

L'Industrie du futur 4.0

Sommaire

2.1	Introduction	19
2.2	Réseaux câblés	20
2.2.1	Communication série	20
2.2.2	Ethernet et ses dérivés	21
2.2.3	Conclusions	24
2.3	Wireless Personal Area Network (WPAN)	24
2.3.1	IEEE 802.15.4	24
2.3.2	WIA-PA	25
2.3.3	ISA100.11a	25
2.3.4	WirelessHART	26
2.3.5	Conclusions	26
2.4	Wireless Local Area Network	26
2.4.1	IEEE 802.11	27
2.5	Conclusions	28

1.1 Introduction

Avec le perfectionnement de l'électronique et le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) à la fin du XXe siècle, l'industrie entra dans une nouvelle ère. L'industrie 3.0 commence dans le début des années 70. Elle renforce l'automatisation et introduit l'informatique dans l'industrie. L'objectif était que les ouvriers n'aient plus à faire les tâches simples et répétitives. Cela implique une réduction de la masse salariale non qualifiée, et aussi l'emploi de personnel qualifié pour la maintenance des équipements. En complément de l'automatisation, l'informatique dans l'entreprise permet une meilleure gestion des ressources. Par

exemple, les entreprises s'équipent de logiciel de gestion intégré, ce qui permet la centralisation des informations et de la planification. Les communications sont aussi facilitées par le déploiement de réseaux haut-débit et de l'Internet. Mais l'industrie poursuit sa course à la compétitivité. La Figure 1.1 montre les différentes révolutions industrielles. Elle montre finalement que l'industrie doit adopter les nouvelles technologies de son époque pour rester compétitive. De nos jours, l'informatique et l'automatisation ne sont plus des nouvelles technologies. Elles ne sont plus suffisantes pour se différencier. Cela implique que l'industrie 3.0 n'est plus suffisante pour qu'une industrie soit compétitive. Il faut donc de nouvelles normes et technologies pour l'industrie. C'est là qu'intervient l'Industrie 4.0. Dans ce même chapitre, nous commencerons par aborder les origines de l'Industrie 4.0. Puis, nous terminerons par les ambitions et les nouvelles contraintes de l'Industrie 4.0.

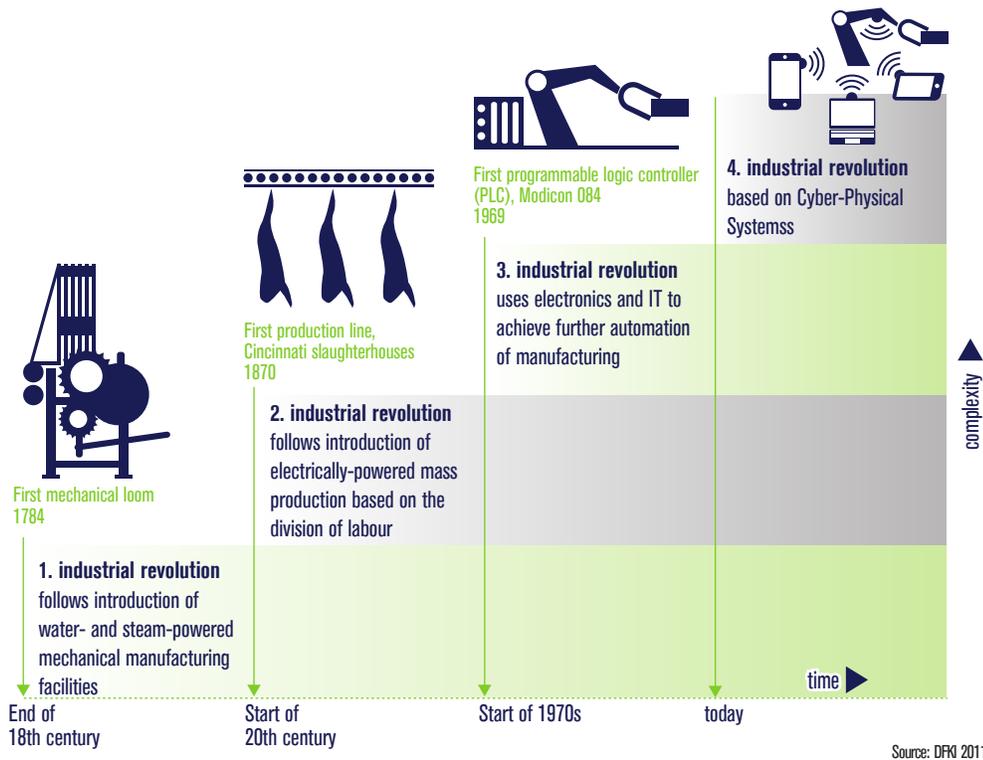


FIG. 1.1 : De la première révolution industrielle à l'Industrie 4.0, extrait du site du Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)

