

L'Aérospatiale 4.0™

L'Entreprise Numérique et Intelligente

Hany Moustapha, Professeur

Chaire Siemens sur l'intégration des technologies de l'Industrie 4.0

Chaire Pratt & Whitney Canada sur le système de propulsion

École de technologie supérieure

«L'Aérospatiale 4.0™» est un programme intégré de recherche, d'éducation et de formation, créé par AÉROÉTS en mai 2016, pour répondre aux besoins de l'Industrie 4.0.

Industrie 4.0

« Industrie 4.0 » est un terme simplifié désignant un « Système de production cyber-physique » dont le concept a été introduit en Allemagne en 2011 pour désigner la quatrième révolution en cours dans l'industrie manufacturière. L'Industrie 1.0 (1784) se caractérisait par la production mécanique et à la vapeur; l'Industrie 2.0 (1870) par l'énergie électrique, la production en série et la première chaîne de montage; l'Industrie 3.0 (1969) par l'électronique, les technologies de l'information et des communications (TIC) et l'automatisation.



Industrie 4.0: Neuf technologies
Différences majeures avec les révolutions précédentes:
Vitesse – Connectivité - Culture

Industry 4.0 Characteristics

- > **Artificial Intelligence** "AI" and data analytics: knowledge & decision making
- > **Big "Good" data** is the "raw materials and oil" of Industry 4.0 and AI
- > **Data**: sharing, security, reliability and variability: **Who owns the data ?**
- > **Asset**: knowledge, optimization and management
- > **Digital thread**: tracking part from cradle to grave "**Real Time Connectivity**"
- > **Digitization**: Technology enabler - "**Digital Disruptive**"
- > **Total enterprise** and not only manufacturing

FROM:

- > Physical to Digital: the "**Digital Twin**"
(*Digital Twin existed for design: Digital to Physical*)
- > Carbon to Silicon
- > **Assets to Services** (Uber and Airbnb)
- > Clusters to **cloud computing**
- > Mechanical to mechatronics
- > Technological to **organizational automation**



Shared Economy – Electronics Platforms: Uber and Airbnb

L'Industrie 4.0 est la « Démocratisation de la technologie » où les humains, les ordinateurs, les machines et les produits collaborent numériquement et communiquent de façon interrompue grâce à des processus intégrés et optimisés à tous les niveaux de la chaîne de valeur du produit, à la fois à l'intérieur de l'entreprise et en amont (fournisseurs) et en aval (clients) de l'entreprise.

Industry 4.0 is Already in Our Daily Life: GPS, Iphone, Facebook, etc.

- Big Data
- Internet of Things
- Cloud Computing
- Artificial Intelligence
- Predictive Maintenance



- Steps
- Kms
- Floors
- Minutes
- Calories
- Sleeping
- Weight
- Heart
- Water

Industry 4.0 is not an End-Point
It is a "Journey": Industry 4.0, 4.1, 4.2,X.0

Des études publiées par Deloitte (2014 et 2015) soulignent les quatre enjeux et solutions associés à la transformation numérique de l'Industrie 4.0 : le réseautage vertical des petits systèmes de production, de la logistique et des services intelligents; l'intégration horizontale des partenaires financiers et des clients de partout dans le monde, l'ingénierie de bout en bout tout au long de du cycle de vie du produit et l'accélération grâce à des technologies exponentielles. Le rapport de Deloitte énumère les cinq technologies de pointe qui alimentent l'innovation de rupture : l'intelligence artificielle, la robotique de pointe, les réseaux (Internet sur les choses, les données, les services et les gens), la fabrication de pointe (imprimantes 3D) et les plateformes connectées collaboratives (infonuagique et externalisation ouverte).

Tipping Points – Deep Shift Expected to Occur by 2025

(The Fourth Industrial Revolution, K. Schwab, WEF, 2016)

- Implantable mobile phone
- Clothes connected to the internet
- 1 trillion sensors connected to the internet
- The first robotic pharmacist
- The first transplant of a 3D printed liver
- Smart homes through internet: appliances, heating, groceries shopping, etc.
- Reading glasses connected to the internet
- The first human with fully artificial memory implanted in the brain
- The first 3D printed car in production
- Driverless cars
- Etc.



