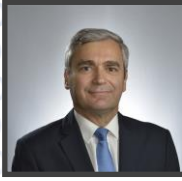


Industrie 4.0 : Les technologies de l'Industrie du Futur arriveront-elles un jour dans les usines ?





Philippe Rinaudo – Président fondateur de Creative IT

- 15 années d’expertise dans le déploiement de système d’information industriel (toutes industries)
- 10 années d’expérience en performance industrielle & lean management
- Master of Science (University of Maryland)
- Ingénieur des Mines de Paris

INDEX

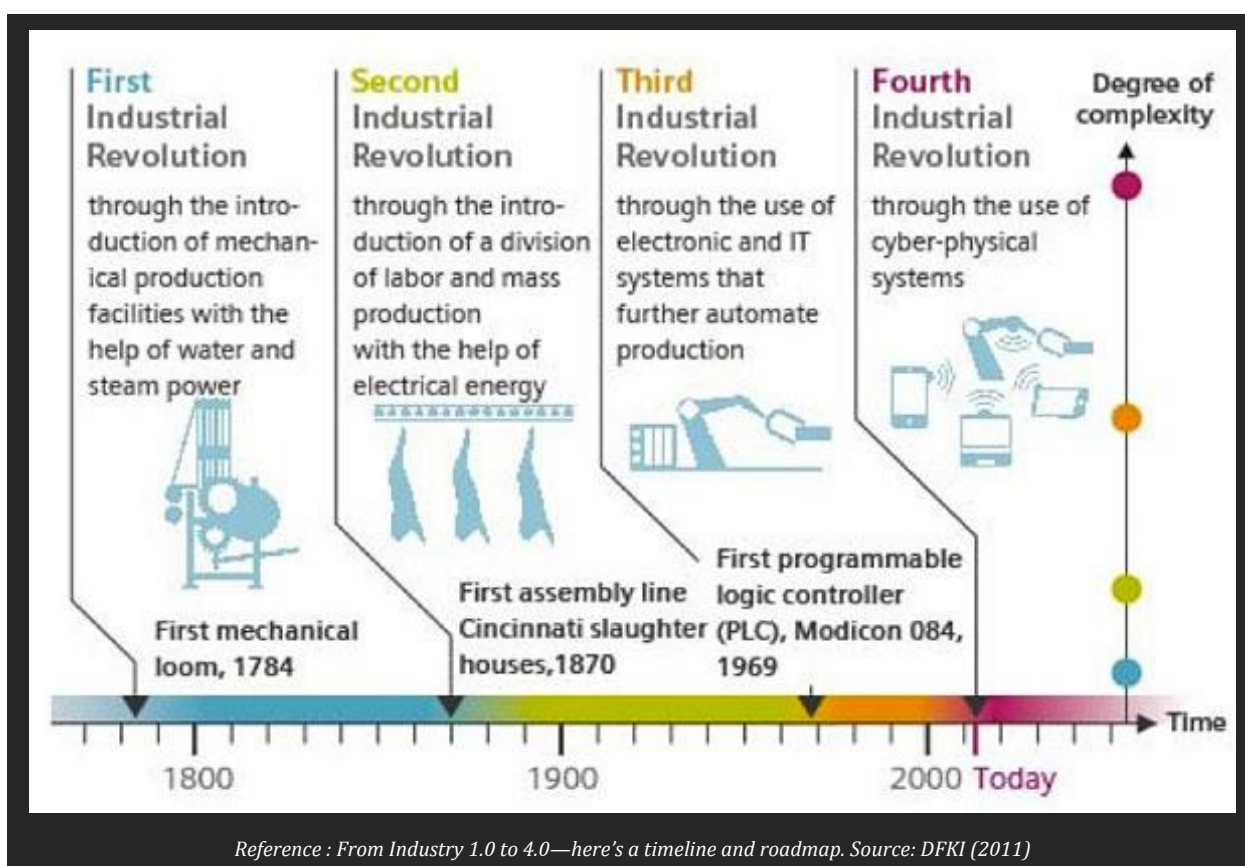
1. QU’EST-CE QUE L’INDUSTRIE 4.0 ?	3
2. LES PRINCIPALES TECHNOLOGIES DE L’INDUSTRIE 4.0	5
2.1. INTERNET DES OBJETS (IOT)	
2.2. IMPRESSION 3D	
2.3. BIG DATA INDUSTRIEL	
3. LES PROMESSES DE L’INDUSTRIE 4.0	12
4. LES DIFFICULTES D’INTEGRATION DANS LES USINES	13
4.1. FIABILITE	
4.2. SECURITE	
4.3. AGILITE	
4.4. ACCEPTATION PAR LES SALARIES	
5. CONCLUSION	21

REFERENCES

1. QU'EST-CE QUE L'INDUSTRIE 4.0 ?

Industrie 4.0 est un projet initialement créé par les industriels allemands et soutenu par le gouvernement allemand dans son plan d'action « High-Tech Stratégie 2020 » pour promouvoir l'informatisation de la fabrication. L'objectif est l'usine intelligente hautement connectée, pour atteindre une grande adaptabilité, une efficacité matérielle et énergétique, une performance environnementale, ainsi qu'une meilleure intégration des clients et des fournisseurs dans la chaîne de valeur.

Le terme a été défini en référence à la quatrième révolution industrielle. La première révolution industrielle a commencé avec l'utilisation de la puissance de la vapeur et les premières machines. La deuxième révolution industrielle a introduit la puissance électrique pour développer la production de masse et la troisième, une utilisation des appareils électroniques, automates programmables et supervision pour automatiser la fabrication. L'« Industrie 4.0 » a commencé à être diffusée à la Foire de Hanovre en 2011.



Un premier groupe de travail allemand a été mis en place en 2012 sur cette thématique et le rapport définitif [\[1\]](#) « Recommandations pour la mise en œuvre de l'initiative stratégique Industrie 4.0 » a été publié en Avril 2013 à la Foire de Hanovre. Il est clairement destiné à donner à l'Allemagne le leadership dans la production industrielle et à asseoir sa domination sur le marché des équipements de production pour les prochaines décennies. Des actions gouvernementales similaires ont été menées aux États-Unis avec le « Smart Manufacturing Leadership Coalition », en Italie avec « La Fabbrica del Futuro » ou en France avec « L'Industrie du Futur ». Mais jusqu'à présent, l'action allemande a été la plus structurée et a provoqué une forte dynamique d'investissements privés. Les experts estiment que cette quatrième révolution industrielle sera une réalité dans environ 10 à 20 ans, mais cela génère déjà de nouveaux business model dans certains secteurs.

Beaucoup d'entreprises réfléchissent actuellement à leur transformation digitale, en étudiant la manière dont la numérisation de l'économie pourrait modifier leurs produits, leurs marchés, leurs logistiques et bien sûr, leurs manières de produire.

Suivant cette réflexion, le mouvement Industrie 4.0 prend de plus en plus d'importance et pas seulement pour les constructeurs (de machines) allemands. Au cours des dernières années, de nombreuses technologies ont émergé et pourraient changer radicalement les méthodes de fabrication.

Les technologies le plus prometteuses sont les suivantes :

1. **L'Internet des Objets (IoT)** qui mènera à de nouveaux produits & services
2. **L'impression 3D et l'efficacité énergétique** qui apportent de nouveaux modes de fabrication
3. **La réalité augmentée et les robots collaboratifs**, ou cobots, pour améliorer la productivité des opérateurs
4. **Les unités de production reconfigurables**, les systèmes cyber-physiques (CPS), l'identification radiofréquence (RFID), le réseau industriel pour accélérer et sécuriser le flux de fabrication.
5. **Le Big Data industriel** pour améliorer l'efficacité des usines
6. **La simulation d'une usine virtuelle**, La capitalisation des données de production pour améliorer le flux et l'ingénierie de conception

Nous allons examiner en détails trois de ces technologies pour voir leur impact potentiel dans les usines et voir aussi ce qui pourrait limiter leurs utilisations dans l'industrie.