1.2 Les origines de l'Industrie 4.0

L'Industrie 4.0 possède quelques prérequis techniques. Avant de passer à l'Industrie 4.0, il faut déjà avoir la maîtrise de l'industrie 3.0 [Chr17]. Comme il était indispensable d'avoir l'électrification

pour utiliser la robotique, il est indispensable d'utiliser l'automatisation et les NTIC pour commencer à mettre en œuvre l'Industrie 4.0. L'autre prérequis concerne l'Internet des Objets (*Internet of Things*, IoT). L'IoT est un domaine qui est apparu durant la dernière décennie. Il repose surtout sur les capteurs et les terminaux de faible puissance connectés à Internet. L'Industrie 4.0 repose aussi sur les systèmes cyber-physiques. Un système cyber-physique est un système où des éléments informatiques contrôlent les éléments physiques. Un distributeur de billet de banque est un exemple de système cyber-physique car c'est un système connecté à un réseau informatique et manipulant des objets (les billets de banque). L'Internet des objets adapté à l'industrie et les systèmes cyber-physiques sont considérés comme des éléments fondamentaux de l'Industrie 4.0 [ZLZ15].

Les origines de l'Industrie 4.0 sont relativement simples. Le concept d'Industrie 4.0 est développé dans une étude sponsorisée par le ministère fédéral allemand de l'enseignement et de la recherche. Il a été demandé à un comité composé de chercheurs académiques et industriels de se pencher sur la question « comment sécuriser l'avenir de l'industrie manufacturière allemande » [Kag13]. La réponse de ce comité est un rapport d'environ 80 pages publié en 2013. Il fait rapidement un état des lieux de l'industrie au niveau mondial et propose un ensemble de recommandations pour mettre en place l'Industrie 4.0. L'industrie allemande fait partie des leaders mondiaux. Néanmoins, elle est menacée par l'industrie chinoise et étasunienne. L'industrie chinoise est capable de produire des biens en grande quantité et à faible coût grâce à sa capacité de production importante et ses coûts salariaux plus faibles. Ce n'est pas le cas de l'industrie allemande. Elle doit donc trouver un moyen de rester compétitive, voire se démarquer des autres industries. Un autre élément vient handicaper l'industrie allemande. Le nombre de personnes hautement qualifiées est insuffisant pour satisfaire la demande. Le déficit tend même à se creuser dans les prochaines années. À défaut de pouvoir recruter, l'industrie allemande doit soit garder ses employés plus longtemps actifs, soit les faire évoluer en interne.

Il existe une initiative française nommée « Nouvelle France Industrielle » (NFI) depuis 2015 [Bel15]. Elle s'appuie aussi sur l'industrie du futur. Elle définit neuf secteurs clés : l'économie des données, les objets intelligents, la confiance numérique, l'alimentation intelligente, les nouvelles ressources, la ville durable, la mobilité écologique, les transports de demain et la médecine du futur. Enfin, ce projet précise 10 solutions dont l'usine du futur, les objets intelligents et la confiance numérique.

1.3 Les ambitions de l'Industrie 4.0

L'objectif principal de l'Industrie 4.0 est de créer de la valeur ajoutée dans l'industrie manufacturière, indépendamment des coûts salariaux [Kag13]. Il est possible de découper cet objectif en plusieurs sous-objectifs : l'optimisation des ressources et des moyens, une flexibilité accrue, une standardisation des technologies déployées et la sécurité informatique.

1.3.1 Une optimisation des moyens et des ressources

Le premier point est d'optimiser le processus de fabrication. Pour cela, il faut que les équipements de production soient le plus polyvalent possible. L'objectif est de pouvoir remplacer une

machine par une autre en cas de besoin. Par exemple, en cas de maintenance ou en cas de changement du bien à produire, l'usine ne doit pas être dépendante d'une machine. De plus, la chaîne de production doit être flexible. Elle doit pouvoir s'adapter rapidement au processus de production.

Une chaîne de production capable de s'adapter rapidement permet d'éviter les temps morts. Ce n'est qu'un élément pour optimiser les coûts. D'autres éléments comme la gestion des matières premières sont aussi importants. La nouveauté de l'Industrie 4.0 est la possibilité de simuler le niveau des stocks, le transport et la logistique. Cela permettra de mieux anticiper les approvisionnements par exemple. Les matières premières ne sont pas les seules ressources utilisées par l'industrie, il y a aussi l'énergie. La gestion de l'énergie peut être améliorée notamment pendant les week-ends et les périodes de vacances. L'idée de Siemens repris dans [Kag13] est de pouvoir passer l'usine en « mode veille » à la manière d'un simple ordinateur ou du *cloud computing*. L'efficacité et l'efficience des ressources utilisées est un point clé pour réduire le coût des produits.

