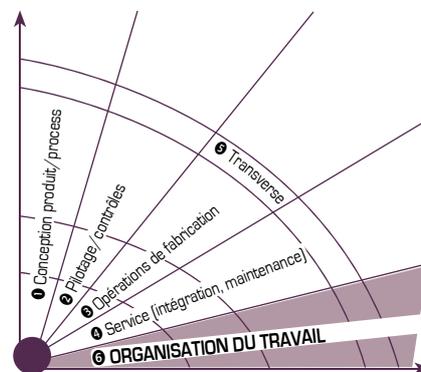
De nombreux travaux, et notamment certains menés par l'Union Européenne comme « *Les formes d'organisation du travail dans les pays de l'Union Européenne* » d'Edward Lorenz et Antoine Valeyre, dont nous reprenons en partie les conclusions, montrent que la diffusion de nouvelles pratiques d'organisation du

travail a été facilitée par la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion des ressources humaines visant à améliorer les compétences des salariés, à les inciter à s'impliquer dans leur travail et à participer aux décisions opérationnelles.

Couramment la typologie des formes d'organisation du travail se découpe en quatre classes : les organisations « *apprenantes* », les organisations en lean production, les organisations tayloriennes et les organisations de structure simple. Ces quatre classes se différencient principalement selon les deux dimensions : d'une part, l'opposition entre les variables d'autonomie procédurale et de contenu cognitif du travail et les variables de contraintes de rythme de travail et, d'autre part, l'importance ou non accordée au travail en équipe, à la rotation des tâches et à la gestion de la qualité.

Les organisations « apprenantes »

Elles se caractérisent par une sur-représentation des variables d'autonomie procédurale et de contenu cognitif du travail (apprentissage dans le travail, résolution de problèmes, complexité des tâches) et, dans une moindre mesure, des variables de gestion de la qualité (autocontrôle et normes précises), et par une sous-représentation



des variables de contraintes de rythme, de monotonie et de répétitivité du travail. Elle constitue une classe d'organisations « *apprenantes* » du travail, qui s'apparente au modèle sociotechnique suédois, fondé sur le principe d'équipes autonomes de travail qui s'auto-organisent pour réaliser les objectifs établis avec la hiérarchie, et dont les membres sont polyvalents sur l'ensemble des tâches des équipes. En rupture avec la conception taylorienne de division des tâches, ce modèle donne une plus grande intelligibilité au travail, ce qui conduit certains à le définir comme un modèle de « *production réflexive* ».

Cette classe d'organisations apprenantes se rattache également au modèle de « *production en équipes autonomes à l'américaine* », qui combine les principes du système sociotechnique suédois et ceux du management de la qualité.

Les organisations en lean production

Les pratiques de travail en équipe, de rotation des tâches et le management

de la qualité (auto-contrôle de la qualité et normes de qualité précises) y sont particulièrement développés. Simultanément, les salariés se voient imposer des contraintes de rythme de travail particulièrement lourdes et exécutent des tâches souvent répétitives et monotones. Si, comme dans les organisations apprenantes, ils sont souvent confrontés à des situations d'apprentissage et de résolution de problèmes imprévus, ils bénéficient en revanche de bien moindres marges d'autonomie dans leur travail. Cette classe correspond au modèle d'organisation en lean production, qui se caractérise classiquement par la polyvalence, le travail en équipe, la production en flux tendus et le management de la qualité totale. L'autonomie procédurale modérée des salariés de cette classe s'exerce sous de fortes contraintes de rythme et de respect de normes quantitatives de production et de normes de qualité précises. Elle procède donc à des formes d'organisation en « *autonomie contrôlée* », que les employeurs développent pour concilier leurs besoins d'exercer leur contrôle et d'encourager l'initiative et la créativité de leurs salariés.

Les organisations Tayloriennes

Comme dans les organisations en lean production, les salariés qui la composent sont soumis à d'importantes contraintes de rythme de travail, effectuent des tâches répétitives et monotones et sont astreints à des normes de qualité précises. En revanche, leur travail présente une faible autonomie procédurale, un faible contenu cognitif et l'auto-contrôle de la qualité est peu répandu. Par ailleurs, le travail en équipe et la rotation des tâches y sont légèrement supérieurs à la moyenne. L'importance relative du travail en équipe et de la rotation des tâches souligne l'ampleur que prennent les formes flexibles d'organisation taylorienne du travail, que ce soit sous la forme d'un « *taylorisme flexible* » ou d'un « *taylorisme assisté par ordinateur* ».

Les organisations de structure simple

Elles tendent à s'opposer aux secondes et se caractérisent essentiellement par une sous-représentation de presque toutes les variables d'organisation. Le travail n'y est pas très autonome, à faible contenu

cognitif, peu contraint dans ses rythmes et peu répétitif, mais relativement monotone. Le travail en équipe, la rotation des tâches et la gestion de la qualité y sont peu diffusés. Cette classe s'apparente au modèle des organisations de « *structure simple* », définies par une faible formalisation des procédures et un mode de contrôle par supervision directe exercée sur les salariés, soit par leur supérieur hiérarchique, soit par leur patron dans les petites entreprises.

Quatre formes d'organisation du travail très contrastées qui ne relèvent pas d'un modèle unique qui s'opposerait au modèle taylorien. Elles se scindent en deux catégories bien distinctes : les organisations apprenantes et les organisations en lean production. Si les organisations apprenantes présentent un ensemble de caractéristiques en rupture avec le modèle taylorien, en revanche les organisations en lean production en partagent encore de nombreux traits, ce qui ne permet pas de les considérer comme effectivement post-tayloriennes. En outre, les organisations de structure simple dont la diffusion demeure importante, constituent une catégorie qui échappe à la dichotomie entre organisations tayloriennes et post-tayloriennes.

Mais, comme souvent, il n'y a pas convergence des analyses. Le débat reste ouvert entre des thèses qui considèrent, pour les unes, que le modèle de la lean production opère une rupture avec le modèle taylorien par le développement de l'initiative, de l'autonomie et de la responsabilité qu'il donne aux exécutants et, pour les autres, qu'il renouvelle le modèle taylorien sous des formes assouplies, en combinant un renforcement des prescriptions et des contrôles sur le travail et un accroissement de la polyvalence et de l'autonomie procédurale des salariés.

Transformer les organisations

Faire évoluer l'organisation de l'entreprise, de la production, du travail, moderniser la production de biens ou de services, réduire les délais et les coûts de production, élever la qualité, innover, produire au plus juste, transformer les compétences et les métiers... voilà les défis auxquels l'entreprise est régulièrement confrontée.

Avec l'Industrie 4.0, le changement de l'organisation du travail et de la production est une question cruciale. La réflexion sur la stratégie de l'entreprise ne peut donc ignorer la réflexion sur l'organisation de la production et du travail. Tous les acteurs de l'entreprise sont concernés.



Parmi les changements importants qui arrivent, c'est déjà la nature du travail qui va changer. La matière première est devenue de plus en plus immatérielle : l'information numérique. Le travail est chaque jour plus abstrait, l'effort s'exerçant plus sur des symboles que sur la matière.

Ce qui change aussi, ce sont les technologies et les outils permettant de traiter ces informations. Il s'ensuit une charge de travail plus lourde, et une intensité du travail accrue par le traitement en temps réel, l'interactivité constante avec la machine.

Ces changements s'insèrent dans un contexte socio-organisationnel pré-existant. Elles ne créent pas par elles-mêmes de nouvelles formes organisationnelles, mais provoquent une réaction de l'organisation pré-existante, qui se voit le plus souvent obligée d'évoluer.

Mettre en place une stratégie Industrie 4.0 peut conduire à plus d'autonomie, à un enrichissement des fonctions, à de nouvelles organisations plus flexibles permettant le développement des compétences individuelles, et créer des opportunités pour un meilleur équilibre entre le travail et la vie hors travail. Mais elles peuvent induire une taylorisation accrue de certaines tâches, une surveillance des salariés et une augmentation des risques de stress. ▲



Quatre **secteurs clés** et leurs enjeux de **modernisation**

Les priorités de modernisation sont différenciées par secteur, même si différentes analyses font ressortir une priorité de modernisation partagée pour l'ensemble de l'industrie : la conception produit/process.

Dans un contexte de compétition mondiale, la réalisation de produits différenciés aux meilleurs coûts est une préoccupation majeure qui nécessite une conception et une optimisation conjointe du produit et du process (minimisant les pertes de matières, les rebuts, les temps morts, l'énergie utilisée...).

De même, la dimension humaine liée à ce domaine explique l'importance que revêtent les opportunités de modernisation qui s'y rattachent (réduction de la pénibilité du travail des opérateurs, maximisation de la valeur ajoutée du facteur travail ...).

Secteur Métallurgie

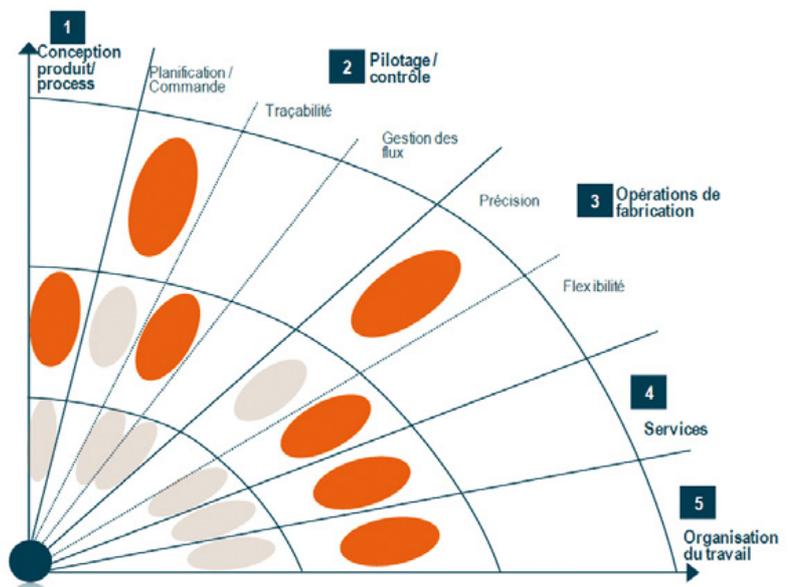
Sidérurgie, fonderie, transformation des métaux, construction mécanique, navale, aéronautique, spatiale, ferroviaire et automobile, composants et équipements électriques et électroniques, appareils électroménagers, la métallurgie est indispensable à de très nombreux secteurs d'activités. Avec 1,5 millions de salariés, la filière représente près de la moitié de l'emploi industriel français. L'Hexagone est le 11^e pays producteur de métal au niveau mondial, loin derrière la Chine, le Japon, les Etats-Unis et la Russie. En attendant, tous les industriels sont unanimes.

Face à la mutation de la demande d'une part et à la concurrence de pays émergents qui bénéficient d'un avantage de coûts significatif d'autre part, la montée en gamme de la production est une condition indispensable à la pérennisation du secteur. Charge ainsi aux entreprises de métallurgie de développer des capacités de gestion de petites séries de pièces, dans de multiples références.

Or pour cela, les chaînes de production se doivent d'être flexibles. L'utilisation de machines haute performance, de robots

Pour l'industrie métallurgique, l'adaptation aux variations de volumes et aux demandes de nouvelles références des donneurs d'ordres requière réactivité (tailles de séries hétérogènes) et flexibilité (références nombreuses).

Cartographie des priorités de modernisation du secteur fabrication de pièces et produits en métal



Enjeux de modernisation

- > Besoin de flexibilité des chaînes de production.
- > Utilisation de machines et de robots programmables aux actions adaptables.
- > Outils de supervision automatisés et agiles (réduction des temps de reprogrammation, de transition, etc.).
- > Développement de procédés industriels différenciants et innovants.
- > Maîtrise de technologies non répliquables.
- > Performance produits (résistance des produits, durée de vie, etc.).
- > Mise en place d'unités de production fortement automatisées, de machines à haute performance.

Les priorités de modernisation pour les fabricants de pièces et produits en métal concernent la conception produit/process, les équipements de planification/commande, couplés à des machines plus précises et flexibles.

et d'outils de supervision automatisés et agiles (réduction des temps de reprogrammation, de transition, etc.) est de mise.

Des caractéristiques techniques innovantes

L'utilisation d'outils de conception produit comme la CFAO, mais également de conception de ligne apparaît tout aussi nécessaire pour soutenir une production de ce type. Ces mêmes outils permettent de modéliser des pièces sophistiquées (dans l'aéronautique par exemple) certes plus complexes à réaliser, mais ayant des

caractéristiques techniques particulières en termes de résistance et de durée de vie. Dans cette logique de différenciation, le développement de procédés industriels innovants et l'utilisation de machines performantes en termes de précision s'avèrent nécessaires.