2. LES PRINCIPALES TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE 4.0

2.1. INTERNET DES OBJETS

L'Internet des objets (IoT, Internet of Things) se réfère à l'interconnexion d'équipements capables de communiquer en réseau et de se connecter à Internet. L'IoT va rendre l'informatique omniprésente grâce à une connexion avancée entre les machines, les systèmes informatiques et les applications dans le Cloud. L'IoT va au-delà des communications machine-to-machine (M2M), car il couvre une grande variété de protocoles, de domaines et d'applications. L'interconnexion de tous ces dispositifs devrait apparaître dans presque tous les domaines de l'automatisme, permettant à terme des applications sophistiquées.

Les objets, dans l'IoT, se réfèrent à un large éventail de dispositifs tels que des lunettes « intelligentes », comme les Google Glass, des ampoules électriques [\[2\]](#), des tags RFID sur les animaux de la ferme, ou des vêtements intégrant une mesure GPS et de la fréquence cardiaque [\[3\]](#). Chaque mois, de nouveaux produits connectés apparaissent et certains ont déjà gagné des parts de marché significatives comme les systèmes de thermostat intelligent.



En raison de la nature omniprésente des objets de l'IoT, un nombre phénoménal de dispositifs sera connecté à Internet. Selon la société d'études en technologie Gartner, il y aura près de 30 milliards d'appareils sur l'internet des objets d'ici 2020. Un récent sondage réalisé par Pew Research Internet Project a montré que la grande majorité (83%) des experts en technologie et les utilisateurs d'Internet, étaient d'accord avec l'idée que l'Internet des objets aura des effets généralisés et bénéfiques en 2025.

Dans l'usine, l'Internet des objets se traduira de deux façons : d'abord la production d'objets traditionnels intégrant de l'électronique et de l'informatique, et ensuite l'utilisation en production de machines, d'outils et de capteurs communicants.

2.1.1. FABRICATION DE PRODUITS DEDIES A L'INTERNET DES OBJETS

Avec l'Internet des Objets, les produits les plus ordinaires de notre vie quotidienne vont intégrer de l'électronique, de l'informatique et offrir de nouveaux services. Il est déjà possible d'avoir une balance qui analyse l'évolution de votre poids corporel. Demain, les brosses à dents vous diront combien de fois et combien de temps vos enfants se sont brossés les dents, et votre tee-shirt enregistra à quelle vitesse vous avez marché et sur quelle distance. Tout cela nécessitera un changement majeur dans le processus de production de ces produits de base. Les entreprises industrielles traditionnelles devront intégrer de nouvelles technologies de production pour inclure des composants électroniques et informatiques à certains stades de leur processus de production. Cela va forcément rendre plus complexe le processus de fabrication et augmenter les coûts, mais un nombre de clients de plus en plus important valorisera les nouvelles fonctionnalités de ces produits, et cela risque de faire basculer certains marchés très rapidement vers des produits intelligents.

2.1.2. OUTILS COMMUNICANTS

Le deuxième aspect de l'Internet des objets est l'utilisation de ces appareils connectés dans le processus de fabrication. Cela signifie que des capteurs intelligents et des outils intelligents seront disponibles dans l'usine. Ces technologies permettront de recueillir plus de données sur la production pour garantir la conformité des produits et optimiser la production en temps réel. Mais pour atteindre cet objectif, il y a un certain nombre de prérequis. En premier lieu, des protocoles de communication ouverts sont clairement nécessaires. Si chaque fabricant d'outils veut créer un protocole de communication propriétaire pour son logiciel, l'usine aura rapidement des centaines d'applications différentes, et cela deviendra ingérable pour les industriels. Ensuite, des réseaux sans fil seront nécessaires, car ces outils seront nombreux et mobiles, il serait irréaliste de les gérer avec des réseaux câblés. Et un système informatique sera nécessaire pour enregistrer les données et de les manipuler en temps réel. La réelle valorisation des données sera obtenue par une analyse en temps réel sur l'ensemble du processus de production pour faire du contrôle de conformité instantané, détecter des dérives au plus tôt, et optimiser le réglage des machines. Ce type de logiciel - qui nécessite beaucoup de données en temps réel de toutes les parties de l'usine - est le Manufacturing Execution System (MES). Dans la description classique du système d'information « Computer Integrated Manufacturing »^[20], le MES est le seul niveau ayant toutes les données d'usine en temps réel ainsi que tous les objectifs de production pour pouvoir lancer une action automatique ou assister l'homme dans sa prise de décision. Par conséquent, pour obtenir une réelle valeur ajoutée de l'Internet des objets dans l'usine, il sera nécessaire de déployer de nouveaux outils communicants et de compléter les réseaux existants, mais également de déployer une couche logicielle MES.

2.2. IMPRESSION 3D

L'impression 3D ou la fabrication additive est un procédé de fabrication d'un objet à partir d'un modèle 3D à travers un processus dans lequel de fines couches de matière sont déposées successivement sous un contrôle électronique précis pour constituer un objet complet. Cette technologie est appelée « additive » par opposition à la façon actuelle de produire des objets par enlèvement de matière avec des machines d'usinage.

Les premières imprimantes 3D ont été développées dans les années 1980. Le format de fichier standard (STL) a été défini par Chuck Hull de 3D Systems Corporation ainsi que le découpage des objets en couches et les stratégies de dépose des couches encore largement utilisées aujourd'hui. Les premières technologies ont été la stéréolithographie lasers employant un rayonnement ultraviolet pour durcir des photopolymères et le frittage de métal par laser. Plus tard, dans les années 1990, la technologie d'extrusion de plastique (FDM) a été commercialisée, c'est maintenant la technologie la plus répandue pour les imprimantes personnelles.

La première utilisation de l'impression 3D a été le prototypage, car ces technologies étaient trop chères, trop lentes et les produits trop fragiles pour être utilisées en production. Mais récemment, l'utilisation industrielle de cette technologie a considérablement augmenté. Dans l'industrie aérospatiale, de nombreuses entreprises ont annoncé le début de la production en impression 3D et la certification de nouvelles



pièces d'avion. Un des exemples le plus notable, c'est les injecteurs de carburant que GE Aviation et Safran ont introduit en 2016. Ce sont les premières parties en impression 3D utilisée dans un moteur d'avion. Chacun des nouveaux moteurs CFM LEAP dispose de 19 injecteurs de carburant imprimés en 3D dans le système de combustion. General Electric affirme^[4] que cela leur a permis de concevoir une pièce qui ne pourrait pas être produite avec une autre technologie avec des avantages majeurs:

- **Légèreté** – le poids de ces injecteurs devrait être réduit de 25% par rapport à la génération précédente
- **Conception plus simple** – le nombre de pièces utilisées pour fabriquer l'injecteur devrait être réduit de 18 à 1
- **Nouvelles fonctionnalités de conception** – des circuits de refroidissement et des renforts plus complexes se traduiront par une durée de vie multipliée par 5 par rapport à la fabrication classique

L'impression 3D présente des inconvénients majeurs : c'est un procédé de production lent avec seulement quelques matières premières disponibles et des machines coûteuses pour l'impression de métaux. L'industrie aérospatiale qui doit produire des pièces très complexes à une cadence de production limitée est certainement un bon candidat à cette technologie. L'impression 3D gagne rapidement de nouvelles industries : Mercedes envisage d'introduire en 2018 des pièces imprimées en 3D dans la prochaine génération de sa classe S, pour les pièces de garniture intérieure. Même l'industrie agroalimentaire est à la recherche de l'utilisation possible de cette technologie : Barilla a lancé en Novembre 2014, un concours de design pour produire de nouvelles pâtes qui ne peuvent être produites que par impression 3D. Le design gagnant est un modèle 3D « biodynamique » avec des pâtes en forme de fleurs dont les pétales se déploient quand elles cuisent. Il n'y a pas encore de business model connu pour de telles conceptions, mais cela montre que toutes les industries tentent d'évaluer comment cette technologie peut changer leurs produits et leur marché^[22].