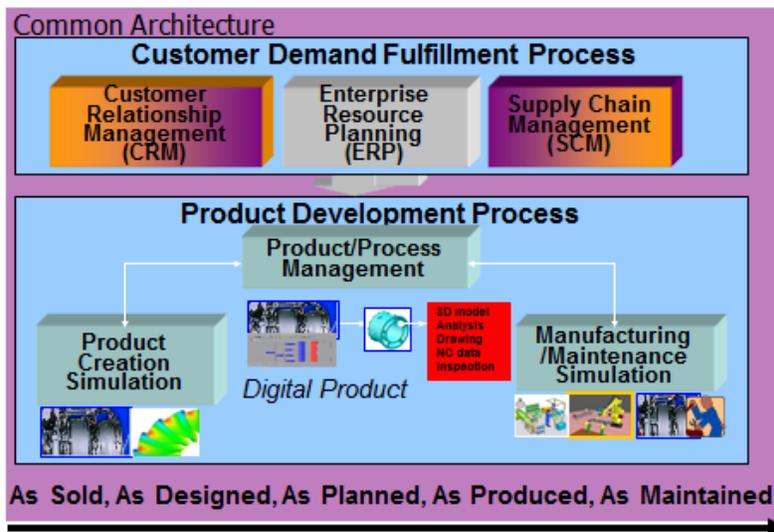
“Industry 4.0: Velocity – Breadth and Depth (radical changes) – Systems impact (transformation of the whole system)”

Au cours de la dernière décennie, plusieurs initiatives adéquatement financées ont favorisé la mise en place de l’Industrie 4.0 : Smart Factory de l’Allemagne (2005) et son démonstrateur de l’Industrie 4.0, Digital Factory de Siemens (2012), Brilliant Factory de GE (2014), l’usine du futur de l’UE (2013) et le réseau national pour l’innovation en fabrication des États-Unis (2013).

Au Canada, il convient de mentionner que Pratt & Whitney Canada (P&WC) avait déjà cerné ces besoins dès l’an 2000 avec sa vision d’une « Entreprise numérique virtuelle » regroupant tous les aspects de la conception, de la fabrication, de la chaîne d’approvisionnement, du service à la clientèle, etc. En 2012, P&WC lançait son programme ICEMAN (Intelligent Cells Manufacturing) et, en 2014, son centre de fabrication de pointe ainsi que son programme de gestion de la vie d’un produit en entreprise (EPLM).

Pratt & Whitney Canada Digital Enterprise

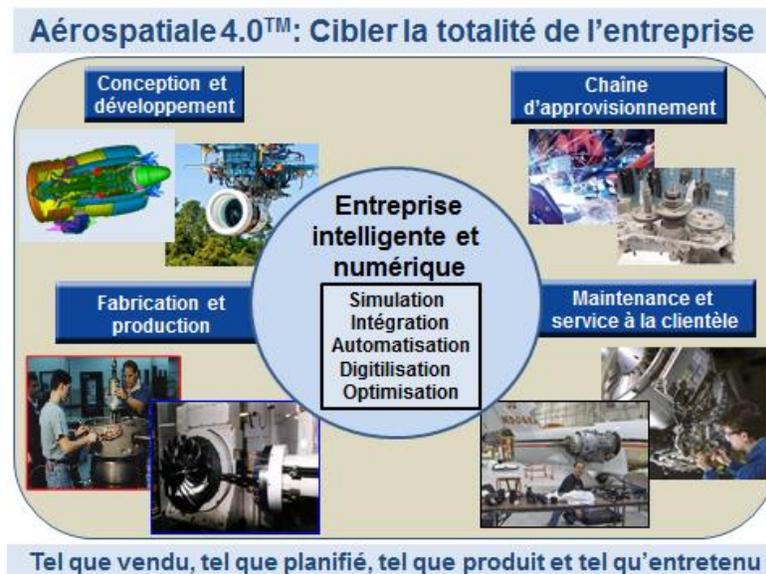
(H. Moustapha, P&WC, 2000: *Industry 4.0 started before 2011*)



L'Aérospatiale 4.0™

Mission

Mobiliser les points forts des établissements scolaires pour répondre aux besoins de l'Industrie 4.0 en termes de recherche et développement, d'éducation et de formation, en mettant l'accent principalement sur l'industrie aérospatiale. Les activités en lien avec l'Industrie 4.0 toucheront la totalité de l'entreprise, incluant la numérisation, la simulation et l'intégration de la conception, de la fabrication, de l'entretien, de la chaîne d'approvisionnement, du service à la clientèle, des ressources, etc.