L'innovation produit est également importante pour justifier des écarts de prix significatifs. Les pièces produites doivent présenter des caractéristiques techniques innovantes mais surtout difficilement reproductibles par des pays aux coûts salariaux minimes. ▲

Secteur Automobile



L'industrie automobile est soumise à de nouveaux défis stratégiques, que ce soit en matière de consommation d'énergie, de protection de l'environnement, de personnalisation, de réactivité. Autant de problématiques qui nécessitent pour les constructeurs et équipementiers de rang 1 et 2, des transformations de leurs méthodes de production.

« **M**ois après mois, les chiffres des ventes en Europe traduisent la désaffection de la clientèle envers l'achat d'automobiles. En 2012, il s'est vendu 7,1 % de véhicules en moins par rapport à 2011. C'est 18 % de moins qu'en 2007, soit près de 2 millions de voitures disparues alors que la production mondiale devrait continuer à croître de 3 % en 2012 » estime Jean-Pierre Corniou dans son livre « 1,2 milliards d'automobiles 7 milliards de terriens, la cohabitation est-elle possible ? ».

Réduire les coûts de production

La demande dans le secteur automobile en Europe et plus particulièrement en France a fortement diminué ces dernières années, parallèlement à l'émergence de nouveaux acteurs sur le marché. Pour parvenir à réduire les coûts de production et maintenir une marge acceptable dans un marché très concurrentiel, développer la productivité et la précision des machines (centres de transfert, tours multibroches) par l'automatisation et la robotisation est indispensable.

Pour mettre au point de nouvelles voies d'automatisation et faire évoluer leur équipement robotique, le groupe PSA dé-

veloppe ainsi la démarche NOVA au sein de laquelle les chercheurs travaillent sur la robotique collaborative (ou la « *cobotique* »). Le principe : imaginer des robots pouvant évoluer hors des zones sécurisées dans lesquelles ils sont actuellement confinés pour raison de sécurité. La réduction des coûts se fait aussi au niveau de la conception produits/process, notamment par le recours à des logiciels toujours plus performants (CFAO, PLM, MES, GMAO) et au prototypage par impression 3D. Le PLM, par exemple, permet entre autres de réduire le temps entre la conception et la mise sur le marché des produits et le coût des prototypes.

Enjeux de modernisation

- > Flexibilité accrue de l'outil de production : – lignes de production plus petites et plus nombreuses pour s'adapter à des carnets de commande plus fluctuants – machines polyvalentes, capables de s'adapter à plusieurs opérations.
- > Machines plus productives (centres de transfert, tours multibroches, etc.) : automatisation et robotisation.
- > Réduction des coûts de développement/conception (CFAO intégrés, MES), prototypage par impression 3D.
- > Automatisation du contrôle des lignes et agilité accrue des programmations de machine.
- > Intégration avancée de la supply-chain (fournisseurs, intégrateurs, systémiers, assembleurs) et des circuits de distribution (prévision de la demande), PLM.
- > Intégration de nouveaux matériaux (aluminium, composites...).
- > Précision accrue (downsizing des moteurs...).

Renforcer la personnalisation des voitures

Dans ce contexte de concurrence accrue, constructeurs et équipementiers renforcent la personnalisation des voitures. Que ce soit les éléments de carrosserie, les jantes, la couleur de l'habitacle... Une personnalisation qui impose de pouvoir s'adapter à des séries plus réduites.

Pour faire face à cette nouvelle contrainte de multiplication des modèles et des références, l'outil de production des industriels de l'automobile se doit d'être flexible et interconnecté avec l'amont (les sous-traitants) et l'aval de l'usine (les concessions). Les lignes de production seront plus petites et plus nombreuses et les machines multi-opérations afin de s'adapter à des carnets de commande plus fluctuants. La production va gagner en flexibilité et sera plus personnalisée et réactive. Les quantités produites seront modulables en temps réel.

Sur une même unité, on pourra passer très rapidement de la production d'une voiture deux places à celle d'une quatre places. La mise sur le marché d'un produit sera également beaucoup plus rapide. Si auparavant un constructeur mettait trois mois pour programmer et paramétrer un atelier de montage pour une nouvelle voiture, une usine 4.0 le fera en trois jours. En effet, tous les éléments de la chaîne seront numérisés, connectés et donc paramétrables simultanément.

A terme, l'automatisation du contrôle des lignes, l'agilité accrue des programmations de machines, et l'intégration avancée de la supply chain (fournisseurs, intégrateurs, systémiers, assembleurs) et des circuits de distribution (prévision de la demande, PLM) rendront l'appareil

L'usine virtuelle de Ford

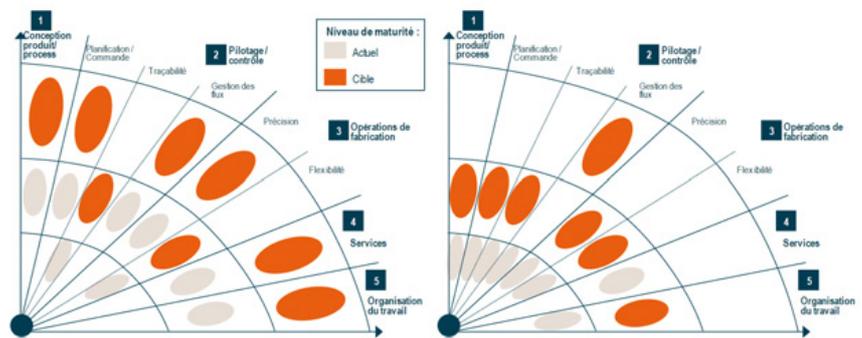
Précurseur en la matière, le constructeur automobile Ford développait en 2012, une usine virtuelle afin de simuler la production des chaînes d'assemblage. Un projet permettant d'analyser toutes les phases de construction d'un véhicule avec pour objectifs une réduction des coûts et une amélioration de la qualité.

Pour ce faire, Ford s'est doté de caméras sophistiquées pour filmer et numériser ses usines réelles, puis créer des ateliers de montage tridimensionnels ultra-réalistes. Les ingénieurs travaillent ainsi sur des « séquences virtuelles de montage » et des analyses interactives de voitures en 3D.

Afin d'éliminer les postures pénibles et optimiser les différentes étapes de l'assemblage, un employé virtuel prénommé Jack, reproduit les gestes au quotidien des opérateurs de chaîne.

A Dearborne (Michigan) et à Cologne (Allemagne), le constructeur étudie également les habitacles de ses modèles en cours de développement sur un dispositif baptisé CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*). Ce système, qui reproduit virtuellement l'environnement (intérieur et extérieur) permet de tester l'habitacle du véhicule - visibilité, accessibilité des instruments, ergonomie des commandes, habitabilité ou encore luminosité - avant de passer à la fabrication d'un prototype et ainsi économiser temps et argent.

Cartographie des priorités de modernisation du secteur automobile



Pour répondre aux contraintes des constructeurs, les fournisseurs de pièces automobiles doivent rendre leur outil industriel plus flexible. Mises au regard du niveau de maturité actuel de l'outil de production, les priorités conduisent à se rapprocher de l'industrie 4.0 avec davantage d'interconnexions avec l'amont et l'aval de l'usine, entre machines, et entre les machines et les pièces. Vu des équipementiers de rang 2 et 3, il s'agit plus d'automatiser davantage la gestion des flux et de gagner en flexibilité, de la conception produit/process à la conduite des opérations. La recherche de flexibilité (en charge, mais aussi pour faire face à la diversité) nécessite également de repenser les organisations.

productif plus souple et réactif et à même de s'adapter aux variations de volumes.

Des véhicules peu consommateurs

La voiture écologique et économique consommant moins de 2 l/100km fait l'objet d'un programme de la nouvelle France industrielle. L'objectif ? Développer de nouvelles technologies économes en carburant, en associant l'hybridation des moteurs, l'allègement des véhicules, la réduction des pertes mécaniques de la conduite et une meilleure sécurité au volant.

L'augmentation constante du prix des carburants ainsi que les préoccupations environnementales et de monde « décarboné » incitent les constructeurs à concevoir des véhicules plus légers consommant moins sans pour autant en augmenter le prix.

Trois principales voies sont envisagées pour cela. La première d'entre elles, consiste à alléger le véhicule. Un allègement pouvant être réalisé par l'apport de nouveaux matériaux (aluminium pour les carrosseries, carbonés, composites...), mais aussi par la mise en œuvre de procédés d'assemblage pour produire des pièces toujours plus fiables avec moins de ressources : les techniques avancées

de soudage (par friction, laser, hybride laser, plasma), les nouvelles méthodes de tissage et moulage de matériaux composites, les techniques d'assemblages multimatériaux, la fabrication directe de pièces (par frittage, fusion, impression 3D...) ou encore l'usinage grande vitesse.

A titre d'exemple, en matière d'utilisation de matériaux composites destinés aux carrosseries de voitures, les constructeurs anticipent tous les changements : actuellement l'acier arrive en rouleaux pour être découpé, formé, soudé, avant d'être monté, habillé, peint. Demain avec les composites, il faudra tisser, presser, injecter, remplir... De nouveaux métiers, de nouvelles machines, de nouveaux robots apparaissent.

Autre piste explorée : l'amélioration des moteurs thermiques et des carburants et la réduction des cylindrées des moteurs (*downsizing*).

Enfin, la troisième voie pour le développement de véhicules moins polluants est l'électrification des fonctions du véhicule. Les voitures utilisent depuis longtemps l'électronique et l'électricité pour commander des fonctions ou assister ces fonctions (freinage, direction...) La tendance est maintenant à l'électrification de la propulsion à travers l'hybridation légère, moyenne ou lourde. ▲

Secteur Aéronautique

Avec une forte augmentation des cadences de production des assembleurs et de leurs fournisseurs, et un objectif de « zéro défaut », le secteur aéronautique tire les autres industries vers le 4.0.

A l'inverse du secteur automobile, l'aéronautique connaît une belle croissance. Les livraisons d'avions par Airbus et Boeing atteignent aujourd'hui le millier d'appareils par an pour un trafic passager également en constante augmentation.

Selon l'ACARE (*Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe*), le secteur aéronautique européen avec plus de 400 compagnies aériennes, 700 aéroports commerciaux et 600 millions de passagers représente un chiffre d'affaires de 600 milliards d'euros et près de 9 mil-

lions d'emplois. Entre 8 % et 17 % de ces 600 milliards d'euros de chiffre d'affaires seraient consacrés à la recherche et développement. C'est deux fois plus que la moyenne des secteurs industriels.

Cette demande croissante pousse les deux géants ainsi que l'ensemble de la filière, à augmenter leurs cadences de production. Cela suppose la création de nouvelles chaînes de production automatisées intégrant des machines de production à haute performance comme des machines-outils cinq axes, des centres de transfert multi-opérations...

Sécuriser les chaînes de production

Afin de sécuriser cette production soutenue, il est nécessaire à la fois d'investir en amont dans la conception produit/process, mais aussi tout au long de la chaîne de production en renforçant les dispositifs de mesure et de traçabilité : capteurs, machines auto-correctrices, intégration des ERP, etc.

Cela passe dans un premier temps par le marquage des pièces, l'utilisation de systèmes de gravure laser, puis par l'enregistrement et le stockage de leur historique : conditions de production, opérateurs responsables de la fabrication... La simulation complète des lignes de montage, le pilotage au plus prêt des unités, l'utilisation de solutions de MES, le prototypage 3D sont autant d'enjeux de modernisation pour le secteur aéronautique.

Enjeux de modernisation

- > Création de nouvelles chaînes de production.
- > Automatisation des processus de transformation et de l'environnement machine.
- > Mise en place de machines à haute performance : centre de transfert multi-opérations, robots 5 axes, etc.
- > Développement de systèmes de sécurisation de la chaîne de production (systèmes de contrôles, intégration des ERP, etc.).
- > Simulation complète des lignes de montage, pilotage au plus prêt des unités, utilisation de solutions de MES, prototypage 3D.
- > Contrôle qualité, exigence de traçabilité élevée, tolérance resserrée, qui constituent une barrière à l'entrée pour les fournisseurs (gravure laser, systèmes de suivi, etc.).
- > Développement de nouveaux procédés de traitement de la matière, de machines capables d'usiner de nouveaux matériaux (ex : tissage 3D de matériaux composites, Titane-Aluminium, usinage du composite...).
- > Tolérances resserrées, précision accrue des machines.