En fait, l'impression 3D répond à deux attentes des entreprises industrielles :

- **Passage rapide et économique de la conception à la fabrication**
le modèle informatique 3D d'un objet peut générer directement un objet sans besoin d'outils spécifiques ou de composants spécifiques
- **Changement de produit instantané en production**
puisque la machine n'a besoin que de télécharger un fichier pour lancer un nouveau produit

Et cela ouvre la voie à la personnalisation de masse, la capacité de faire un produit spécifique pour chaque client, d'une manière efficace en gros volume. Cette technologie va faire émerger des modèles d'affaires entièrement nouveaux. Par exemple, Scuplteo^[5] qui produit par impression 3D des produits uniques, chaque client envoyant ses propres fichiers 3D, ou Feetz^[6] qui imprime en 3D des chaussures personnalisées à la forme de vos pieds à partir de 3 photos.



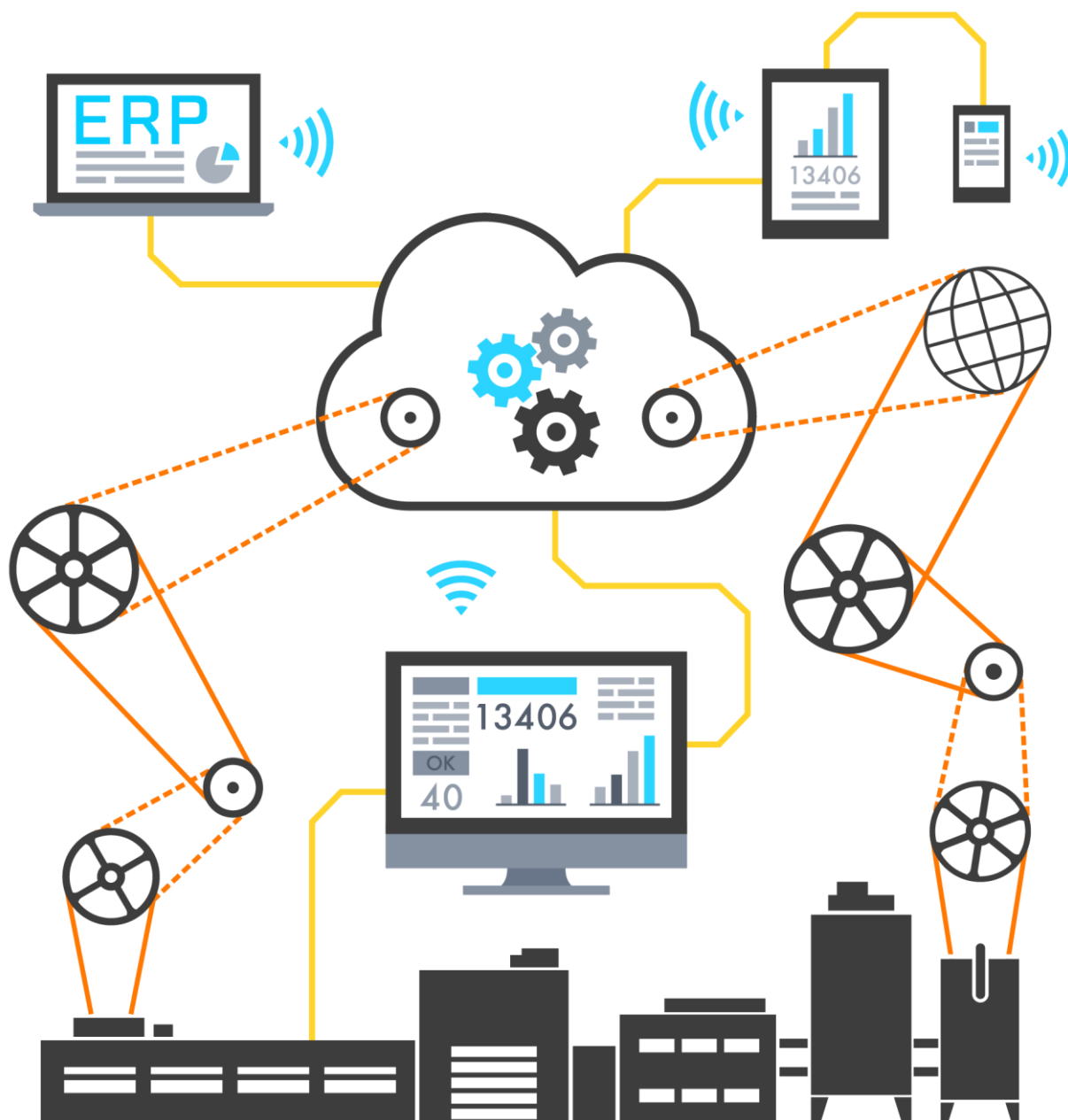
La personnalisation de masse n'est pas une approche pertinente dans toutes les industries, mais c'est une expérience très utile pour évaluer de nouvelles organisations ou de nouveaux systèmes d'information. En effet, c'est l'aboutissement de deux tendances générales en production : réduction des tailles de série et des cycles de vie des produits.

La production personnalisée de masse soulève des questions importantes :

- Comment les caractéristiques spécifiques suivent-elles l'ordre de fabrication dans l'usine ?
- Comment la nomenclature et la gamme spécifiques sont-elles générées pour ce nouveau produit unique ?
- Et dans l'usine, faut-il définir comment l'ordre de fabrication est planifié pour sa partie standard et sa partie spécifique ?
- Comment les opérateurs savent ce qu'il faut faire pour cet commande spécifique ?
- Comment les machines obtiennent les fichiers et les paramètres de réglages ?
- ...
- et comment mesure t-on la qualité et la performance si chaque produit est différent ?!



Tout cela nécessite un système d'information entièrement interconnecté capable d'utiliser la définition numérique du produit dès la commande pour générer les consignes des machines et les instructions des opérateurs et une logistique qui sait gérer des produits uniques dans les entrepôts et les transports. Cela existe déjà pour certains produits particuliers : vous pouvez facilement commander sur internet des chemises entièrement sur mesure. Mais jusqu'à présent, cela reste des marchés de niche alors que l'Industrie 4.0 devra gérer cela sur une échelle beaucoup plus grande avec les systèmes d'information adéquats.