1.3.2 Vers plus de flexibilité

La flexibilité des processus de fabrication est un élément clé de l'Industrie 4.0. L'Industrie 4.0 permet la création de valeur par la personnalisation du bien par le client. L'objectif est que chaque client puisse demander un produit sur-mesure. Pour cela, il faut donc pouvoir adapter le processus de fabrication en fonction des besoins. Les équipements doivent être reconfigurables « à la volée ». Selon Grier [Gri17], l'idée est que les usines deviennent reconfigurables rapidement et à très faible coût à la manière du *cloud computing*. Ce qui implique le développement de solutions équivalentes à celles présentes dans le *cloud computing*. Nous retrouvons ce lien avec le *cloud computing* dans le nom de certains modèles [Xu12]. Par exemple, un modèle d'implémentation de l'Industrie 4.0 porte le nom de *cloud manufacturing*. Comme le *cloud computing*, l'Industrie 4.0 doit supporter l'intégration de bout-en-bout de la chaîne de valeur. C'est-à-dire qu'il faut que tous les éléments de la chaîne, des fournisseurs aux clients finaux en passant par le fabricant doivent être vus comme un ensemble, et plus comme des maillons indépendants. L'Industrie 4.0 doit aussi permettre l'intégration verticale. L'intégration verticale consiste à augmenter la capacité des éléments existants. L'intégration verticale d'une usine consiste à pouvoir ajouter une ligne de production sans construire une autre usine, par exemple. L'intégration horizontale consisterait à construire une usine supplémentaire de capacité comparable. Par analogie avec le *cloud computing*, l'intégration verticale consiste à augmenter la capacité d'un/des serveur(s). En intégration horizontale, un serveur supplémentaire est ajouté au groupe de serveurs.

1.3.3 Des technologies standardisées et ouvertes

Une recommandation pour l'Industrie 4.0 est de se reposer sur un unique ensemble de standards ouverts. L'exemple cité dans [Kag13] est l'ensemble des normes IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) et IETF (*Internet Engineering Task Force*). Cette recommandation est importante car elle permettrait aux entreprises de ne pas être dépendant technologiquement. Par exemple, des solutions commerciales comme Sercos ou PROFINET se tournent vers des standards

IEEE (Ethernet notamment) et IETF pour assurer leur pérennité. Malheureusement, une partie des technologies pour les réseaux industriels sont propriétaires. L'un des points bloquants est pour le moment la gestion du temps réel. Par exemple, Ethernet n'est pas particulièrement adapté au temps réel. Des solutions propriétaires comme les deux premières versions de Sercos ou PROFIBUS permettent une gestion « native » du temps réel et de la latence.

1.3.4 Sécurité informatique

Aux débuts de l'intégration des NTIC, la sécurité n'était pas une priorité. Les fonctionnalités ont été préférées à la sécurité. Les premiers virus comme le ver Morris [Orm03] ont montré que la sécurité ne devait plus être négligée. Ces menaces s'attaquent principalement aux systèmes informatiques des entreprises. Le but est soit de voler des données stratégiques, soit de paralyser l'entreprise. WannaCry [Ehr17] est un exemple du second cas. Ce rançongiciel est capable de paralyser l'intégralité d'un réseau informatique jusqu'à paiement d'une rançon. Des entreprises comme Saint-Gobain et Renault ont vu leurs parcs informatiques bloqués pendant plusieurs jours suites aux infections de rançongiciels. Un autre rançongiciel Petya et ses variantes auraient coûté plus d'un milliard d'euros aux entreprises selon une estimation du Monde [Ute17]. Les virus informatiques peuvent attaquer aussi les équipements industriels reliés aux réseaux informatiques. Stuxnet est un exemple d'attaque contre des équipements industriels à travers un réseau informatique [CA11; Kus13]. Stuxnet est un virus étatique destiné à freiner le programme nucléaire iranien. Il a commencé par infecter un grand nombre d'ordinateurs. Une fois sur le réseau de contrôle des équipements de la centrale nucléaire, le virus a pris possession du système de contrôle et d'acquisition de données. Enfin, il a faussé les informations et a fait fonctionner les centrifugeuses anormalement jusqu'à leur destruction. Stuxnet a démontré qu'il était possible de détruire des équipements physiques connectés à un système informatique. Dans un cadre industriel, les cyber-menaces peuvent bloquer le fonctionnement d'une entreprise et détruire des équipements, d'après ces exemples. Dans l'Industrie 4.0, la sécurité est donc considérée comme cruciale, au même titre que la sûreté. Pour les systèmes cyber-physiques, la sécurité doit être intégrée dès la conception (*security by design*).

1.4 Conclusions

L'industrie du futur n'est pas une révolution en soi. Elle s'appuie largement sur l'industrie 3.0. Néanmoins, elle apporte de nouvelles exigences technologiques et organisationnelles. La particularité de l'industrie du futur reste l'intégration de l'Internet des Objets et des systèmes cyber-physiques. Elle nécessite aussi une grande flexibilité que ce soit dans les processus de fabrication que dans les systèmes d'information notamment via l'intégration horizontale. L'Industrie 4.0 gagne en efficacité en termes de ressources pour des raisons économiques. Cependant, le développement durable et la défense de l'environnement ne sont pas abordés. Enfin, l'industrie du futur repose notamment sur des technologies ouvertes et standardisées. Nous proposons d'ajouter de l'intelligence dans les réseaux informatiques afin de répondre aux besoins de fiabilité et de flexibilité

des réseaux. Dans le Chapitre 2, nous allons voir quelques technologies industrielles historiques et celles qui sont compatibles avec l'Industrie 4.0.