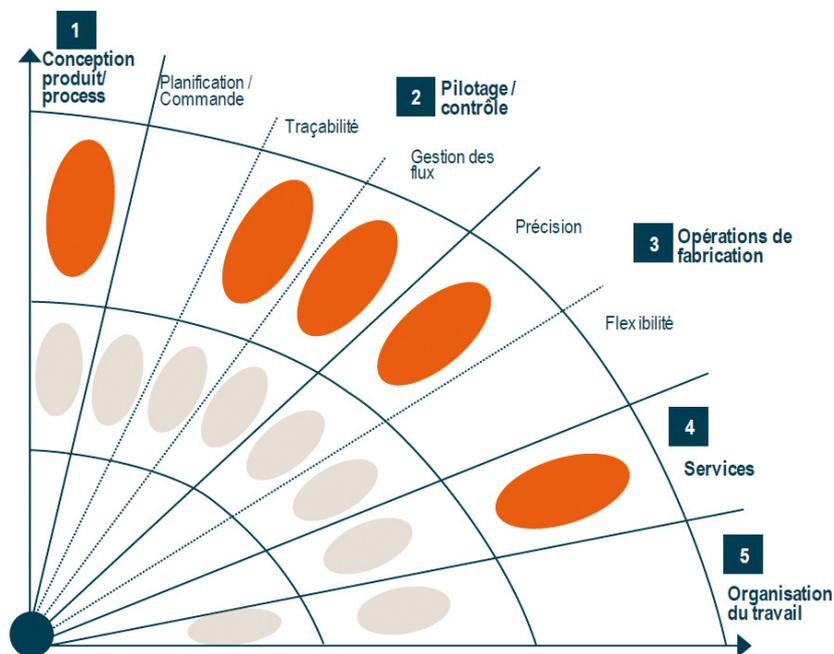
La conception des avions est aujourd'hui 100% numérique, Dassault Aviation ayant été pionnier dans le passage à la simulation numérique. La maquette numérique permet de s'affranchir des prototypes physiques et de réaliser des gains de temps substantiels, de la phase de conception à celle de la production.

Face à des coûts unitaires et de maintenance élevés des pièces, le contrôle qualité est de mise. Il devient d'autant plus important que l'exigence première des

Le projet usine du futur d'Airbus

Visée laser et puces RFID pour l'ajustement des pièces, cobot et réalité augmentée, tablettes au poignet pour guider les étapes d'assemblage... En 2025, l'assemblage d'un avion Airbus mettra en œuvre les technologies les plus avancées. Cette usine du futur est le résultat d'une année de travail mené par une équipe interne d'environ 200 personnes. Si certaines technologies sont déjà mises en œuvre, comme le robot de rivetage, d'autres nécessitent encore d'importants travaux de développement à l'instar de la projection de circuits électroniques. Résultat attendu avec cette armada de technologies : un bond d'efficacité dans l'assemblage des avions. Selon le directeur de l'ingénierie de production chez Airbus, le coût de production et le temps de cycle pourrait être réduit de moitié.

Cartographie des priorités de modernisation du secteur aéronautique



Les différents défis stratégiques peuvent être mis en regard de la maturité actuelle du système productif du secteur. Il en ressort des priorités d'investissement dans la conception produit/process, dans un pilotage renforcé des lignes (traçabilité, intégration des flux...) et une amélioration de la précision des opérations réalisées par un nombre croissant d'automates.

équipementiers est bien la sécurité des passagers. Une exigence de traçabilité et de tolérance resserrée qui constitue une barrière à l'entrée pour les fournisseurs (gravage laser, systèmes de suivi, etc.). La simulation intervient le plus amont possible afin de valider la maturité des systèmes.

Réduire la masse des avions

Autre enjeu du secteur, celui de l'innovation produit, guidé pour partie par la

nécessité de réduire sans cesse les coûts d'exploitation des avions. En moins d'une génération, les impératifs d'un transport aérien toujours « plus haut, plus loin, plus vite » ont cédé la place à la vision 2020, celle d'un transport « plus économique, plus sûr, plus propre, moins bruyant » (source rapport de l'ACARE Vision 2020).

Au cours des 40 dernières années, l'industrie aéronautique a assuré une réduction de la consommation de carburant et

des émissions de CO₂ de plus de 70 %, des émissions de NO_x de 90 % et du bruit de 75 %. Des résultats obtenus grâce à l'optimisation des avions et de leur mode d'exploitation, et à l'innovation.

La réduction du poids des matériaux est clef dans l'aéronautique. Les dernières générations d'avion, notamment l'Airbus A350 XWB, le Boeing 787 ou encore le futur Dassault Falcon, font ainsi la part belle aux matériaux composites pour les éléments de structure ou de voilure (53 % de la masse de la structure primaire est en matériaux composites dans l'A350).

Le démonstrateur « Avion tout composite » initié dans le cadre du grand emprunt par le Corac (Conseil pour la recherche aéronautique civile) vise à réaliser des gains de près d'une tonne sur les fuselages actuels, ce qui permettrait d'économiser 175 tonnes de kérosène par an et par avion.

Plusieurs prototypes comme l'E-Fan, l'avion-école biplace 100 électrique, l'A30X, successeur de l'A320, le Falcon 5X, successeur du Falcon 2000 ou encore les hélicoptères X4 et X6, successeurs respectifs des modèles Dauphin et Super Puma, sont en cours de développement. Reste toutefois à ne pas compromettre leur fiabilité quitte aussi à allonger la durée de vie des composants.

Afin d'y parvenir, les différents acteurs de la filière développent de nouveaux procédés de traitement de la matière ainsi que des machines capables d'usiner de nouveaux matériaux. Le tissage 3D de matériaux composites figure parmi les enjeux de modernisation de l'appareil productif. ▲

Secteur Agroalimentaire

Concevoir des lignes de production intégrant des normes d'hygiène et de sécurité alimentaire renforcées tout en permettant un renouvellement accéléré des produits (composants, packaging...) est un enjeu de taille pour le secteur alimentaire.

Avec près de 13 000 entreprises, 600 salariés et un chiffre d'affaires de 160,5 milliards d'euros, l'agroalimentaire est la première filière industrielle de France et l'une des seules à avoir résisté au phénomène de désindustrialisation.

Si l'industrie agroalimentaire dispose d'avantages comparatifs réels : un amont agricole fort, un savoir-faire industriel et scientifique reconnu, des dispositifs opérationnels de contrôles de la qualité et de la sécurité sanitaire, elle est confrontée à des défis de taille, aussi bien sociétaux qu'économiques, sanitaires et environnementaux. Les modes de consommation se sophistiquent, avec une orientation de l'alimentation vers la santé et le bien-être. Les consommateurs sont plus vigilants vis-à-vis de la qualité et la traçabilité de ce qu'ils mangent et de l'impact environnemental.

Réduire les coûts unitaires

Doux, Gad, Marine Harvest, Tilly Sabco... On ne compte plus les groupes industriels dans le secteur agroalimentaire qui ont subi de plein fouet la crise. Ces

difficultés économiques ont mis en évidence la nécessité de concentration d'une industrie relativement fragmentée. Une manière d'accroître la taille critique et ainsi de réduire les coûts unitaires. Selon le cabinet Roland Berger, cette nécessaire concentration doit s'accompagner d'une automatisation des unités de production et permettre de réduire les coûts unitaires tout en s'adaptant à la multiplicité des références (flexibilité).

Face à la nécessité de rationaliser les gammes de produits tout en permettant un renouvellement régulier des références (marketing produit), il y a un fort

besoin de machines polyvalentes, facilement adaptables. La standardisation ou modularisation des modes de production est un autre enjeu à laquelle doit répondre le secteur.

L'interconnexion des systèmes de pilotage et de commande avec l'extérieur est également importante pour une intégration accrue avec les réseaux de distribution. Enfin, dans une industrie de semi-process, la réduction des coûts unitaires passera également par la réduction des frais de maintenance : télémaintenance, maintenance prédictive...

Renforcer la sécurité sanitaire des aliments

Des concombres contaminés en 2011 aux plats préparés à la viande de cheval en 2013, les crises alimentaires ne sont pas passées inaperçues. Afin de renforcer la traçabilité des produits et garan-

Enjeux de modernisation

- > Modernisation et automatisation des unités de production les plus artisanales.
- > Besoin de machines polyvalentes, facilement adaptables.
- > Nécessité de standardiser les modes de production ou modularisation.
- > Pour l'emballage, recherche de technologies traditionnelles et de coûts machines limités pour renouvellement régulier.
- > Mise en place d'équipements et de systèmes de contrôle de la qualité et de la traçabilité.
- > Mise en place d'outils de mesure des conditions de production (capteurs thermiques, hygrométriques, puces RFID...).
- > Interconnexion des systèmes de pilotage et de commande avec l'extérieur.

Un pacte pour l'investissement productif dans l'agro-alimentaire

Alors que la concurrence européenne et mondiale affiche une montée en puissance continue, la filière agro-alimentaire doit aujourd'hui investir dans la modernisation et l'automatisation de ses outils productifs, dans le développement et le lancement de nouveaux produits à forte valeur ajoutée, dans la transition écologique. Le 12 juin dernier, Stéphane Le Foll, ministre de l'Agriculture, Guillaume Garot, ministre chargé de l'Agroalimentaire et l'association des régions de France signaient un pacte pour l'investissement productif dans l'agro-alimentaire. « *Nous voulons construire l'usine du futur, robotiser, former, innover et développer l'exportation* », soulignait Alain Rousset, le président de l'Association des Régions de France, ajoutant que la « *France avait pris du retard dans la modernisation des usines agroalimentaires, par rapport à l'Italie et l'Allemagne* ».

Initialement écartée des 34 plans de la nouvelle France industrielle définis par Arnaud Montebourg, la filière s'est également mobilisée pour donner lieu à un plan baptisé « *produits innovants pour une alimentation sûre, saine et durable* ».

Près de 530 projets ont été analysés pour un budget total de 2 milliards d'euros et répondant à cinq ambitions. Parmi elles, reconquérir la compétitivité des métiers de la viande avec comme projet le développement d'un automate de découpe adapté au canard visant à intégrer des systèmes de reconnaissance 3D et la robotisation du pliage et de la dépose des cuirs de bovins sur palette.

La filière tient aussi à s'imposer dans les emballages du futur avec l'intégration de puces permettant la géolocalisation de produits fragiles. Par ailleurs, l'accent est mis aussi sur la garantie de qualité et de sécurité des aliments par des technologies de contrôles plus précises et rapides. Parmi les projets étudiés : la mise au point d'un procédé PCR (*Polymerase chain Reaction*) en temps réel afin de détecter des bactéries pathogènes et le développement de capteurs visant à repérer des traces de résidus dans les opérations de nettoyage.

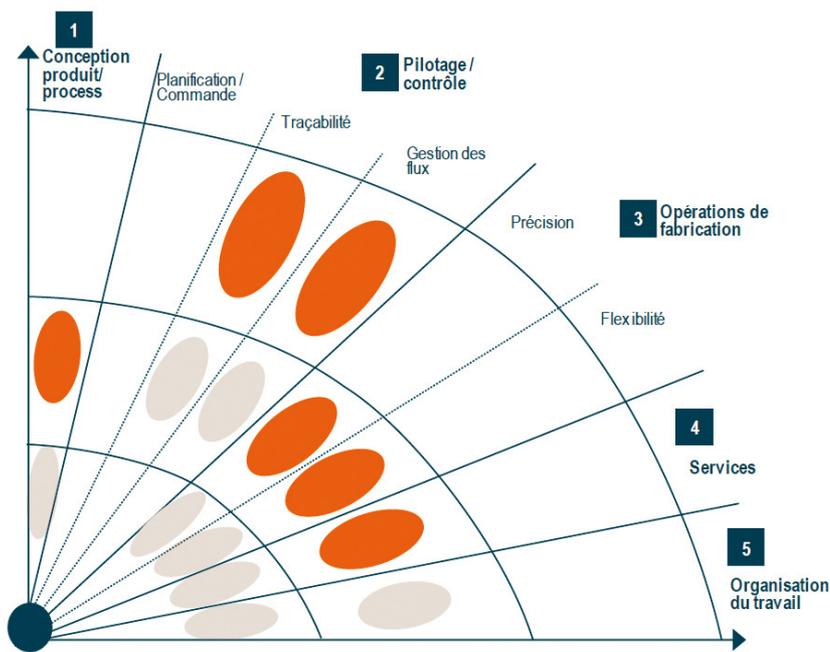
tir le respect des normes d'hygiène, des équipements et des systèmes de contrôle de la qualité et de la traçabilité ainsi que des outils de mesure des conditions de production (capteurs thermiques, hygrométriques, puces RFID...) sont indispensables.