2.3. LE BIG DATA INDUSTRIEL

Une autre technologie de l'Industrie 4.0 est le Big Data industriel. Le concept de Big Data provient de l'énorme quantité de données faiblement structurées que les entreprises de l'Internet et des médias sociaux ont collecté et des nouvelles technologies qui émergent pour traiter ces données. Bases de données NoSQL, Hadoop, MongoDB sont quelques-unes des technologies impliquées. Le Gartner (société d'études) le définit comme suit : « *Le Big Data est le traitement d'un très grand volume de données très variées, à grande vitesse, qui exigent de nouvelles formes de traitement pour permettre la prise de décision, la découverte de tendance et l'optimisation des processus* ». La différence avec les technologies actuelles de Business Intelligence vient de l'utilisation de statistiques descriptives avec des données à haute densité d'information. Le Big Data, lui, utilise des statistiques inductives et des concepts d'identification depuis des systèmes non linéaires mais aussi à partir de grands ensembles de données à faible densité d'information pour révéler des relations et dépendances.

Dans le milieu industriel, c'est General Electric (GE) qui a commencé à promouvoir cette notion avec « l'Internet industriel » en 2012 [7]. Jeffrey Immelt, PDG de GE a inventé le slogan « The power of 1% ». Cela signifie qu'une amélioration de l'efficacité de 1% sur chacun des cinq principaux marchés de GE (ferroviaire, aéronautique, santé, alimentation et chimie lourde) représentera un gain de 276 milliards sur 15 ans [8]. L'idée derrière l'Internet industriel est que ce gain de 1% peut être atteint par une meilleure collecte de données et une analyse plus fine et plus rapide. Un meilleur suivi en temps réel du réseau ferré et des réseaux d'énergie permettra de prendre des décisions plus efficaces. De meilleures analyses de données pourront prédire les problèmes potentiels des réseaux et les opérations de maintenance. La collecte des données opérationnelles en temps réel sur un grand nombre de moteurs d'avions permettra une conception plus efficace.



Le gain global en efficacité pourrait être supérieur à 1%, et même si ce gain est faible, la démarche peut conduire à une évolution plus profonde : passer de vendeur de produits à fournisseur de services. En équipant les machines et les composants avec des applications Industrie 4.0 et en les connectant, les entreprises peuvent établir une collecte à grande échelle de données terrain. Cela permettra de détecter rapidement les défaillances et les dérives pour prendre des mesures correctives immédiatement. Mais le plus important, c'est que les données accumulées serviront de base pour de nouveaux services. Par l'analyse de données, de nouvelles connaissances pourront être acquises et potentiellement transformées en nouveaux services. Dans ce domaine, la maintenance prédictive est le sujet que les fabricants d'équipement étudient le plus et où de nouvelles offres apparaissent avec l'Industrie 4.0.

Comme de plus en plus de machines sont connectées et que la variété des produits augmente, le volume de données générées dans les usines connectées sera énorme. Tous les aspects de la performance opérationnelle, la réduction des déchets, le réglage des machines, l'amélioration du TRS, deviendront plus complexes et nécessiteront des analyses avancées. Les futures organisations industrielles devront se concentrer beaucoup plus sur les données et les exploiter de manière plus efficace pour atteindre de nouveaux niveaux de performance opérationnelle. Ce sera un changement culturel important avant même d'être un changement technique.



Aujourd'hui, le volume de données dans les usines n'atteint pas celui des géants de l'Internet et les gains potentiels viendront autant de technologies d'analyse de données existantes que des technologies spécifiques du Big Data. C'est pourquoi dans l'Internet industriel, les termes « Datamining » ou « Data analytics » sont utilisés plus souvent que le Big Data. Mais quelle que soit la technologie la plus adéquate, les entreprises industrielles doivent comprendre que leur performance peut s'améliorer de façon significative par la collecte de plus de données et leur exploitation avec des logiciels avancés. La connexion des machines et de l'installation d'une infrastructure numérique adéquate sont les premières étapes requises. Elles permettront l'utilisation d'outils d'analyses avancés pour atteindre l'excellence opérationnelle.

Nouveaux business models

Ces trois technologies, Internet des objets, l'impression 3D et le Big Data sont celles qui devraient permettre l'apparition de business models disruptifs. Elles doivent être soigneusement étudiées par toute entreprise industrielle car elles peuvent conduire à l'apparition de nouveaux concurrents et à des changements radicaux dans la tendance des marchés. Des mouvements stratégiques importants ont déjà été réalisés par certaines grandes entreprises. Par exemple, Google est entré dans le marché de la domotique avec l'acquisition d'un producteur de thermostats intelligents, NEST ; et Apple, sur le marché des montres de luxe avec sa montre connectée.

Après avoir présenté trois des technologies les plus importantes de l'Industrie 4.0, nous n'allons pas détailler toutes les autres technologies prometteuses de l'Industrie 4.0. Les Cobots, robots collaboratifs, la réalité augmentée, les systèmes de production cyber-physiques ou la fabrication en réseau sont des technologies qui, pour l'essentiel, confirment les grandes tendances que nous avons déjà identifiées. Nous allons maintenant examiner les promesses de l'Industrie 4.0 pour les entreprises industrielles puis nous verrons comment réussir le déploiement de ces technologies en usine.

3. LES PROMESSES DE L'INDUSTRIE 4.0

Les promesses de l'Industrie 4.0 vont plus loin que la seule performance industrielle



1

Dans un premier temps, c'est la promesse d'une nouvelle génération de produits intelligents qui offriront plus de valeur aux clients grâce à une personnalisation et à des services internet. L'évolution de business models purs produits vers des business models de services est une tendance majeure de cette révolution industrielle. Le produit sera seulement un élément de l'offre de valeur et les données générées à partir du produit, les analyses de big data permettront de fournir de nouveaux services. Cela pourra amener des business models disruptifs dans la majorité des industries.

2

Ensuite, il y a la promesse d'un écosystème de production plus innovant. Avec l'avancée de la définition numérique pour les produits et la simulation, la capacité de produire rapidement n'importe quels objets 3D, et grâce à l'ouverture de l'innovation qui permet de mobiliser de plus grandes équipes pour améliorer les produits, nous pouvons nous attendre à une augmentation soutenue du renouvellement de produits.

3

Troisièmement, la supply chain bénéficie beaucoup de l'Industrie 4.0. Avec une connexion temps réel des usines, une numérisation complète de produits et de processus qui permettront de simplifier le transfert d'un site à un autre, la supply chain deviendra plus réactive et plus efficace.

Enfin, l'Industrie 4.0 apportera des améliorations d'efficacité industrielle. L'aspect développement durable de l'Industrie 4.0 signifie une réduction des consommations matières utilisées pour la production ainsi qu'une réduction de la consommation énergétique et un plus faible gâchis dans tous les processus de production. Les cobots et la réalité augmentée amélioreront l'efficacité des opérateurs. Le Big Data industriel réduira les arrêts machines non-programmés et le taux de non-conformités.

Tous les impacts sur la performance industrielle sont tout à fait clairs, mais ce ne sera probablement pas le principal moteur de l'Industrie 4.0. Il est très probable que la recherche de nouveaux business models, de produits plus innovants et d'ateliers plus réactifs soient la principale raison pour laquelle les entreprises industrielles se tourneront rapidement vers l'usine intelligente.


Un des challenges clés est de déployer ces technologies de l'Industrie 4.0 dans un processus non-linéaire. Dans de nombreux cas, les nouveaux business models potentiels ne deviendront pas visibles tant qu'un projet « Industrie 4.0 » n'aura pas été mené, ou jusqu'à ce qu'un concurrent offre une nouvelle solution sur le marché. De nombreuses opportunités peuvent se présenter, et l'impact potentiel de chacune d'entre elles est difficile à évaluer. Par conséquent, il est stratégique pour les entreprises industrielles d'explorer certaines d'entre elles tout en préparant un déploiement rapide des technologies numériques pour être capable de profiter de toute opportunité ou de faire face à une offre concurrente basée sur ces technologies.