Objectifs

- Construire sur les forces existantes des établissements scolaires
- Répondre aux besoins de l'industrie pour la mise en œuvre de l'Industrie 4.0
- Toucher la totalité de l'entreprise : marketing, ingénierie, usines, clients, chaîne d'approvisionnement, etc.
- Développer un programme de recherche et développement avec une approche intégrée
- Construire un laboratoire pédagogique d'entreprise numérique et virtuel avec tous les outils de simulation logiciels
- Développer des cours de courte durée et des programmes universitaires pour préparer le personnel hautement qualifié du futur
- Collaborer avec les fournisseurs industriels et logiciels
- Recherche de fonds

Recherche et Développement

Se concentrer sur la totalité de l'entreprise (commercialisation, ingénierie, opération, etc.) pour parvenir à une « Entreprise Numérique Intelligente » incluant les aspects de la fabrication-production afin de développer une « Usine plus Intelligente ». Il y aura plus d'emphase sur la « recherche opérationnelle » et « l'innovation de processus », ce qui mènera éventuellement à une meilleure « innovation de produit »

L'Entreprise Numérique et Intelligente

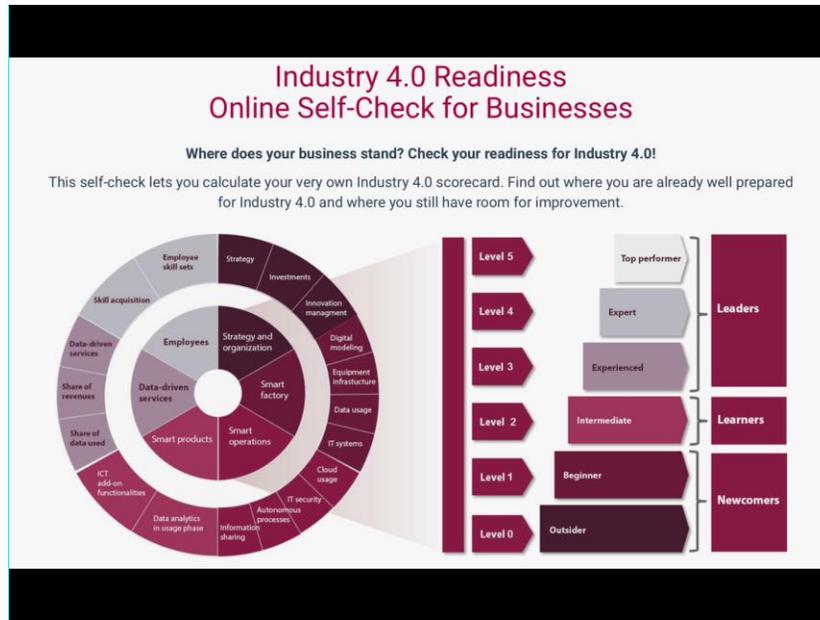
Afin de parvenir à une « Entreprise Numérique Intelligente », les entreprises doivent développer des flux de travail pleinement intégrés et ininterrompus du démarrage à l'après-vente. Cette transformation touchera toutes les divisions opérationnelles à l'intérieur d'une entreprise qui ont une incidence sur la « chaîne de valeur d'un produit » : le marketing, l'ingénierie de conception, les essais en développement, la fabrication, la chaîne d'approvisionnement, le support à la clientèle, le centre de service, etc. Il s'agit d'une transformation de la division opérationnelle traditionnelle, optimisée pour fonctionner en « silos », à une entreprise optimisée pour la chaîne de valeur. Des technologies innovantes et multidisciplinaires doivent être développées dans chaque organisation de la compagnie.

Les quatre principaux secteurs de recherche et développement requis pour une entreprise numérique intelligente sont :