Plus que d'améliorer la sécurité sanitaire des aliments tout en assurant une meilleure traçabilité, les capteurs pour le suivi en temps réel répondent également au besoin de suivi des bioprocédés industriels. Par exemple, la présence d'une bactérie dans un liquide tel que le lait ou

la bière peut être rapidement détectée et ainsi permettre les décisions *ad hoc*. Les capteurs peuvent également être utilisés au contact direct des aliments via les emballages. Le marché mondial de ces nouveaux emballages appelés actifs et intelligents augmente chaque année. ▲



Cartographie des priorités de modernisation du secteur agroalimentaire



Au regard de la maturité actuelle de l'outil de production des industriels français de l'agroalimentaire, les priorités de modernisation concernent le pilotage/contrôle mais aussi la flexibilisation des opérations, tout en réduisant les temps et coûts de maintenance des machines.

Direction l'Usine du Futur

Interview de **Tahar Melliti - Conseiller chargé de l'innovation et de la nouvelle économie industrielle au cabinet du ministre de l'Économie, du Redressement Productif et du Numérique. En charge notamment du plan Usine du Futur.**

GIMÉLEC : Le plan 34 - Usine du Futur - se décline en deux axes principaux, le développement d'une offre française et une meilleure diffusion des méthodes et outils de production dans nos entreprises. Commençons par la seconde partie.

Roland Berger note dans son rapport une stagnation des investissements des grands groupes en France mais aussi une augmentation de leurs investissements, de 43 %, à l'international. Comment les inciter à investir plus en France ?

TAHAR MELLITI : C'est le cheval de bataille du ministre (voir note de fin d'article), de trouver toutes les solutions pour que nos industriels produisent et investissent en France. Il existe déjà certaines briques faisant suite au rapport Gallois comme le CICE... Il n'en reste pas moins que ces grands groupes, qui ont des capacités industrielles et investissent, ont besoin d'acteurs industriels de Rang 2, de très bon niveau, sur lesquels ils puissent s'appuyer pour être encore plus productifs et compétitifs, c'est une composante qui est trop souvent oubliée dans les diagnostics des freins à l'investissement des entreprises en France.

GIMÉLEC : Si je poursuis votre raisonnement, pour avoir une Usine du Futur cohérente toute la chaîne de valeur doit exister. Or, les assembleurs, intégrateurs et fournisseurs de biens d'équipement existent en France, mais pour les Constructeurs de machines, le manque est criant. Que faire ?

TAHAR MELLITI : La constitution d'une offre technologique, au meilleur niveau mondial, est essentielle. Si nous n'avons

pas des fournisseurs d'équipements, des constructeurs de machines performants, nous n'y arriverons pas.

Nous devons nous muscler en France sur ces deux aspects, créer un environnement facilitateur (équipementiers, fournisseurs...) pour qu'ensuite les grands groupes, les ETI et les PME utilisent les technologies et équipements fournis par ces équipementiers et constructeurs de machines.

“ C'est tout un « meccano » de politique industrielle qui a été engagé. ”

GIMÉLEC : Justement, les Grands Groupes pourraient les « emmener », avec eux, à l'export ?

TAHAR MELLITI : C'est notre objectif, et un moyen de combler notre déficit. C'est tout l'écosystème des outils de production que le ministre souhaite créer avec ce plan Usine du Futur, des Grands Groupes aux PME.

GIMÉLEC : Parlons des PME. Pour les inciter à moderniser leur outil de production, on a parlé de diagnostic auprès de 2 à 3.000 PME. Qui va faire ce gigantesque travail ? Qui pour les former, certaines initiatives passées ayant montré les limites du concept ?

TAHAR MELLITI : Les PME sont un volet essentiel du plan. La démarche choisie n'a rien à voir avec ce qui a pu se faire dans le passé.

Comprenez que nous souhaitons faire « sauter » une classe aux PME comme le dit souvent le ministre. Nos industries

ont pour beaucoup du retard en termes d'outil industriel. Et notre ministre tient à ce que cette dimension PME puisse être menée directement par les régions qui connaissent le mieux leur tissu économique local et donc vont s'approprier ce travail auprès des industriels.

Certaines régions ont déjà lancé un appel à projets auprès des PME qui souhaitent franchir le pas vers l'excellence industrielle. A partir des demandes ex-

primées par ces industriels, les régions vont confier le diagnostic à des consultants spécialisés.

GIMÉLEC : Nous avons des consultants formés pour faire ce travail ?

TAHAR MELLITI : C'est l'une des contraintes, pour cela nous constituons une sorte de cahier des charges du « diagnostiqueur ». C'est primordial, au niveau national il nous faut des critères de qualité qui s'adressent à tous, avec le même niveau d'exigence, les « diagnostiqueurs » doivent avoir la même base de réflexion tout en tenant compte du fait que les métiers des PME sont différents. Après, sur le terrain, l'organisation dans les régions sera différente, mais le cœur du diagnostic sera commun.

Ces acteurs du diagnostic seront financés par les régions, mais attention il ne s'agit pas de passer trois mois dans chaque entreprise. L'objectif est d'apporter un œil extérieur et d'identifier les problèmes principaux, les marges de

progrès flagrantes. C'est une première phase indispensable.

GIMÉLEC : Cette étape franchie, sur le plan financement, quelles actions ? On parle de période d'amortissement, d'un crédit vendeur avec garantie apportée par l'Etat... qu'en est-il ?

TAHAR MELLITI : Les préconisations faites, ces PME pourront être financées par l'enveloppe fléchée, dans le cadre de la BPI pour le plan Usine du Futur, de l'ordre d'un milliard d'euros. C'est le financement direct.

Par ailleurs, nous mettons en place tout un panel de soutiens comme les amortissements accélérés pour les investissements productifs qui pourront être engagés dès janvier 2015. Notre volonté est d'aider les PME qui le souhaitent et qui en ont le potentiel, suite au diagnostic, à sauter une « *classe d'efficacité* » comme je le disais tout à l'heure.

GIMÉLEC : Plus généralement, comment aider ces PME à devenir des ETI (problème de transmission, réticence au regroupement, problème d'export...) ?

TAHAR MELLITI : C'est bien notre objectif, aider les PME afin qu'elles grossissent que ce soit par croissance interne, par regroupement... tous ces mécanismes sont engagés en parallèle.

C'est plus généralement un travail de fond qui a été engagé par le ministre, sur toute l'industrie française. Il concerne tout aussi bien l'outil de production que la frilosité de certaines PME à collaborer, que la constitution d'une nouvelle offre produit innovante et en rupture (les 33 plans industriels au côté de ce 34^{ème} plan destiné à l'Usine du Futur)... c'est tout un « *meccano* » de politique industrielle qui a été engagé. L'outil de production doit être une source de compétitivité dans les prochaines années, c'est un levier majeur.

GIMÉLEC : Comment faire travailler ensemble nos Grands Groupes et nos PME ? Reconnaissez que, sur ce point, les Allemands sont plus « patriotes » ?



Tahar Melliti

- ▶ Conseiller chargé de l'innovation et de la nouvelle économie industrielle au cabinet du ministre de l'Économie, du Redressement Productif et du Numérique.
- ▶ Responsable Europe du réseau de distribution Valeo Clim Service chez Valeo (2000-2002).
- ▶ Sous-directeur, responsable de l'entité « *analyse des risques et rentabilité des projets* » chez PSA Peugeot Citroën (2003-2006).
- ▶ Responsable des programmes « *énergie, environnement, transport* » à l'agence de l'innovation industrielle (2006-2009).
- ▶ Chef du département des technologies solaires au commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives et directeur de l'INES (Institut National de l'énergie Solaire (2009-2010).
- ▶ Conseiller énergie et directeur délégué du programme « *transports* » au commissariat général à l'investissement dans les services du Premier Ministre (2010-2012).

TAHAR MELLITI : Nous apportons modestement deux réponses dans le cadre du plan Usine du Futur

La partie « *projet pilote* » qui est essentielle. Nous voulons pousser les grands groupes à installer des vitrines technologiques de production, et cela pour chaque famille d'innovation majeure.

C'est un moyen de montrer, au monde, que la France dispose des technologies les plus avancées et les plus compétitives mais surtout qu'elles fonctionnent, le tout au sein d'une ligne de production

réelle et non dans un laboratoire. Ces vitrines seront composées avec un maximum de matériels et de compétences françaises et très souvent provenant de nos ETI, PME, voire Start-up. Les industriels mondiaux verront nos vitrines, nos compétences... de quoi les pousser à profiter de nos savoir-faire. C'est également pour nos industriels une possibilité de gagner des marchés « *en meute* ».

La deuxième chose, ce sont des programmes régionaux d'excellence industrielle, ils pourront par exemple être constitués de lieux dans lesquels seront

mutualisées les compétences de nos industriels sur des métiers transverses. Trop souvent, une entreprise qui a développé des technologies métiers révolutionnaires les conserve en interne. Notre idée est d'inciter les industriels à partager leurs compétences techniques. Tous ensemble.

GIMÉLEC : Que pensez-vous justement des investissements partagés, comme le pratique par exemple le Cetim, avec le Partage des outils de production ? C'est ce type de dynamique que vous souhaitez enclencher ?

TAHAR MELLITI : Tout à fait, c'est une voie de partager des investissements lourds. Il faut que les industriels se mutualisent, comme pour, par exemple, acquérir une machine 3D. Cette solidarité des industriels est extrêmement importante aux yeux du ministre, c'est la solidarité entre les industriels.

La culture du secret sur tout n'est pas la meilleure solution possible, ce qui ne signifie évidemment pas l'ouverture de tous « *les livres* » de l'entreprise ; il ne faut pas être naïf ! Mais, personne ne possède la science infuse sur l'ensemble des techniques de production qui sont d'ailleurs souvent multi-filières et il faut un changement culturel pour croiser les compétences, les savoirs et savoir-faire entre filières. Il existe aujourd'hui encore des blocages, notamment, à certains niveaux du management.

GIMÉLEC : Passons au volet offre française. A vous écouter, il ne peut exister une industrie forte, sans un secteur des machines de production fort. Première technologie que vous avez relevée, c'est l'impression 3D. Face aux Américains ?

TAHAR MELLITI : Nous avons un leader français avec Gorgé qui, en peu de temps, s'est imposé dans le secteur ; il est apte à prendre une place de leader au niveau mondial, même s'il a des concurrents étrangers aujourd'hui bien positionnés. Avec sa technologie le groupe Gorgé apporte à ses clients deux avantages compétitifs majeurs : perfection des réalisations produites y compris pour des

pièces de grande dimension (un mètre) et vitesse de production accélérée.

Notre objectif est de renforcer ce type de leaders pour qu'ils deviennent nos têtes de pont. Nous pourrions également citer le secteur du composite qui va accélérer son introduction dans l'industrie.

GIMÉLEC : Dans le domaine de la robotique, quelle direction face aux géants japonais, allemands ou suédois ?

TAHAR MELLITI : C'est la robotique mariée et non pas opposée à l'Homme. C'est le volet permettant de positionner l'Homme au centre de l'usine de demain, mais c'est un homme qui sera aidé dans ses tâches les plus difficiles dans son environnement industriel. Dans les diverses technologies de robotiques, la cobotique est celle qui est aujourd'hui

“La solidarité des industriels est extrêmement importante aux yeux du ministre.”

la moins diffusée dans les usines, car encore en émergence, et donc que nous souhaitons promouvoir pour nous positionner comme leader mondial. Je peux vous citer une entreprise comme RB3D qui est très active sur cette technologie et qui va probablement, très rapidement, devenir un champion sur le plan mondial.

GIMÉLEC : Pour l'Internet Industriel des objets, quelle solution française ? Surtout que la partie la plus importante reste la communication et les Américains ont tiré les premiers ?

TAHAR MELLITI : Nous allons vers une production flexible, à la demande, des produits qui vont être quasiment définis et conçus par le consommateur. Il faudra répondre rapidement à de telles exigences, quasiment en temps réel. Pour cela, il faudra réorganiser la production industrielle, et l'Internet Industriel des

Objets va devenir l'une des composantes technologiques majeure de cette révolution.

En France, nous avons des entreprises leaders comme Dassault Systèmes, Fives, ou Schneider Electric... des acteurs industriels qui, s'ils discutent ensemble, peuvent apporter des solutions qui s'imposeront sur le plan mondial.

GIMÉLEC : Aider à créer des leaders dans les nouvelles technologies, c'est bien mais comment éviter la revente à des étrangers, comme cela s'est fait en robotique dans les années 90 ?

TAHAR MELLITI : Depuis peu, un décret à l'initiative du ministre Arnaud Montebourg nous aide à mieux nous protéger. C'est un mécanisme qui permet de sauvegarder certaines technologies phares, stratégiques pour la France, aidées en particulier par l'Etat.

L'Etat aura son mot à dire. A l'inverse, nous ne sommes pas opposés aux investissements étrangers ou aux regroupements... mais à certaines conditions.