4. LES DIFFICULTES D'INTEGRATION DANS LES USINES

La production industrielle a de nombreuses exigences qui ont tendance à freiner ou même arrêter le déploiement des nouvelles technologies. Au cours des deux dernières décennies, le système d'information d'entreprise a largement étendu son rôle avec les nouveaux systèmes ERP, la généralisation des e-mails et les documents électroniques. Cependant, les ateliers n'ont pas vraiment été atteints par cette tendance. Ils utilisent encore beaucoup de documents papiers ou des feuilles de calcul Excel et leurs ressources informatiques (supervisions, automates,..) sont souvent déconnectées du système d'information global de l'entreprise. L'Industrie 4.0 nécessite de connecter les usines et les raisons qui ont freiné l'informatisation des ateliers devraient être étudiées avec attention. Nous allons examiner quelques-unes des raisons les plus importantes : la fiabilité, la sécurité, l'agilité et l'acceptation par les opérateurs.

4.1. FIABILITÉ

Avec des fonctionnements 7j./7 24h./24, de nombreux industriels ont des exigences très fortes en termes de disponibilité et de maintenabilité. C'est un sérieux défi pour les technologies de l'Industrie 4.0 qui impliquent d'une part beaucoup de traitements informatiques et attendent d'autre part du cloud computing des ressources informatiques low-cost.



Les fournisseurs de services cloud prétendent fournir une disponibilité incroyablement haute avec des temps d'arrêt (en 2014) aussi bas que 2.4h pour Amazon Web Service, 4.46h pour Google Cloud Platform et 39.8h pour Microsoft Azure qui signifie que la disponibilité varie de 99,54% à 99,97% ^[9]. Toutefois, pour l'utilisateur final, la réalité est moins impressionnante. Une étude datant de mars 2015 précise que la disponibilité varie entre 99,3 et 99,4%^[10]. Et ces données sont valables pour une infrastructure Cloud en place avec une bonne communication réseau. Si vous ajoutez un peu de maintenance planifiée pour les mises à jour de serveur et d'application, quelque défaillance d'application, ce chiffre diminue de manière significative. Enfin, ajoutez quelque problème réseau pour vos sites de production isolés et vous vous retrouvez avec une disponibilité inférieure à 99%.

C'est plus critique pour une usine que pour les sites web de e-commerce. La maintenance planifiée pour les sites web de e-commerce peut être planifiée la nuit lorsque peu de clients sont actifs, et ils seront à nouveau en mesure de commander quelques heures plus tard. En outre, si un client subit un problème réseau, il ne sera généralement pas en mesure de commander sur un autre site.

Mais dans un processus de production, cela signifie que si vous utilisez un service Cloud pour une opération critique dans votre processus, vous perdrez plus d'1% de productivité sur le site. Si vous utilisez cinq services Cloud différents, vous risquez de perdre entre 3 à 5% de productivité dans l'usine en fonction de la façon dont les services Cloud sont liés. La puissance du 1% que le PDG de GE, Jeffrey Immelt, a utilisé pour montrer l'importance de l'Internet industriel, possède son mauvais côté, la force obscure de 1% : la perte d'efficacité que la disponibilité de 99% peut apporter à votre usine. L'efficacité de 1% promise pourrait se transformer en une vraie perte! La disponibilité est donc un point essentiel que les directeurs industriels doivent considérer avant d'envisager leur usine intelligente.

Les systèmes informatiques dans les usines ne peuvent pas utiliser toutes les technologies de haute disponibilité des datacenters. Le déploiement de ces technologies est souvent compliqué mais pertinent pour un très grand nombre de serveurs. Cependant, certaines de ces technologies peuvent être utilisées, et quelques technologies spécifiques ont été développées au niveau des automates (PLC), du réseau local et de la supervision (SCADA).

4.1.1. LA COUCHE AUTOMATES

Sur la couche du réseau automates, les techniques de redondance sont très importantes, en particulier pour traiter des fonctions de sécurité.

Des technologies intéressantes ont été développées afin d'être sûr que l'automate fonctionne et qu'il envoie la bonne réponse. Elles comprennent de multiples unités centrales et un protocole de vote pour veiller à ce que la mesure de sécurité appropriée soit prise même si un composant est défaillant. Les technologies sont nommées 1oo2 pour une sur deux, 2oo3 et 2oo4. Dans ces noms, le premier chiffre représente le nombre requis de votant(s) nécessaire(s) pour mettre le système en arrêt d'urgence, et le second le nombre d'unités centrales disponibles. Par exemple, les systèmes 1oo2 (1 sur 2) mettent le processus d'arrêt d'urgence lorsque l'une des deux unités centrales est disponible. Ces technologies offrent une bonne sécurité, mais pas une bonne disponibilité du processus puisqu'il peut être arrêté si un automate donne la mauvaise réponse en raison d'une défaillance interne. Les automates 2oo3 sont conçus avec trois unités centrales avec entrées et sorties séparées. La décision d'arrêt du processus a besoin que les deux unités centrales soient disponibles, ce qui rend cette conception beaucoup plus fiable. Avec de telles technologies, tout type de processus peut atteindre une très bonne fiabilité au niveau du réseau automates.

4.1.2. LE RESEAU LOCAL

Au niveau du réseau local, de nombreuses techniques de redondance existent pour augmenter la disponibilité, certaines sont très appropriées pour les usines, par exemple les anneaux Ethernet.

L'anneau est une solution élégante pour les réseaux, puisqu'il ne nécessite pas de doubler chaque lien pour générer un lien de sauvegarde dans le cas d'un défaut sur n'importe quel composant. Mais dans le réseau Ethernet, les boucles devraient absolument être évitées : une boucle entraînera une inondation réseau, les switchs rediffusant les mêmes images à l'infini. Les switchs d'anneau Ethernet permettent la création d'anneaux mais avec une fermeture d'un des liens pendant le fonctionnement normal. Il est nommé le Ring Protection Link. Dès qu'une défaillance est identifiée, le lien inactif est activé et, par conséquent, chaque switch au sein de l'anneau est connecté. Ces switchs peuvent naturellement avoir leur propre redondance pour éviter les défaillances de switch.

4.1.3. LES SYSTEMES DE SUPERVISION

Au niveau supérieur, les systèmes de supervision offrent une redondance depuis longtemps.

La plupart des solutions de supervision permettent à l'application à redémarrer très rapidement sur un autre PC en cas de panne. Il existe une différence d'approche entre l'informatique industrielle et l'IT en général : l'informatique industrielle a tendance à choisir des solutions décentralisées avec des unités informatiques proches du processus plutôt qu'une solution centralisée. C'est certainement pour réduire le nombre de composants impliqués dans le système de contrôle, mais aussi parce que souvent chaque fournisseur de sous-système dans l'usine fournit une solution de supervision avec sa propre redondance.



Comme nous l'avons vu, l'informatique industrielle a élaboré un ensemble de solutions pour empêcher la défaillance informatique au sein de l'usine, mais jusqu'à présent sans sortir de l'usine. A l'opposé, l'informatique d'entreprise a évolué vers un datacenter centralisé. Ce dernier utilise la virtualisation des serveurs et le réseau de zone de stockage pour assurer la redondance et la haute disponibilité. Ces technologies, ainsi que la redondance de toutes les ressources critiques : énergie électrique, connexions réseau, mesures de sécurité (contrôle d'accès du personnel, protection contre les incendies, protection contre les inondations) donnent aux datacenters un niveau inégalé de disponibilité. Pour les entreprises industrielles, la disponibilité dans le datacenter est une bonne chose, même si ce dont ils se soucient vraiment est la disponibilité de l'application au sein de l'usine.