1. L'Intégration Verticale : L'habileté de l'entreprise à être hautement réactive aux changements d'approvisionnement et de demande, aux délais et aux défauts par le biais de systèmes de production cyber-physiques. Pour atteindre cet objectif, différents niveaux hiérarchiques de l'entreprise doivent être mis en réseau en utilisant des systèmes informatiques intégrés. Ceci comprend : la modélisation et la simulation intégrée des systèmes, la surveillance d'état et l'analyse prédictive, les modèles d'intelligence distribuée pour le transport autonome décentralisé et le contrôle qualité statistique basé sur les mégadonnées.
2. L'Intégration Horizontale : La mise en réseau de toutes les étapes du procédé dans la chaîne de valeur, incluant les partenaires externes et les clients. Ceci comprend : la gestion des priorités dans le développement de produit, les chaînes d'approvisionnement intelligentes, la planification logistique intelligente, la création de réseaux d'approvisionnement adaptés, le séquençage et la prévision des projets en temps réel, la prise de décision qui tient compte du risque, etc.
3. Through-Engineering: Axer ses efforts sur la totalité du cycle de vie du produit. Intégrer et coordonner la conception, le développement et la fabrication avec le cycle de vie et avoir accès aux données et aux informations à chaque étape. Ceci comprend : l'étude multicritères de la performance du développement de produit après l'implantation de la gestion du cycle de vie, les agents intelligents et collaboratifs, et la gestion dynamique et distribuée des priorités pour accroître la performance du développement de produit, etc.
4. Technologies de Rupture: Conception et optimisation multidisciplinaire, simulation du produit en développement. Optimisation multidisciplinaire de l'usine, dans laquelle toutes les disciplines de la fabrication (matériaux, formage et procédés d'assemblage, outillage, usinage, robotique, manutention des matériaux, fabrication additive, etc.) peuvent être modélisées, simulées et intégrées. Intelligence artificielle. Fabrication additive (FA). Les systèmes intelligents de fabrication: usinage à porte fermée, prise de mesures en cours de procédé, compensation dynamique, suivi des tendances, surveillance des procédés, assurance de contrôle des procédés, traçabilité des données de qualité et de procédé, etc.

Beaucoup de projets ont déjà été accomplis depuis 2008 et de nouveaux projets sont envisagés et en discussion avec les partenaires industrielles et universitaires. Exemples: établir une échelle de maturité pour l'industrie 4.0 : « Aéro 4.0TM KPI » similaire à la VDMA Industrie 4.0 (Allemagne 2016). « MACHFab4.0 », un programme de partenariat entre Aéro Montréal, AÉROÉTS, le CEFRIO et STIQ, qui vise à doter les PME québécoises du domaine aérospatial de processus, d'outils et de programmes de

formation qui leur permettront d'automatiser et de numériser leurs installations. Un autre projet majeur est la chaire industrielle de cinq ans de Siemens sur « l'intégration des technologies de l'Industrie 4.0 » pour fournir une plate-forme d'intégration; ingénierie, fabrication et réparation et les opérations de la chaîne d'approvisionnement : une première au Canada.



VDMA Industrie 4.0 Readiness (Allemagne 2016)

A Total Enterprise Industry 4.0 Integrated R&D Program*
 3 Universities – 3 Projects – 22 Professors (15 Profs. ÉTS in 3 Depts.)

SIEMENS

Engineering Design

Digital Multidisciplinary Analysis and Design Optimization "DMADO"
 Platform for Aero-derivative Gas Turbines (AGT) – 6 Profs (3 ÉTS)
McGill Lead

Manufacturing Development and Repair

Advanced Manufacturing Automation, Digitization and Optimization "AMADO" – 12 Profs (8 ÉTS)
ETS Lead

Supply Chain

A Digital Technology Platform for Supply Chain "DTPSC" – 7 Profs (4 ÉTS)
Concordia Lead

Total: \$7M/5 years** (2018-2023) *A first in Canada
 **Including Siemens In-Kind

Chaire Siemens sur l'intégration des technologies de l'Industrie 4.0

Enseignement et Formation

Comme le souligne le rapport de 2015 de Boston Consulting Group (BCG), l'Industrie 4.0 entraînera des changements importants à la main-d'œuvre de demain. Malgré une utilisation accrue de la robotique et de l'informatisation, nous assisterons à une nette augmentation des emplois. Il s'agira alors de conserver les effectifs, de réorganiser les modèles organisationnels, de procéder à un recrutement stratégique et de planifier les besoins en main-d'œuvre.