GIMÉLEC : Le rapport de Roland Berger parle d'une Filière émiétée. Vous allez proposer quelque chose ?

TAHAR MELLITI : C'est effectivement l'une des conclusions intéressantes du rapport. Elle va dans le sens du plan Usine du Futur qui doit devenir le fer de lance, et donc il serait logique d'avoir une structure cohérente, quelque chose comme le CORAC pour l'aéronautique. Nous verrons.

GIMÉLEC : Caricaturalement on parle d'Industrie 4.0 comme quelque chose d'allemand. Mais quelle différence avec l'Usine du Futur en France ?

TAHAR MELLITI : Industrie 4.0 c'est uniquement l'aspect Usine Numérique, ce n'est donc qu'une composante parmi d'autres de l'Usine du Futur « *Made in France* ». Dans notre plan, nous avons cette partie numérique, mais aussi une composante environnementale, une composante tournée sur les équipements industriels,



une autre regarde les nouveaux matériaux (composites) ou encore formation, partage des compétences... Regardez tous les sujets que nous venons d'aborder, et vous noterez que la composante numérique est présente, mais pas exclusivement.

GIMÉLEC : Et les jeunes diplômés 4.0, ca existe ?

TAHAR MELLITI : Pas encore, mais la formation fait partie du plan. C'est un volet sur lequel nous travaillons avec le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Trop d'écoles forment dans chacune des technologies, et pas assez de manière transversale.

C'est cet aspect système que les ingénieurs et techniciens de demain doivent s'approprier, une maîtrise globale et systémique.

GIMÉLEC : Quelle est l'articulation entre votre plan Usine du Futur, les régions et le CNI plus orienté filière ?

TAHAR MELLITI : Dès l'origine du plan Usine du Futur nous avons eu un groupe « Offre » et un groupe « Demande », toute l'industrie et toutes les filières étaient représentées, en cohérence avec le CNI.

Il était inconcevable de travailler sur une Offre qui n'aurait pas été en phase avec la Demande. Les industriels de la demande ont cartographié les sujets sur lesquels ils souhaitaient que nous focalisions les travaux car sources de gains de compétitivité majeurs, c'est un travail qui a été réalisé de manière extrêmement détaillé et c'est peut-être une première mondiale !

GIMÉLEC : Avec l'Usine du Futur, nous avons évoqué tout à l'heure de nou-

velles méthodes de production, mais lorsque l'on évoque de ramener les usines dans les centres villes, ce n'est pas utopique ?

TAHAR MELLITI : Pas du tout. Un nouvel écosystème se met en place. La société se pose des questions en terme environnemental, alors pourquoi ne pas mettre les usines à proximité des lieux de vie, même si bien entendu toutes les usines ne seront pas concernées ?

Le producteur se rapproche du consommateur, aussi bien au niveau international que local. Demain tout sera morcelé, vous aurez des micro-entreprises avec des outils de production efficaces qui ne nécessiteront pas forcément des surfaces colossales. Ces entreprises se concentreront sur des niches métiers pour répondre aux demandes variées des consommateurs. ▲

Cette interview a été réalisée à Bercy le 21 août 2014. Soit quelques jours seulement avant le départ d'Arnaud Montebourg. Mais nul doute que l'impulsion voulue par l'exécutif restera similaire sur ce plan « Usine du Futur ».

La nécessité d'intégrer des compétences nouvelles

La fabrication et l'utilisation d'un outil de production industriel repose historiquement sur des compétences en mécanique. Puis, les décennies 1990 et 2000 avaient déjà connu l'apparition de la mécatronique combinant mécanique et électronique (commande numérique...).

Les perspectives de l'industrie 4.0 soulignent la nécessaire intégration de nouveaux champs disciplinaires tant pour les acteurs de l'offre d'outils de production que pour les industriels.

L'interconnexion entre machines, mais aussi de l'usine avec l'amont et l'aval, nécessite des compétences informatiques et réseau. Le recours à des compétences réseau et logiciel est renforcé par le dispositif de pilotage (de la machine ou de la ligne) auto-apprenant.

Enfin, la priorité donnée à la conception produit/process nécessite l'intégration de compétences additionnelles en ingénierie système, modélisation. Appliquée à la maintenance, cette logique requiert des compétences d'analyse de données

(Big Data Analytics) et de programmation (maintenance prédictive). L'appareil de production lui-même crée davantage d'informations qui, une fois analysées, permettent de rendre le processus productif plus performant en termes de délais, de coûts de production, de flexibilité, de traçabilité, de précision.

Transversalement, la modernisation de l'outil de production passe par une plus grande intégration de différentes technologies. Le mouvement renforce le rôle des intégrateurs et des acteurs de la conception produit/process. ▲

Champs disciplinaires actuels et naissants

Domaines de perfo .		Champs disciplinaires							
		Mécanique	Électronique	Logiciel / informatique	Réseau interne/ interconnectivité	Ingénierie système	Réseau externe - web	Data : analyses de données	Modélisation
Maturité disponible / Diffusion généralisée	CAO, IAO	✓		✓					✓
	Commande numérique	✓	✓						
	Suivi des lots		✓	✓					
	Informatisation des flux		✓	✓	✓				
	Techniques traditionnelles	✓	✓						
	Machine programmée	✓	✓	✓	✓				
	Installation de machines	✓	✓	✓					
Maturité émergente / Diffusion limitée	CFAO			✓					✓
	Planif et gestion centralisée			✓	✓	✓		✓	
	Suivi unitaire des pièces		✓	✓	✓				
	Automatisation de la log.	✓	✓		✓	✓		✓	
	Techniques de précision	✓	✓			✓			
	Machines polyvalentes	✓	✓	✓	✓				
	Retrofit	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Maturité future / Précurseurs	Modélisation de ligne			✓		✓		✓	✓
	Interconnexion avec extérieur		✓		✓		✓	✓	
	Capteurs de conditions		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Log. interconnectée extérieur		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Robot intelligent	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
	Fabrication additive	✓	✓	✓	✓				✓
	Maintenance prédictive	✓			✓		✓	✓	✓

Source: analyse Roland Berger

Interview de Frédéric Saint Geours, Président du GFI et de l'UIMM

L'évolution des effectifs de l'industrie manufacturière entre 1980 et 2007, selon l'Insee, est de - 36%. A l'inverse, entre 1995 et 2010, les effectifs de cadres ont augmenté de 23 % selon l'Apec. L'industrie est en mutation forte ?

Ce sont deux évolutions caractéristiques de l'industrie manufacturière et il est à noter que ces chiffres sont semblables dans la plupart des pays industrialisés.

Un élément a amplifié ce phénomène, à savoir l'externalisation d'activités qui étaient gérées à l'intérieur de l'industrie et qui ont été transférées au secteur des services que ce soit pour la maintenance ou le transport.

Concernant l'évolution des qualifications, nous avons assisté à une montée en gamme, ce qui ne signifie pas que nous n'ayons plus besoin de soudeurs ou de chaudronniers, au contraire l'industrie en manque.

C'est un phénomène qu'il faudra gérer. Nous avons besoin de recruter dans l'industrie manufacturière de l'ordre de 100 à 150.000 personnes par an sur les dix ans qui viennent que ce soit pour des raisons de pyramides d'âges ou de transformation des métiers, des technologies, des marchés... qui imposent aux entreprises la recherche de nouveaux savoir-faire.

Le challenge de l'industrie française, si elle veut aller vers l'Usine du futur, sera d'identifier, d'attirer et de former les personnes pendant les 10 ans qui viennent.

C'est aux entreprises d'accompagner les salariés ?

L'un des apports du dernier accord interprofessionnel sur la formation est d'avoir créé un compte personnel de formation qui n'est pas lié au travail du salarié ou du demandeur d'emploi, mais directement à la personne. Un choix qui la responsabilise dans son parcours, et permet de s'adapter à des métiers qui changent.

Il faut être conscient que les entreprises ne peuvent pas toutes seules former les personnels dont elles ont besoin, le dispositif public de formation est clé.

Le défi est de trouver le bon équilibre entre formation générale pour structurer et formation répondant aux besoins des entreprises. Si nous n'y parvenons pas, le risque sera de devoir chercher le personnel hors de France.

Avec l'Industrie 4.0, on parle beaucoup de travail collaboratif. C'est un changement important ?

Il faut, dès la formation initiale, que le travail collaboratif soit mis en avant. Il faut arrêter de penser que, dès lors que l'on partage des connaissances ou un travail, il existe un risque

de perdre de la substance sur le travail que l'on faisait. Au contraire, le salarié va réaliser quelque chose de supérieur à ce qu'il faisait antérieurement, tout seul.

Il faut voir, par exemple, le métier de soudeur non pas comme le fait de réaliser des soudures, mais comme le moyen de participer à l'élaboration d'un projet.

Toutes ces évolutions techniques, c'est du chômage en devenir ?

Chaque fois que vous introduisez de nouvelles machines, cela crée de nouveaux métiers liés à la mise en œuvre de ces machines. Dans l'Usine du futur il y aura bien évidemment des salariés, le défi sera d'être capable d'identifier les métiers qu'ils feront, et de les attirer.



Crédit Photo Saint Geours Arnaud Février

Pour cela, l'image de l'Industrie change ?

Depuis quatre/cinq ans, le développement de l'industrie est au cœur du débat économique français, parents, enseignants, grand public s'intéressent à l'industrie. Nous avons même un dispositif itinérant, à l'UIMM, autour de projets technologiques, qui a déjà touché plus de 3.900 classes à travers la France. Nous faisons des études d'impact avant et après le passage. Leur opinion change, ils se rendent compte qu'il s'agit de métiers technologiques avec lesquels il est possible de bien gagner sa vie, de métiers où il est possible d'évoluer ou de se déplacer à l'international...

Propos tenus lors du débat « La Place de l'homme dans l'usine du futur », le jeudi 3 avril 2014.

Quelle place pour l'Homme dans l'industrie de demain ?

par **Michel Roche, Conseiller en performance industrielle et en management.**
Ex-Directeur des opérations monde produits composants et semi-finis du groupe Michelin.

Le secteur industriel a toujours été en continu mouvement. Une fois de plus, il est entré dans une phase de profonde mutation, phase qui voit les technologies numériques s'intégrer de plus en plus au cœur des processus industriels.

Partout dans le monde, on parle d'une quatrième révolution industrielle donnant naissance à une nouvelle génération d'usine. Divers noms sont donnés à l'usine de demain : smart factory (usine intelligente), cyber-usine, usine connectée... Peu importe la désignation. Quatrième révolution, cela veut dire qu'il y en a eu avant et on peut prendre les paris qu'elle ne sera probablement pas la dernière. Nouvelle révolution, caractérisée par la fusion du monde virtuel

production installés au cœur même des villages chargés de fabriquer en petites quantités, notamment grâce à l'évolution technologique (impression 3D...), les produits dont nous aurons besoin au quotidien.

L'intelligence de l'Homme

Mais alors que devient l'Homme ? Quelle est la place qui lui sera accordée dans cet univers technologique connecté ? Il a toujours joué un rôle clé depuis les débuts de l'industrie en s'adaptant continuellement à chaque période. Cela se poursuivra. Les robots ont de l'avenir c'est certain ; ils seront connectés à internet et en contact avec des puces RFID (*Radio Frequency Identification*) qui leur transmettront des consignes ; l'interface



nouveaux modes de distribution, de l'intégration du consommateur par le biais des réseaux sociaux. Elle soulignera la qualité et les connaissances des ingénieurs, des techniciens, des opérateurs en leur confiant davantage de tâches à valeur ajoutée.

Le rôle des Hommes sera d'autant plus important qu'il faudra aller vite vis-à-vis de ces marchés. La différence entre les entreprises pour répondre à une performance toujours renouvelée et exigeante se fera par les Hommes.

L'usine du futur sera confrontée à 4 grands types de problèmes : l'usine et la nature - l'usine et le voisinage - l'usine et la création de valeur - l'usine et les hommes.

Les techniques seront potentiellement à la disposition de toutes les entreprises et l'avantage stratégique sera alors basé sur deux points : la supériorité de l'expertise industrielle (équipement, employés) et l'engagement du personnel.

“ Ne rêvons pas : l'usine sans homme n'est pas pour demain. ”

de l'internet délocalisé avec le monde réel des installations industrielles et amenant une véritable rupture technologique pour la poursuite de l'extraordinaire champ d'innovation, de progrès et de croissance vécue depuis les débuts de l'industrie.