À ce stade, le problème de moins de 99% de disponibilité des applications distantes dans l'usine est le vrai problème. Pour l'Industrie 4.0, vous souhaitez disposer d'une connexion temps réel entre vos machines et les applications en cloud, et la haute disponibilité pour vos machines.

Ce point a été clairement souligné dans le rapport final du groupe de travail allemand pour l'Industrie 4.0 comme l'un des huit domaines clés [\[1\]](#). Voici comment ce point est indiqué :

“ Une infrastructure complète de services à large bande pour l'industrie : fiable, complète et réseaux de communication de haute qualité sont une exigence clé pour l'Industrie 4.0. L'infrastructure Internet à large bande doit donc être déployée à une échelle massive, à la fois en Allemagne et entre l'Allemagne et ses pays partenaires.”

Ce point semble très appliqué à l'Allemagne et à l'heure de la mondialisation, où même les PME ont des usines sur différents continents, il semble que le monde entier a besoin d'avoir un réseau de haute qualité avant de pouvoir envisager le déploiement des technologies de l'Industrie 4.0. Si une entreprise industrielle doit attendre des réseaux de haute qualité dans toutes ses usines avant de déployer les technologies de l'industrie 4.0, elle manquera cette révolution industrielle.

Heureusement, de nouvelles technologies sont apparues récemment pour résoudre ce problème. Le premier est Qubes i4, récemment lancé par Creative IT. Qubes i4 est une solution matérielle, logicielle et de services qui permet aux opérateurs dans l'usine d'utiliser le logiciel de suivi des activités de production, même si le réseau étendu tombe. Et dès que le réseau revient, Qubes i4 synchronise les données avec le serveur en temps réel. C'est un cluster composé de deux dispositifs industriels qui peuvent résister à un environnement industriel car le fonctionnement en termes de plage de température et de résistance aux vibrations est similaire à un automate. Comme on peut le voir dans la courte vidéo de présentation sur le site web de Creative IT [\[11\]](#), Qubes i4 est une solution qui peut être facilement déployée à l'étranger et permet la centralisation des applications de production. Un deuxième aspect de la fiabilité est la maintenabilité. C'est vrai pour les machines typées Industrie 4.0 mais aussi pour les terminaux informatiques. Avec Qubes i4, vous accédez aussi bien à un service de monitoring en temps réel et de maintenance à distance qu'à une procédure très simple pour l'échange physique des dispositifs défectueux. C'est une solution simple pour maintenir des systèmes complexes dans l'usine.

Pour conclure sur la fiabilité, l'un des aspects principaux de l'évolution vers l'industrie 4.0 sera le déploiement d'une infrastructure digitale robuste. Désormais, des solutions existent pour atteindre la haute disponibilité de la machine vers le Cloud, Le point faible reste le réseau étendu que les nouvelles technologies comme l'architecture de Qubes i4 de Creative IT ne peuvent pas contrôler. Les industriels ayant connecté toutes leurs usines auront probablement à regarder notre prochain point, la cybersécurité.

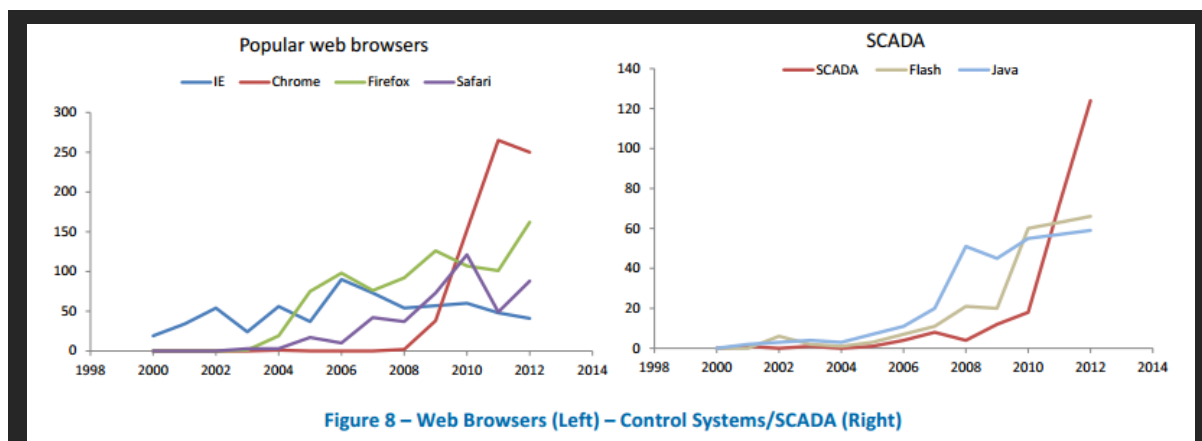
4.2. SÉCURITÉ



La découverte de Stuxnet en 2010 était le premier événement qui a montré la vulnérabilité des systèmes de supervision et des automates. Stuxnet est un ver informatique conçu pour attaquer les automates programmables industriels (API) ^[12]. Exploitant le « quatre failles zero-day », Stuxnet fonctionne en ciblant les machines utilisant le système d'exploitation et réseaux Microsoft Windows, cherchant ensuite le logiciel Siemens Step7. Stuxnet aurait compromis des automates iraniens en collectant de l'information sur des systèmes industriels et en causant une accélération des centrifugeuses utilisées pour la séparation de matières nucléaires afin de les garder séparées. Le design et l'architecture de Stuxnet ne sont pas spécifiques à un domaine, et pourrait être adapté en tant que plate-forme pour attaquer les systèmes modernes de supervision et d'automates. Stuxnet aurait ruiné près d'un cinquième des centrifugeuses nucléaires de l'Iran. Stuxnet est généralement introduit dans l'environnement cible via un lecteur flash USB infecté.



Après ce premier avertissement, le mythe selon lequel un système de contrôle a moins de risques en matière de cybersécurité s'il est déconnecté d'Internet a commencé à disparaître. Les chercheurs et les fournisseurs de logiciels de sécurité ou de logiciels de supervision ont regardé de plus près leurs vulnérabilités. L'étude « Vulnerability Threat Tends » ^[13] montre l'évolution des vulnérabilités divulguées par tous les types de sources dans la base de données nationale américaine des vulnérabilités.



Reference : retrieved from <https://www.nsslabs.com/>

Nous pouvons voir la forte hausse dans le secteur supervision depuis 2010 et la découverte de Stuxnet. Il atteint des niveaux aussi élevés que certains navigateurs Web populaires qui ont beaucoup plus d'utilisateurs et d'attaquants.

Pour la plupart des experts, il existe une « culture industrielle » issue du manque de mesures de cybersécurité dans l'informatique industrielle. Dans la plupart des installations d'infrastructure critique, une visite révèle souvent que malgré des procédures établies en matière de cybersécurité, elles ne sont pas correctement appliquées dans la culture opérationnelle et dans la formation des salariés. Trop de managers et opérateurs croient que tant qu'ils n'ont pas vu eux-mêmes d'incident basés sur cybersécurité, il ne se produira jamais rien.