The Workforce of the Future

Technological Unemployment Theory (Keynes, 1930)
Economizing the use of labor is outrunning the pace at which we can find new uses for labour

- Jobs transformed and workers adapted with new advances in automation and technology
- Disruptive technologies created opportunities for jobs that are more strategic
- Over two centuries of innovation, the global economy has provided more and better jobs
- Keeping the status quo to protect the current skillset is suicide for brands in technology and manufacturing
- Some jobs will disappear: Protect workforce and not jobs

Surviving the Technology:
Bank Teller vs ATM - Air Travel vs Skype Meetings

Les établissements d'enseignement doivent répondre aux besoins de l'Industrie 4.0, fournir un plus large éventail de compétences et combler le fossé des compétences dans le domaine des TIC. Le rapport de BCG souligne les dix incidences qu'aura l'Industrie 4.0 sur la main-d'œuvre :

1. Le contrôle de la qualité par les mégadonnées : les algorithmes basés sur les données historiques détectent les problèmes de qualité et réduisent les défaillances du produit;
2. La production robotisée : des robots humanoïdes flexibles s'acquittent de certaines opérations telles que le montage et l'emballage;
3. Les véhicules logistiques sans chauffeur : les systèmes de transport entièrement automatisés se déplacent sans encombre à l'intérieur de l'usine;
4. La simulation d'une chaîne de production : un logiciel novateur simule et optimise une chaîne de montage;
5. Le réseau d'approvisionnement intelligent : le contrôle du réseau d'approvisionnement dans son ensemble permet de prendre des décisions mieux éclairées en matière d'approvisionnement;
6. La maintenance préventive : le matériel de surveillance à distance permet d'apporter les réparations avant que surviennent pannes;
7. Les machines en tant que service : les constructeurs vendent un service, y compris la maintenance, au lieu d'une machine;
8. La production auto-organisatrice : on optimise l'utilisation et les résultats des machines automatiquement coordonnées;
9. La fabrication additive de pièces complexes : des imprimantes 3D créent des pièces complexes en une seule étape et éliminent le montage;
10. L'augmentation du travail, de la maintenance et du service : la quatrième dimension facilite l'encadrement opérationnel, l'aide à distance et la documentation.

Nous aurons besoin de « **scientifiques des données industrielles** » possédant de solides connaissances en TIC et en IA, en conception d'interface-utilisateur, en analytique de pointe, en analyse de cause fondamentale et en programmation des statistiques. Nous aurons également besoin de « **coordonnateurs de robots** » qui superviseront les robots, les répareront et effectueront leur entretien urgent. Les programmes de formation des techniciens, des ingénieurs et des administrateurs devront fournir des compétences en TIC grâce à des outils d'apprentissage virtuel. Aero Montréal a récemment publié « Compétences 4.0 » après un an de consultation avec l'industrie et les universités.

AéroFormation, un consortium créé en 2013 entre l'École des métiers de l'aérospatiale de Montréal (EMAM), l'École nationale d'aérotechnique (ENA) et le Centre aérospatial de perfectionnement (CAPE - Université McGill et ÉTS), en partenariat avec Aéro Montréal et le CAMAQ, répondra aux problématiques énoncées plus haut. L'objectif d'AéroFormation 4.0 est d'élaborer diverses formations continues et de courte durée pour préparer les ouvriers spécialisés, les techniciens et les ingénieurs aux nouvelles compétences exigées par l'Industrie 4.0. Ces cours seront offerts aux étudiants des Instituts aérospatiaux de Montréal (IAM).

Compétences : "Aerospace 4.0™ KPI"

7 grandes compétences essentielles à l'aire de la digitalisation

- ◆ Technologie et monde digital (prérequis)
- ◆ Relationnelle et organisationnelle
- ◆ Intégration et automatisation
- ◆ Optimisation des processus
- ◆ Mathématique et programmation
- ◆ Valorisation des données
- ◆ Gestion des affaires

Projet AéroMontréal: Définir les Compétences 4.0

Intégration et Automatisation

Compétences	Assembleur, monteur, machiniste et mécanicien	Technicien & agent méthode	Ingénieur et scientifique	Superviseur	Dirigeant & entrepreneur
Maîtriser la gestion du PLM collaboratif	1	2	3	2	2
Maîtriser les écosystèmes informatiques et d'entreprises	2	3	3	2	2
Monter des cahiers charge sur les requis de connectivité et d'automatisation des équipements	2	2	3	2	2
Savoir faire en automatisation des systèmes	2	2	3	2	2
Maîtriser les techniques de prototypage et de fabrication additive	1	2	3	1	1
Maîtriser l'électromécanique	1	2	3	1	1
Savoir analyser les mouvements d'un robot	2	3	3	3	1
Savoir développer des instructions de travail en 3D	2	3	3	3	1
Apprendre à faire des simulations d'usine en 3D (Tech. fabrication du futur)	1	2	3	1	1

Entrevues réalisées chez 11 entreprises
Guide des compétences (Juin 2018)