En effet, depuis le début de l'ère industrielle, des innovations innombrables ont eu lieu et des gains de productivité, de temps, d'énergie ont été continuellement réalisés. Cela va continuer, toujours au service des marchés et des clients. Demain, nous pourrions avoir de grosses usines ultraperformantes et connectées mais aussi de petits sites de

homme-machine assistée par ordinateur sera plus que jamais au cœur de l'usine du futur, mais c'est l'intelligence de l'Homme qui fera devenir cette usine plus intelligente.

Ne rêvons pas : l'usine sans homme n'est pas pour demain. Les robots seront là pour effectuer les tâches répétitives les moins intéressantes ou nécessitant de la précision. Cette nouvelle vague technologique basée sur le numérique sera associée à des demandes marché très fortes en terme d'innovation, de sécurité, de respect de l'environnement et des matières premières, de performance économique au sens large du terme, de

Il est clair que les effectifs diminueront et que le profil des personnes évoluera de manière significative sous l'effet de nouveaux métiers et d'une profonde modification des structures. Les emplois qualifiés se développeront, les emplois non qualifiés diminueront très fortement. Dans un monde où les métiers évolueront très vite, où les interactions entre les entreprises elles-mêmes mais aussi avec les universités s'accéléreront, la formation initiale et continue obligera les entreprises à devenir constamment des entreprises enseignantes pour les personnes.

Des Hommes motivés et formés

Indépendamment de la formation, l'usine de demain devra veiller encore plus qu'aujourd'hui à mettre les individus dans des conditions favorables : tenir compte des attentes des Hommes, dont la qualification augmente, évolue. La personne n'a envie de faire des progrès que si elle y trouve son compte : être considérée, être reconnue, être meilleure qu'avant, être respectée, être responsable, exprimer sa réactivité. Elle attend, d'autre part, une certaine qualité de vie au travail et la création de liens sociaux qui ont tendance à se diluer à l'extérieur de l'entreprise.

Il faudra donner demain à chacun encore plus qu'aujourd'hui les moyens d'exercer son talent, d'exprimer son potentiel car tout ira très vite dans un monde hyper compétitif où les nouvelles technologies ne sont et ne seront là qu'au service des Hommes pour les aider dans leur mission.

L'entreprise gagnante demain sera celle qui saura mobiliser les Hommes, répondre aux attentes réciproques des personnes et de l'entreprise, utiliser pleinement l'intelligence collective et le sens des responsabilités des personnes et des équipes. En un mot : des Hommes motivés et formés dans une usine numérique, créative, ergonomique, fonctionnelle et rentable, au service du client.

La motivation passera par le développement de la responsabilisation des équipes jusqu'à aller en usine au management autonome de la performance

USINE ET NATURE

Réduction de la consommation de ressources : énergie – eau - matières premières... Protection de l'environnement : procédés industriels propres - transformations des rejets industriels en produits valorisables... Développement durable des produits et procédés...

USINE ET VOISINAGE

Intégration dans les paysages péri-urbains : recherche design architectural (usine plus compacte, plus faible impact visuel, plus faible encombrement...). Nouvelles relations entre industriels et grand public : valorisation des valeurs de l'industrie ; création de lien social...

USINE ET CRÉATION DE VALEUR

Compétitivité économique : flexibilité, réactivité, agilité, coûts... Compétitivité technique : Innovation... Maîtrise accélérée des flux de la conception à la fabrication... Pilotage par la demande marché.

USINE ET HOMMES

Les Hommes au cœur du terrain et de la performance durable. Utilisation du potentiel et de l'intelligence des hommes et des équipes réunies : responsabilisation et autonomie... Rencontre positive des attentes des hommes et de l'entreprise : engagement individuel et dynamique collective - responsabilisation (culture, comportement, compétences) - qualité du management - outil et méthodes au service des hommes...

et du progrès à tous les niveaux : des organisations responsabilisantes (au sens anglo-saxon *empowerment*) permettant aux Hommes de se développer, de grandir en autonomie, en maîtrise et confiance, de s'approprier leurs résultats et leur progrès. Utopie tout cela ? Non car cette autonomie ne s'exercera que dans des règles du jeu claires, des

Il faudra donner demain à chacun encore plus qu'aujourd'hui les moyens d'exercer son talent, d'exprimer son potentiel.

conditions préalablement établies (mission, périmètre...). Utopie tout cela ? Non car certaines entreprises travaillent avec succès dans cette direction. Cela prend du temps mais à la sortie, quelle satisfaction.

Le métier de manager change continuellement et il sera demain encore plus responsable de la formation de ses équipiers et de la création des conditions pour l'engagement et la mise en place

de ces nouvelles organisations. Trois expressions caractériseront les managers : leadership, développement des personnes, pilotage de la performance.

Alors, quelle conclusion pour la place de l'Homme demain dans l'usine du futur ? Le pilotage d'une usine ne se fait pas uniquement par le pilotage des processus, mais surtout par le management des Hommes en donnant du sens aux actions. Hommes à motiver, faire grandir et former constamment. Les hommes seront de moins en moins nombreux dans l'usine, mais ils seront la clé pour répondre aux attentes des marchés où la vitesse de réponse sera l'élément déterminant. Les outils, les systèmes de management ne sont et ne seront qu'au service des hommes.

Dans l'industrie de demain, la variété des emplois augmentera et attirera des Hommes qui souhaiteront se réaliser dans ce qui restera un élément clé de la création de valeur et de richesse. Dans l'industrie de demain, la place des Hommes au cœur de la performance sera telle que les valeurs véhiculées seront positives et porteuses d'une vision optimiste. L'industrie retrouvera alors progressivement la lumière médiatique qu'elle avait un peu perdue. ▲

La Cybersécurité s'organise

Interview de **Stéphane Meynet**, chef de projet **Systèmes Industriels à l'ANSSI**.

Le chiffre de 102 attaques de cybercriminalité réussies par semaine en 2012 est passé à 122 en 2014, et ce malgré une prise de conscience notoire des industriels.

GIMÉLEC : En deux ans, les industriels prennent-ils conscience de l'importance de la cybercriminalité ? Cette problématique est-elle la dernière traitée, lorsqu'il reste du budget ?

STÉPHANE MEYNET : En deux ans les choses ont énormément évolué, les industriels se sont appropriés le sujet. La prise de conscience est réelle, aujourd'hui il reste à mettre tout en œuvre pour renforcer les systèmes de production.

GIMÉLEC : Pour les aider, l'Anssi travaille sur la labellisation de produits. Quel est le fonctionnement ?

STÉPHANE MEYNET : Nous avons déjà labellisé plusieurs produits de sécurité comme des pare-feu, des logiciels de chiffrement... Cette labellisation est une aide pour les utilisateurs, entre deux produits ils savent que le produit labellisé est robuste et que pour l'autre, nous ne savons pas.

Maintenant, nous souhaitons étendre ces labellisations aux équipements du monde industriel comme les automates programmables, les IHM...

GIMÉLEC : Ne risquez-vous pas d'arriver au même phénomène que pour les certifications SIL (sécurité des machines) à savoir que mettre des produits SIL3 ensemble ne garantit en rien que l'application sera SIL 3 ?

STÉPHANE MEYNET : Il faut garder à l'esprit que l'industriel cherche à renforcer la

sécurité de ses installations et des systèmes dans leur ensemble. Effectivement, comme vous le dites, ce n'est pas parce qu'il a acquis des briques labellisées que l'ensemble aura un niveau de sécurité suffisant.

Pour répondre à cette problématique, nous proposons l'homologation des systèmes et nous venons même de publier un guide sur l'homologation. Son objectif est de permettre à un industriel de s'assurer, avant le démarrage d'une installation, après une analyse de risques, qu'il

“ Nous souhaitons étendre ces labellisations aux équipements du monde industriel comme les automates programmables, les IHM... ”

a mis en place la sécurité nécessaire et que les risques résiduels sont bien identifiés.

Et nous allons encore plus loin, après la labellisation des produits et l'homologation des systèmes, il reste une composante fondamentale qui est de trouver les prestataires compétents qui vont s'assurer que l'installation est en sécurité. C'est notre prochaine étape : la labellisation des prestataires.

GIMÉLEC : Labellisation, homologation Qui garantit les résultats si j'utilise un produit certifié et que je suis piraté ?

STÉPHANE MEYNET : Il ne s'agit nullement de garantie. Ce n'est pas parce que vous utilisez un système ou un produit labellisé que vous êtes garanti contre toutes les attaques. Un produit labellisé peut avoir des vulnérabilités futures, il faut toujours rester prudent et tenir compte du contexte. Et, régulièrement, il faut mettre à jour ces homologations.

GIMÉLEC : Vos travaux de labellisation, d'homologation vont impliquer des décrets d'applications du référentiel ? Sans une couche de législatif, difficile de faire appliquer quoi que ce soit ?

STÉPHANE MEYNET : Effectivement, nous sommes actuellement dans la phase législative, notamment avec la loi de programmation militaire qui a été votée en décembre 2013. L'article 22 de cette loi ne porte pas exclusivement sur l'aspect mili-

taire mais vise à renforcer la sécurité des infrastructures critiques de la nation. Derrière ce terme se trouvent des domaines comme l'eau, le transport, la santé, l'énergie... cet article donne de nouveaux pouvoirs au Premier Ministre pour renforcer le niveau de sécurité des installations, il permet de définir des mesures que les opérateurs devront mettre en place.

GIMÉLEC : Existe-t-il des clients finaux qui intègrent cette notion de labellisation dans leurs cahiers des charges ?

STÉPHANE MEYNET : Nous sommes face à des clients qui se posent des questions

plutôt sur les prestataires. Lequel choisir ? Lequel maîtrise le mieux la cybersécurité ? Plusieurs types de demandes arrivent à l'Anssi, mais il faut du temps pour que le marché se mette en mouvement.

GIMÉLEC : Quel est le coût d'une labellisation ? Il faut certifier un produit, une catégorie de produits ?

STÉPHANE MEYNET : Tout va dépendre du type de labellisation choisi. En France nous avons deux niveaux, d'abord la certification de sécurité de premier niveau, pendant un mois un laboratoire va tenter de « casser » l'Automate programmable et trouver des vulnérabilités. Ensuite, le second référentiel a plusieurs niveaux d'exigence qui peuvent impliquer jusqu'à un an de travail. Les tarifs vont donc varier en fonction du temps.

GIMÉLEC : C'est une initiative franco-française et peut-elle devenir internationale, ou au moins européenne ?

STÉPHANE MEYNET : L'approche est française mais les critères sont communs sur la base d'un référentiel international, avec des accords de reconnaissance entre les pays. En ce qui concerne les API et les systèmes Scada, par exemple, nous travaillons à trouver des équivalences.

GIMÉLEC : Si l'on revient à l'Industrie 4.0, à l'Internet Industriel des Objets avec du Cloud, au BigData Analytics... Faut-il des datacenters français ? Et en quoi un datacenter français serait plus sécurisé ?

STÉPHANE MEYNET : Le Cloud est un sujet sur lequel nous sommes régulièrement questionnés. Et effectivement, il y a des pièges, par exemple une fois que vous avez fait le pas vers le Cloud, peut-on faire marche arrière simplement ? C'est déjà la première question à se poser.

Ensuite, selon les données que l'industriel met dans le Cloud, en fonction de la confidentialité qu'il souhaite, il pourra être préférable que le serveur soit implanté en France. Aux USA avec le PatriotAct et autres réglementations, la confidentialité des données n'est pas assurée.

D'ailleurs pour aider les industriels nous allons bientôt publier un guide dédié au Cloud.

GIMÉLEC : Avant d'éditer ce guide sur le Cloud, vous venez de publier des classes de cybersécurité. Vous pouvez nous expliquer ?

STÉPHANE MEYNET : Il y a deux ans, nous avons publié un premier guide sur la cybersécurité des systèmes industriels qui avait pour vocation de sensibiliser l'écosystème à ce sujet nouveau et à donner de premières bonnes pratiques.

Les entreprises nous ont demandé d'aller plus loin. Nous avons créé un groupe de travail dont l'objectif a été de définir des outils pour permettre aux utilisateurs de renforcer leur cybersécurité.

La première étape consiste à connaître la criticité de son installation, et ce guide aide l'industriel à savoir s'il est classe 1, 2 ou 3 en fonction de l'impact, plus ou moins grave, en cas de cyber-attaque.

GIMÉLEC : Vous donnez des mesures prédictives à prendre ?

STÉPHANE MEYNET : Tout à fait, nous donnons les premières mesures structurantes, et définissons les mesures applicables dans le cadre de la loi de programmation militaire pour les systèmes industriels.

GIMÉLEC : Comment vont être formées les personnes qui réaliseront tous ces diagnostics ?

STÉPHANE MEYNET : La formation est un sujet très important. Nous souhaitons labelliser un programme de formation sur la cybersécurité des systèmes industriels afin, qu'en deux ou trois jours, un équipementier, un intégrateur... puisse avoir les bases nécessaires. ▲



Stéphane Meynet

- ▶ 38 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.