Mais en Décembre 2014, un rapport allemand a révélé que des hackers avaient frappé une fonderie d'acier anonyme en Allemagne. Ils l'ont fait en manipulant et interrompant les systèmes de contrôle à un tel degré que le haut fourneau ne pouvait pas être éteint correctement, ayant pour conséquence des dommages "massifs" - bien qu'indéterminés - [14]. Dans de nombreux pays, certains règlements ont vu le jour pour mettre en place des actions en matière de cybersécurité dans les infrastructures critiques comme la directive européenne 2013/0027 (COD) "Niveau commun élevé de sécurité des réseaux et de l'information dans toute l'Union" [15] ou la loi française de 2013-1168 [16]. Ces textes définissent les obligations d'analyse des risques, des rapports d'incidents, des vérifications de cybersécurité pour les entreprises privées qui sont impliquées dans des infrastructures critiques. Ceci est clairement une bonne étape pour augmenter la prise de conscience des risques, mais cela ne concerne que très peu d'entreprises et n'aura probablement pas un impact significatif sur le secteur informatique industriel complet.

Dans ce contexte, l'Internet des objets ajoute de nombreuses nouvelles menaces qui sont loin d'être gérées par les services IT. La communication entre un très grand nombre d'objets (les experts évaluent les objets connectés à 30 milliards en 2020) ajoute de nouveaux défis de sécurité dans de nombreux domaines :

- **De petits appareils doté d'une faible puissance de calcul** et qui n'intègrent pas ou peu de protocole sécurisé avec un cryptage fort
- **La difficulté d'authentifier un appareil** lorsqu'aucun utilisateur n'est connecté via un mot de passe ou un code PIN et, par conséquent, un système d'espionnage peut facilement copier toute identification de l'appareil
- **Des systèmes d'exploitation pour l'IoT sont nombreux** et des outils de communication sécurisés devront être développés ou intégrés à chacun
- **Des déploiements de patches de sécurité** sur des millions d'appareils avec des communications réseau à vitesse intermittente voire faible n'ont à ce jour aucune solution technique

Comme l'article de Slate "Pretty Much Every Smart Home Device You Can Think of has Been Hacked" [\[17\]](#) le montre, n'importe quel système, que ce soit d'une imprimante HP à une ampoule connectée Philips ou, plus inquiétant, de pompes à insuline aux voitures Tesla, ont été piratées en 2014.

Qu'est-ce que cela signifie pour l'usine connectée de l'Industrie 4.0 pleine de dispositifs IoT ?

Cela arrêtera-t-il tout progrès de connexion de dispositifs au sein de l'usine ?



Tout d'abord, cela signifie que la très belle image de l'Industrie 4.0 où les produits, les outils et les machines communiquent les uns avec les autres et avec les applications Cloud est idéaliste. Un modèle plus structuré et sécurisé demeure nécessaire. C'est possible puisque l'usine est un environnement beaucoup plus petit que le schéma général IoT : vous pouvez limiter la connexion à des dispositifs connus avec des systèmes d'exploitation connus et veiller à ce que toutes les communications utilisent soit des passerelles de sécurité réseau, soit des middlewares offrant un haut niveau de sécurité et de détection d'intrusion.

Mais cela signifie aussi que l'approche multicouches, souvent désignée comme « défense en profondeur » [\[18\]](#) est tout à fait significative pour l'Industrie 4.0. Ces couches comprennent des stratégies de sécurité et des procédures, la sensibilisation et la formation, la segmentation du réseau, des mesures de contrôle d'accès, des mesures de sécurité physiques, le durcissement du système; par exemple : la gestion des correctifs et la surveillance du système, l'anti-virus et le système de prévention des intrusions (IPS). La segmentation du réseau ou de « zoning » est cruciale car une fois qu'un accès non autorisé est détecté, cette approche peut fournir des contrôles efficaces pour limiter la poursuite du mouvement à travers le réseau. En segmentant bien son réseau, l'entreprise industrielle va restreindre l'accès aux informations sensibles pour les applications, les serveurs et les utilisateurs qui n'en ont pas besoin. En parallèle, l'entreprise industriel rend beaucoup plus difficile au hacker la localisation et l'accès aux informations les plus sensibles de l'organisation.

La cybersécurité doit devenir une préoccupation majeure pour toutes les personnes dans l'entreprise. Une collaboration entre les services informatique de gestion et informatique industrielle est nécessaire pour définir des politiques de sécurité globales à mettre en œuvre depuis l'automate jusqu'aux services Cloud. De nouvelles solutions technologiques comme celle de Sentryo [\[23\]](#) peuvent contribuer à améliorer la sécurité du réseau, même au niveau de l'automate. Mais un changement culturel chez les managers industriels et les fournisseurs est nécessaire afin d'envisager la cybersécurité comme une préoccupation principale avec des investissements adéquats, la formation de personnes et le contrôle opérationnel. Ce changement de culture sera très difficile dans l'industrie, et la question de la cybersécurité ralentira certainement la progression l'Industrie 4.0.

4.3. AGILITÉ

L'industrie a toujours été un environnement très changeant avec beaucoup de contraintes physiques, technologiques et clients. C'est l'une des raisons pour lesquelles de nombreuses entreprises utilisent principalement Microsoft Excel dans les ateliers. Ce n'est pas l'outil le plus efficace puisque les données sont souvent saisies dans différents fichiers Microsoft Excel. Ce n'est également pas l'outil le plus sécurisé en raison du manque de contrôle d'accès et de fichiers de sauvegarde, et pas non plus l'outil le plus fiable car il y a souvent des erreurs dans les formules. Cela reste un outil facilement adaptable à de nouvelles contraintes.

Les nouvelles solutions pour l'Industrie 4.0 devront répondre à un énorme besoin d'agilité. Cela signifie que les coûts d'adaptation du système informatique à de nouveaux produits et à de nouveaux procédés de fabrication doivent être fiables. Sinon, les solutions informatiques n'évolueront pas en même temps que les changements de processus, pour une raison économique ou par manque de personnel qualifié, et la perte de productivité va augmenter rapidement. Par exemple, si les solutions Big Data nécessitent un analyste de données pour apporter des modifications à chaque fois que le processus de fabrication évolue, il est très probable que le système ne sera pas suffisamment maintenu et que les résultats d'analyse de données deviendront de moins en moins significatifs. L'adaptation à faible coût sera un point très important pour le déploiement des technologies numériques de l'Industrie 4.0. C'est une exigence requise pour que ces nouvelles technologies deviennent de nouveaux standards sur le marché.

Dans le Baromètre de la transformation digitale du CSC^[19], deux-tiers des entreprises ont répondu que leur système d'information n'est pas ou peu évolutif que c'est un obstacle à leur transformation digitale. L'Industrie 4.0 devrait accélérer l'évolution rapide du système informatique dans les usines.

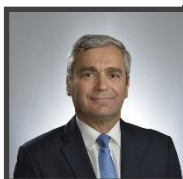


Comme dit dans le paragraphe sur l'IoT, dans le schéma classique Purdue Reference Model for Computer Integrated Manufacturing^[20], le Manufacturing Execution System (MES) est la couche logicielle qui est en charge de la communication avec toutes les machines, les outils et les systèmes de contrôle dans l'usine. Le MES sera un élément essentiel de l'Industrie 4.0. Il devra gérer la communication avec les nouveaux appareils connectés, envoyer les bons fichiers 3D pour chaque OF (Ordres de Fabrication) et recueillir des données pour l'analyse Big Data. Avec la technologie actuelle, le MES peut déjà apporter une usine sans papier et remplacer la plupart des feuilles de calcul utilisées dans les ateliers. L'agilité informatique nécessaire au développement de l'Industrie 4.0 implique que le MES soit très évolutif. De nouvelles solutions MES, comme le logiciel Qubes de l'éditeur Creative IT^[21], apportent des outils puissants, tels que les éditeurs de processus graphiques ou des générateurs d'écran sans code, afin de permettre à un informaticien de faire des changements dans leur application. Ceci est un point clé pour atteindre des évolutions rapides dans un environnement de production changeant.