“ Un produit labellisé peut avoir des vulnérabilités futures, il faut toujours rester prudent ”

Challenges et opportunités des Systèmes Cyber-Physiques

par **Karine Gosse**, directrice du CEA LIST.

Jusqu'à la fin des années 1980, le traitement de l'information était associé à de grands ordinateurs centraux et d'énormes lecteurs de bande. Durant les années 1990, il a évolué pour être associé à l'usage des ordinateurs personnels, les PC. Depuis, la tendance à la miniaturisation a continué et la plupart des systèmes dédiés au traitement de l'information sont maintenant de petits modules de calcul intégrés dans des produits plus grands.

On assiste, avec la présente décennie, à la prolifération de capteurs à bas coût, de capacité croissante et au facteur de forme de plus en plus petit et à l'apparition de composants de calcul aux performances croissantes, bas coût et consommant toujours moins. On est aussi au cœur de la révolution des communications sans fils fournissant en abondance un accès internet. Ces

systèmes de calcul et de communications sont de plus en plus connectés à leur environnement physique et intégrés dans un nombre croissant d'objets et de systèmes.

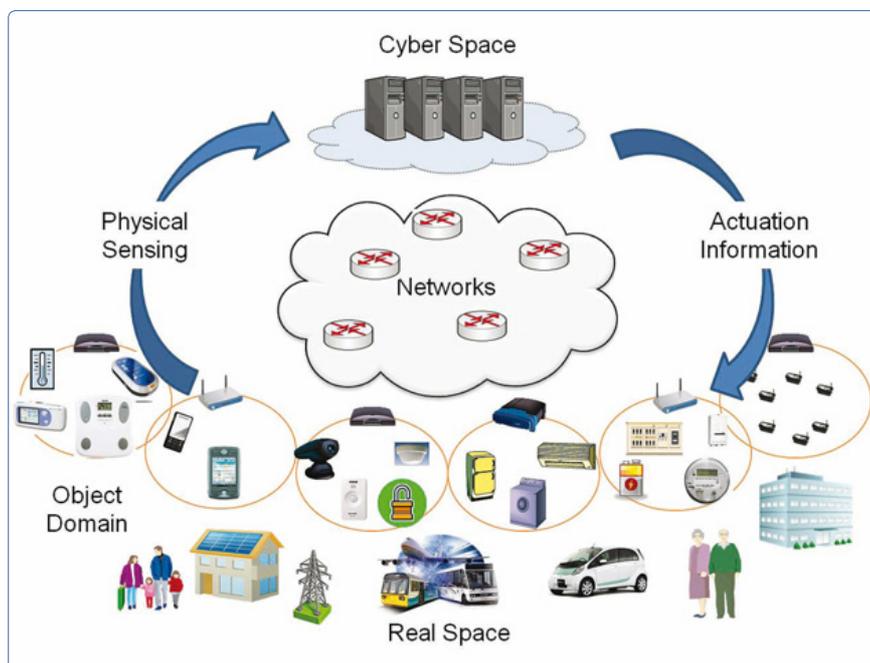
L'émergence de cette nouvelle génération de systèmes intégrant des capacités de calcul avec des processus physiques (et même biologiques) et pouvant interagir avec les humains a conduit en 2006 Helen Gill du NSF à introduire le terme de Systèmes de Cyber-Physiques (CPS pour Cyber Physical Systems). Ils font généralement appel à des boucles de rétroaction où les processus physiques influent sur les calculs et vice-versa. Cette capacité d'interagir avec le monde physique et d'en étendre les capacités par le calcul, la communication et le contrôle est un facteur clé du développement des technologies du futur.

Les challenges des systèmes cyber physiques

La recherche est aujourd'hui partitionnée en un ensemble de disciplines spécifiques et cloisonnées comme les capteurs, la communication et les réseaux, la théorie du contrôle ou l'informatique et l'ingénierie logicielle. Les systèmes sont conçus et analysés en utilisant une grande variété de formalismes et d'outils de modélisation sans liens entre eux. Chaque représentation, issue d'un domaine de recherche spécifique, met en évidence certaines caractéristiques sans tenir compte des autres. Typiquement, un formalisme particulier représentera soit un processus cyber soit un processus physique, mais pas les deux. L'expertise est de même morcelée au détriment de la productivité, la sécurité ou l'efficacité. Bien que cette approche puisse suffire à soutenir une vision des CPS fondée sur un ensemble de composants individuels, elle pose un problème pour la vérification et la sécurité au niveau système comme pour les interactions entre composants. Cela requiert une approche interdisciplinaire des systèmes au-delà des clivages en particulier pour résoudre les enjeux de la conception des architectures, du contrôle et du calcul distribué ainsi que de la vérification et de la validation.

Architectures

Pour permettre une conception et un déploiement rapide des CPS, il est nécessaire de développer des approches innovantes pour définir des architectures qui rendent possible une intégration transparente des éléments de contrôle, de communication et de calcul.



Par exemple, les systèmes de communication sont décrits par un ensemble de couches dont les interfaces sont normalisées permettant une évolution modulaire de chaque couche. Cette conception globale a permis une intégration de systèmes hétérogènes dans un mode plug-and-play, ouvrant la voie à une prolifération des technologies et au développement d'Internet. De la même manière, les CPS requièrent la définition d'abstractions et d'architectures normalisées pour permettre l'intégration et l'interopérabilité des systèmes.

Calcul et contrôle distribué

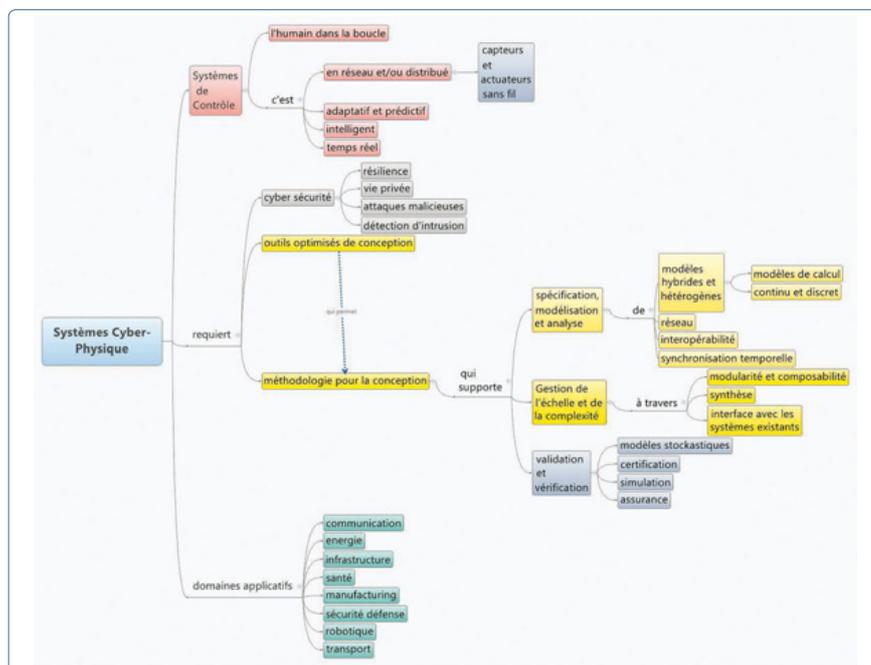
La conception et la mise en œuvre de systèmes de contrôle en réseau posent plusieurs défis liés à la capacité à développer des calculs temps-réel et « *event-driven* », à gérer les pannes, la reconfiguration et les systèmes distribués d'aide à la décision. La conception de protocoles pour des réseaux sans fil garantissant la qualité de service temps réel, la résolution des écarts entre conception de lois de commande et complexité de leur mise en œuvre en temps réel, l'hétérogénéité entre systèmes continus et systèmes discrets, la gestion de la robustesse des grands systèmes constituent les défis majeurs que doit relever la recherche en CPS. Enfin la coopération de composants hétérogènes interagissant dans un environnement physique complexe et opérant sur différents niveaux spatiaux et temporels requiert une forte exigence de fiabilité et de sécurité.

Vérification et Validation

Les exigences des CPS nécessitent de développer les composants matériels et logiciels, les middleware, les systèmes d'exploitation au-delà des technologies existantes. Parce qu'ils interagissent directement avec le monde physique, matériel et logiciels doivent être fiables, reconfigurables, et, pour les plus critiques, être certifiés, depuis les composants jusqu'au système complet. Ces systèmes complexes doivent présenter un degré de fiabilité/confiance qui fait défaut à la plupart des infrastructures actuelles. Le surdimensionnement est actuellement la voie la plus utilisée pour

la certification de système sûr. Pourtant, cette approche devient rapidement inextricable pour la conception de systèmes complexes coopératifs et interopérables. Le développement de méthodes fondées sur l'analyse et la preuve est nécessaire pour permettre d'obtenir des niveaux de confiance suffisants à coûts maîtrisés. Il est nécessaire d'appliquer les concepts de vérification et de validation à la fois au niveau de la conception des systèmes et de l'adaptation des logiciels de contrôle

la gestion de l'énergie (des bâtiments dits intelligents aux éco-quartiers des « *smart cities* ») et le contrôle/automatisation des systèmes de production. En particulier, le concept d'« *Industrie 4.0* » introduit en Europe sous l'impulsion de l'Allemagne pour passer à la production intelligente repose sur l'utilisation des systèmes cyber-physiques pour développer une industrie intelligente (smart manufacturing) Selon le Germany Trade & Invest (GTAI), l'Agence fédérale de pro-



existants. Cette exigence sera le moteur du développement de nouveaux modèles, méthodes et outils, notamment pour permettre la validation de systèmes adaptatifs.

Opportunités

L'identification des besoins, enjeux et opportunité pour l'industrie permettra d'accélérer les développements de la recherche dans les CPS. Récemment la Commission Européenne a initié un mouvement majeur dans le domaine en fusionnant trois partenariats public-privés (Artemis, Eniac et EPOSS) en un seul partenarial ECSEL rassemblant toutes les disciplines nécessaires pour les CPS (composants matériels, logiciels et communication et systèmes de contrôle). Le besoin de développer des systèmes cyber-physiques est tiré par les secteurs comme l'aéronautique et l'aérospatiale, les systèmes de santé, la défense,

la motion du commerce extérieur et des investissements, « *industrie 4.0* » préfigure la quatrième révolution industrielle qui s'achemine vers un Internet des objets, données et services. On y envisage une production de produits hautement personnalisés sur des chaînes génériques permettant une adaptation à la volée et au plus juste des éléments à produire.

L'avenir des CPS

C'est par le développement d'une recherche interdisciplinaire, au-delà des cloisonnements actuels, entre composants physiques, logiciels, communication, contrôle couplée avec de grands challenges applicatifs que les CPS pourront jouer un rôle majeur dans les développements des nouveaux systèmes en introduisant de nouvelles capacités qui vont bien au-delà des niveaux d'autonomie, de fonctionnalité, de fiabilité et de sécurité des systèmes actuels. ▲

Engager l'entreprise dans l'ère du numérique, un mouvement irrésistible

par **Geoffroy Roux de Bézieux**, *Président-fondateur d'OMEA Telecom (Virgin Mobile)*.

Jamais l'espèce humaine n'a laissé autant de traces de son quotidien, de ses actions, de ses modes de vie et de son intelligence en si peu de temps et à si grande échelle. Jamais elle n'a bâti de réseaux aussi gigantesques, fluides et ouverts, qu'elle ne le fait aujourd'hui grâce aux technologies de l'information et de la communication. Jamais elle n'a à ce point, connu de transformations qui n'affectent autant son environnement, son quotidien, rendant par là même son futur si difficile à cerner alors même qu'il devient techniquement (grâce aux algorithmes prédictifs) si prévisible.

Mais tout porte à croire que nous ne sommes qu'au début de grands bouleversements, économiques et sociétaux, tirés par l'incorporation systématique de la technologie numérique dans chaque interstice de nos vies, de nos modes de production et d'organisation. La force du numérique est une promesse que nous contribuons tous à construire, à titre individuel mais surtout de façon collective. L'entreprise est évidemment au centre de ces mutations et si elle ne s'y adapte pas, son sort à moyen terme ne sera que funeste.

L'enjeu majeur pour l'entreprise est d'être en capacité de tirer le meilleur de ce mouvement, itératif, évolutif, disruptif à bien des égards, en s'en appropriant les règles du jeu, la logique et surtout en en définissant sa propre stratégie. Tout semble désormais possible mais sous certaines conditions. Les notions de temps et d'espace que nous n'avions jamais pensées à ce point compressibles,

ont changé les habitudes d'appréhension de la complexité : on doit apprendre à communiquer plus vite, à analyser plus vite des informations massives et multidimensionnelles, on doit surtout décider plus vite. Le numérique est un levier incontestable d'optimisation des actions et un accélérateur de la prise de déci-

Il ne faudra plus être le plus gros pour durer mais le plus agile

sions. Mais il impose en même temps, une veille, une vigilance et une responsabilisation des acteurs décuplées tant les effets produits sont puissants.

Agilité et adaptation

Pour l'entreprise, le défi est à la hauteur des promesses portées : promesses de performances, promesses de compétitivité, promesses de créativité et d'innovation renouvelées. Le saut qualitatif est renforcé par des conditions de coûts qui ne constituent plus une barrière à l'entrée. La PME et le grand groupe bénéficient des mêmes accès, des mêmes avantages, pour peu que la transformation des process et des modèles devienne leur priorité. Nous sommes passés dans un univers où les pesanteurs matérielles s'estompent face à la montée en puissance de l'immatériel et sa souplesse d'appropriation. Les temps sont à l'agilité, à l'adaptabilité, au savoir rebondir et s'orienter dans un contexte éminent changeant, mouvant, rapide :

c'est un gage de conquête et de réussite. C'est aussi un impératif pour notre économie ; pour nos entreprises c'est réellement une question de survie : en France, 80 % des entreprises qui ont fait faillite l'an dernier, n'étaient pas visibles sur Internet (baromètre de la société Email-Brokers 2014), et Internet n'est qu'une partie émergée du numérique.

L'avantage comparatif ira désormais au plus souple, au plus adaptable, à celui qui aura su capter les forces de la métamorphose des systèmes. Il ne faudra plus être le plus gros pour durer mais le plus agile, il ne faudra plus être le riche pour se doter des moyens les plus performants mais certainement le mieux informé, le plus initié. La clé du succès dans l'appréhension de ce changement majeur de paradigmes, se cache dans ces petits détails : l'information et sa maîtrise, l'information et sa transformation en vue d'améliorer l'ensemble des process existants.

Ces notions sont en effet le corollaire de la performance des outils qui ont contribué à imposer les nouveaux modèles. Celui qui décode, rend intelligible, s'approprie, diffuse ou organise les flux d'informations produits par toute une communauté de clients, utilisateurs, fournisseurs, collaborateurs... saura, à n'en pas douter, tirer son épingle du jeu. A l'inverse, refuser de prendre à bras le corps ce défi majeur, condamne à quitter le jeu. C'est là tout l'enjeu du big data. L'abondance des données est à la fois le carburant de cette nouvelle économie et aussi l'élément qui contribue chaque jour à la façonner d'avantage la ren-

dant d'autant plus mouvante. Les objets connectés sont ainsi à la fois à l'origine du volume exponentiel de données circulant et en même temps les éléments qui vont transformer radicalement les produits existants (dont les objets connectés de première génération). La domotique en est un parfait exemple : plus le bâtiment devient intelligent, plus il se transforme et intègre de nouvelles solutions, plus complexes mais aussi porteuse d'une plus forte valeur.

Changer les modèles

Au-delà du big data, les impacts du numérique sur l'organisation des entreprises sont nombreux et les conduiront naturellement, en changeant de modèles, à changer également leur échelle spatiale. Dans une économie numérisée en effet, les marchés sont mondiaux, les clients sont partout et les partenaires tout aussi disséminés. Les pratiques d'innovation changent et s'éloignent des traditionnelles « *directions recherche et développement* » pour investir les pratiques d'open innovation. Le marketing classique gagne en efficacité en intégrant les données d'une relation client renouvelée grâce notamment au crowd sourcing, aux réseaux sociaux, au ciblage...

En parallèle, les habitudes de gestion des entreprises sont revisitées. L'appropriation des fonctionnalités du cloud notamment, entraîne à la fois des modèles de facturation nouveaux (à la consommation) et un basculement CAPEX/OPEX engendrant par là même des marges d'optimisation des budgets et donc une meilleure compétitivité de l'entreprise. Ce phénomène financier leur permet notamment de procéder à une montée en gamme des équipements informatiques (informatiques, infrastructures, usages...), tout en allégeant les coûts de gestion. C'est certes prégnant dans le cas de l'équipement informatique mais cela vaut aussi pour la gestion des flottes de véhicules ou encore de la location de matériel, où l'usage de plus en plus fréquent de technologies digitales permet de mesurer exactement le temps d'utilisation du matériel et donc d'en augmenter la rentabilité. Pour l'entreprise utilisatrice, l'avantage est double : opti-

misés des coûts (on ne paie que l'utilisation effective des produits/services fournis) et adaptation rapide aux aléas d'activité sans nouvelles acquisitions à effectuer.



Geoffroy Roux de Bézieux

- ▶ Président-fondateur d'OMEA Telecom (Virgin Mobile).
- ▶ Vice-président délégué du MEDEF, président du pôle Economie (Fiscalité, Innovation, Numérique, Développement Durable).
- ▶ En 1996, il crée The Phone House. En 2000, fort de 100 magasins, il revend à un groupe coté à Londres dont il devient Directeur Général pendant 4 ans.
- ▶ En 2004, il crée la société OMEA Telecom qui lance Breizh Mobile, le premier opérateur mobile alternatif (MVNO). En 2006, il convainc le groupe Virgin d'investir dans ce projet et lance Virgin Mobile. En 2008, OMEA rachète Télé 2 mobile.
- ▶ Il a été de 2003 à 2008 vice-président puis président de Croissance Plus.

La question de l'adoption du numérique par le tissu entrepreneurial français est donc on le voit, à bien des égards, capitale ! Dans un contexte de concurrence exacerbée par la mondialisation, l'écart que constitue l'avantage concurrentiel détenu par l'entreprise grâce à la digitalisation de ses process, impose certes un effort en termes d'investissements mais augure surtout de réels gains de compétitivité. Or, aujourd'hui tous les pays s'y sont mis, nos entreprises sont, de fait,

plongées dans un monde digitalisé et le numérique est une lame de fond inéluctable qui ne laissera rien d'intact dans l'économie traditionnelle : les études et rapports se suivent et se ressemblent au moins sur ce point. Ils sont également unanimes sur le fait que le digital s'intègre dans une véritable stratégie globale d'entreprise et ne peut se penser en dehors d'un projet partagé, à la tête duquel se place le chef d'entreprise. La digitalisation en effet n'est pas seulement une question de priorisation d'investissements matériels, il s'agit aussi et certainement à importance égale, d'une question de culture d'entreprise à faire évoluer, à accompagner dans un changement radical. Les décideurs ne peuvent pas non plus faire l'économie de cet investissement. De l'entreprise 1.0 à l'entreprise 2.0 la différence est tout aussi criante qu'entre la bougie et l'électricité : une technologie disruptive qui change d'un coup les usages, ouvre des perspectives, peut faire disparaître certains emplois et en génère de nouveaux, métamorphose une culture et bouleverse les habitudes. Ce changement demande un accompagnement, une pédagogie partagée et une redéfinition des modèles comprise et acceptée par tous au sein de l'entreprise.

Cette mutation est nécessaire, mais requiert une véritable prise de conscience de tous les acteurs et une orchestration des process autour d'une vision stratégique claire. Je fais éminemment confiance à nos entrepreneurs pour qu'ils se saisissent de l'opportunité digitale. La France est un pays de talents et d'une grande pugnacité : cette nouvelle révolution ne nous échappera pas plus que les précédentes, pour franchir une étape supplémentaire de notre histoire économique.

Avec Pierre Gattaz, nous avons souhaité positionner le défi numérique comme une des priorités majeures du Medef. Nous conduirons les actions et les combats nécessaires pour que cette intention transforme très concrètement nos organisations, leur process, leur management, leur culture : il en va en effet, de l'intérêt de notre économie, de l'emploi, et plus largement du rayonnement de la France dans le monde. ▲

L'usine du futur, enjeu décisif pour la compétitivité

par Louis Gallois, président de La Fabrique de l'industrie

L'expression « *usine du futur* » a conquis, et c'est heureux, un droit de cité dans le débat sur l'industrie et ses enjeux. Ce n'est plus, comme il y a seulement quelques années, un simple slogan.

Les différents acteurs concernés sont aujourd'hui en mouvement pour travailler à la modernisation du tissu productif : automatisation et numérisation des chaînes de production, robotisation, production distribuée et usine connectée, gestion des big data...

Cet effort mobilise les entreprises qui offrent déjà des solutions, parmi lesquelles la France compte quelques beaux leaders, les laboratoires et institutions de recherche qui travaillent sur les process de demain, les pouvoirs publics (les Plans pour la Nouvelle France Industrielle notamment, assis sur le PIA). Et au premier plan, naturellement, les industriels, qui investiront d'autant plus volontiers que leurs carnets de commandes se regarniront et d'autant plus aisément qu'ils rétabliront leurs marges aujourd'hui atrophiées.

Pour certaines grandes entreprises déjà très équipées, dans des secteurs compétitifs comme l'aéronautique ou l'automobile, il s'agit de rester à la pointe de l'efficacité et de l'excellence opérationnelle. Pour d'autres – nombreux, il faut bien le dire –, un travail de modernisation et de reconquête est à faire.

En effet, dans l'ensemble, l'outil industriel français est relativement ancien et continue de vieillir, les investissements qui visent à le moderniser ne sont pas à

la hauteur des amortissements qui en reflètent l'usure et l'obsolescence progressives.

Surtout, le décalage avec la qualité de l'outil de production allemand pourrait s'accroître de manière préoccupante*. Les Allemands ont en effet lancé, il y a deux ans, un remarquable plan Indus-



trie 4.0 qui mobilise toute l'industrie et les financements nécessaires.

On ne peut donc que se réjouir de voir lancée une initiative française en la matière. Elle ne se limite d'ailleurs pas à un programme public : c'est un mouvement d'ensemble, auquel s'associent spontanément de nombreux acteurs. L'existence même de ce document en est un très bon exemple.

L'effort de modernisation aujourd'hui entrepris dans l'industrie française doit être mis en cohérence avec les initiatives diverses qui sont prises pour lui rendre sa

compétitivité (Pacte de Compétitivité, 34 plans pour la France Industrielle, Pacte de responsabilité et choc de simplification). C'est une condition du succès.

L'industrie française, on le sait, est comme coincée dans un segment « *milieu de gamme* », en dehors de quelques exceptions. Elle doit d'une part, améliorer

sa compétitivité coût. Les gains de productivité apportés par l'Usine du Futur doivent y aider mais elle n'aura pas d'avenir durable si d'autre part elle ne réussit pas sa montée en gamme, améliorant par là sa compétitivité hors coût. Là aussi, l'Usine du Futur est indispensable.

Cela prendra du temps, sans doute de l'ordre de la décennie. Comme pour les autres volets de la bataille de la compétitivité, cela demandera volonté, concertation et persévérance, tant de la part des industriels que de leurs interlocuteurs publics. ▲

* La France comptait 35000 robots en 2012, l'Allemagne, 150 000 et l'Italie, 65 000.

Les adhérents du Secteur Industrie du Gimélec prêts à vous accompagner

A PUISSANCE 3	LEGRAND
ABB	LENZE
ACTEMIUM	LEUZE ELECTRONIC
BALLUFF	MAFELEC
BAUMER	MECALECTRO
BECKHOFF AUTOMATION	MGP INSTRUMENTS
BIHL + WIEDEMANN	MOTEURS JM
BOSCH REXROTH	MOTEURS LEROY-SOMER
CONTRINEX	NIDEC ASI
CROUZET AUTOMATISMES	OMRON
DANFOSS	PARKER
DATALOGIC AUTOMATION	PEPPERL+FUCHS
DI-SORIC	PHOENIX CONTACT
DURAG	PILZ
EATON	ROCKWELL AUTOMATION
ECOFIT	SCHMERSAL
EFD INDUCTION	SCHNEIDER ELECTRIC
EMERSON PROCESS MANAGEMENT	SEW-USOCOME
ENDRESS+HAUSER	SICK
FESTO	SIEMENS
FUJI ELECTRIC	SIREM
GE ENERGY POWER CONVERSION	SPIE
GEFRAN	TDK-LAMBDA
HACH LANGE	TECUMSEH
HARTING	TURCK BANNER
HEIDENHAIN	VEGA
IFM ELECTRONIC	WAGO CONTACT
INEO ENGINEERING & SYSTEMS	WEG
JEUMONT ELECTRIC	WEIDMULLER
KEB	WIELAND ELECTRIC
KRAUS & NAIMER	WIKA
KROHNE	YOKOGAWA
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 - Fax : +33 (0) 1 45 05 72 40
www.gimelec.fr - @Gimelec