4.4. L'ACCEPTATION PAR LES SALARIÉS

Même si l'automatisation est portée à un nouveau niveau avec la production intelligente, la performance globale d'une usine aura besoin que certains opérateurs interagissent avec ces nouveaux systèmes complexes. Avec l'augmentation des ordinateurs à la maison et des smartphones, la peur d'interagir avec des appareils électroniques a quasiment disparu, et les nouvelles interfaces tactiles permettent aux utilisateurs de prendre la main sur ces nouvelles applications rapidement. Cependant, les applications destinées à la production ont un impact plus important dans une organisation que la seule utilisation d'appareils électroniques. Cela exige que la plupart des procédures et les règles de conformité soient exécutées avec une application logicielle et que les employés comprennent et intègrent vraiment ce nouveau workflow numérique.

Avec le déploiement de l'Industrie 4.0, le système d'information des usines sera un assemblage de nombreux systèmes interagissant automatiquement entre eux et, rapidement, les opérateurs pourraient avoir du mal à suivre ces changements. La formation des travailleurs sur les nouvelles solutions sera forcément nécessaire, mais la façon dont les interactions entre tous les systèmes peuvent avoir un impact sur les performances sera une préoccupation. Une mauvaise compréhension des interactions peut entraîner de mauvaises décisions qui provoquent une réduction rapide de la performance de l'usine et une perte complète des gains des nouvelles technologies. Les opérateurs dans l'usine ne deviendront pas des informaticiens, donc la façon dont le salarié peut utiliser le système dans le cas d'une configuration inattendue doit être étudiée très précisément. Il doit permettre aux salariés d'effectuer la bonne action, conforme à la logique des systèmes mis en place, pour le ramener à la normale. Il y a une part d'ergonomie pour rendre des systèmes complexes facile à manipuler, et une part de développement de télé-assistance et de télé-opération. Puisque plus de données collectées durant la fabrication seront disponibles à distance, la télé-assistance sera beaucoup plus facile qu'aujourd'hui, et c'est certainement un bon moyen de fournir à moindre coût la bonne expertise dans l'usine.



L'acceptation par les salariés des nouvelles technologies dans l'usine est clairement un sujet de préoccupation, qui peut être résolue par des formations, une téléassistance plus efficace et une augmentation des compétences numériques. Pour ce dernier point, les projets de dématérialisation du papier dans les ateliers semble la première étape nécessaire.

CONCLUSION

De retour à notre question initiale « Industrie 4.0 : Les technologies de l’Industrie du Futur arriveront-elles un jour dans les usines ? », nous pouvons être positif. Les moteurs d’activité derrière cette nouvelle révolution industrielle sont beaucoup plus profonds qu’une simple promotion technologique. Mais dû à leur(s) déploiement(s) imprévisible(s) dans chaque industrie, les entreprises industrielles doivent entamer leur transformation digitale avec trois étapes principales :

ÉTAPE 1 - Augmenter la sensibilisation

Dans l’industrie, la plupart des managers sont dans un contexte financier plus qu’un contexte technologique. Ils ne voient pas l’intérêt d’investir dans les nouvelles technologies sans retour sur investissement mesurable. Mais si certains concurrents dérangeants entrent sur le marché, il sera trop tard pour réagir. Il est important que la direction générale comprenne la signification des changements éventuels du marché pour lancer une stratégie d’innovation sur les technologies de production avec des financements adéquats. Les industriels allemands ont déjà franchi cette étape importante avec des investissements significatifs sur ces sujets. Mais dans de nombreux pays développés, ce n’est pas encore une tendance générale, et il pourrait y avoir des conséquences sévères pour leurs entreprises.

ÉTAPE 2 – Créer une infrastructure numérique

Avant même la maturité complète de toutes les technologies de l’industrie 4.0, il est important de déployer une infrastructure numérique capable de les soutenir. D’un côté, cela demande d’améliorer la communication au sein de l’usine, incluant les machines et les outils. D’un autre côté, le déploiement d’une solution Manufacturing Execution System évolutive est nécessaire. Le MES doit couvrir tous les sites de production en offrant la possibilité d’intégrer une nouvelle technologie rapidement sur tous les sites de l’entreprise. L’adaptabilité pour s’intégrer rapidement à l’environnement industriel en constante évolution est une exigence pour le déploiement d’une solution MES, tout autant qu’elle doit être orientée services pour être facilement connecté aux nouveaux sous-systèmes et nouvelles technologies. L’aspect cybersécurité dans cette infrastructure numérique doit être une priorité et inclus dès le début la réflexion.

ÉTAPE 3 – Créer une culture digitale

Comme nous l’avons vu, les applications logicielles, les analyses de données et la cybersécurité seront au cœur de cette révolution industrielle. Tous les employés dans l’usine, des managers aux opérateurs, mais aussi les services supports comme la maintenance, l’ingénierie, devront développer une culture digitale qui leur permettront d’atteindre une meilleure performance opérationnelle dans ce nouvel environnement.

L’Industrie 4.0 va bouleverser l’environnement industriel dans les 10 prochaines années. Elle va apporter à la fois plus d’opportunités mais aussi plus de menaces que lors des 50 dernières années. Pour les entreprises industrielles, il ne faut pas manquer ce virage stratégique sous peine de déclin sur le marché. Les entreprises qui seront les grandes gagnantes de cette nouvelle ère industrielle seront celles qui auront considéré l’Industrie 4.0 comme leur priorité et qui seront passés à l’action.

REFERENCES

[1]	http://www.plattform-i40.de/sites/default/files/Report_Industrie_4.0_engl_1.pdf
[2]	http://www2.meethue.com/
[3]	http://www.cityzensciences.fr/en
[4]	http://www.geglobalresearch.com/innovation/3d-printing-creates-new-parts-aircraft-engines
[5]	http://www.sculpteo.com/
[6]	http://www.feetz.com/
[7]	http://www.technologyreview.com/news/507831/general-electric-pitches-an-industrial-internet/
[8]	http://gelookahead.economist.com/infograph/industrial-internet-the-power-of-1-2/
[9]	http://www.networkworld.com/article/2866950/cloud-computing/which-cloud-providers-had-the-best-uptime-last-year.html
[10]	http://www.journaldunet.com/solutions/cloud-computing/comparatif-cloud.shtml
[11]	https://www.qubes.com/innovations/innovation-2015-pour-le-suivi-de-production
[12]	http://en.wikipedia.org/wiki/Stuxnet
[13]	https://www.nsslabs.com/sites/default/files/public-report/files/Vulnerability Threat Trends.pdf
[14]	http://www.wired.com/2015/01/german-steel-mill-hack-destruction/
[15]	http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52013PC0048
[16]	http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000028338825&categorieLien=id
[17]	http://www.slate.com/blogs/future_tense/2014/12/30/the_internet_of_things_is_a_long_way_from_being_secure.html
[18]	http://en.wikipedia.org/wiki/Defense_in_depth_%28computing%29
[19]	http://www.csc.com/fr/insights/118469-barometre-de-la-transformation-digitale
[20]	https://en.wikipedia.org/wiki/Purdue_Enterprise_Reference_Architecture
[21]	https://www.qubes.com/
[22]	http://3dprintingindustry.com/2014/08/22/barilla-launches-3d-printed-pasta-contest-thingarage/
[23]	http://www.sentryo.net/