

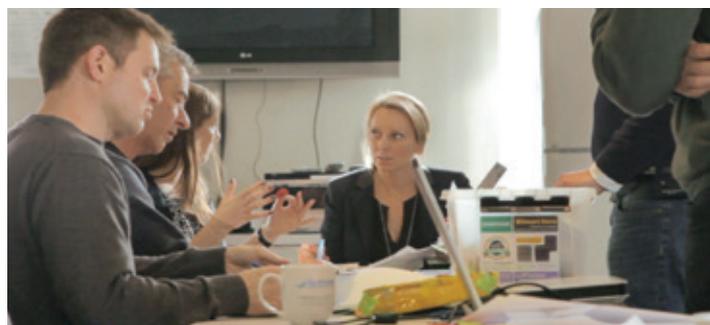
# PRENDRE PART À LA RÉVOLUTION MANU- FACTURIÈRE ?

Du rattrapage  
technologique  
à l'Industrie 4.0  
chez les PME



Principal partenaire financier

Économie, Science  
et Innovation





# PRENDRE PART À LA RÉVOLUTION MANUFACTURIÈRE ?

## Du rattrapage technologique à l'Industrie 4.0 chez les PME

L'appropriation du numérique est au cœur de la mission du CEFRIO depuis maintenant plus de 25 ans. C'est pourquoi le CEFRIO s'est vu confier la réalisation d'un ambitieux programme - PME 2.0 (2012-2018) avec une phase pilote au départ déployée dans 30 PME, suivie d'une phase de transfert à près de 600 PME. L'ambition de ce programme est de concevoir une démarche d'accompagnement et de la déployer dans des PME de manière à ce qu'elles soient mieux préparées à investir en technologies d'information et qu'elles réussissent leur virage numérique. PME 2.0 était aux premières loges des enjeux de la transformation des entreprises manufacturières.

Ce rapport a été réalisé par le CEFRIO en réponse au mandat confié par le Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation.

### Équipe de projet - CEFRIO PME 2.0

Josée Beaudoin,  
vice-présidente, Innovation et Transfert

Geneviève Lefebvre,  
directrice de projet

Mélanie Normand,  
directrice de projet

Vanessa Gouri,  
chargée de projet

Alexandre Skerlj,  
chargé de projet

### Équipe scientifique

Robert Pellerin,  
Professeur titulaire, Département  
de mathématiques et de génie industriel,  
Polytechnique Montréal

Louis Rivest,  
Professeur, Département de génie  
de la production automatisée,  
École de technologie supérieure (ETS)

Christophe Danjou,  
Chargé de cours  
École de technologie supérieure (ETS)

### Équipe d'édition

Guillaume Ducharme,  
vice-président, communications et affaires  
corporatives, CEFRIO

Annie Lavoie,  
conseillère en communication, CEFRIO

Criterion,  
design graphique

Marie-Guy Maynard,  
révision linguistique, Traductions MGM

### Crédits photos

Éric Carrière,  
photographe

Francis Fontaine,  
photographe

# Contexte

Cette quatrième révolution industrielle, que les Allemands ont d'abord nommée Industrie 4.0, nous rappelle que le rattrapage technologique de nos entreprises est un défi de taille auquel il faut prestement répondre et agir. Comme toute révolution, elle bouscule l'ordre établi et plus particulièrement les entreprises qui peinent à faire usage du numérique. Toutefois, cette révolution industrielle est aussi porteuse de solutions pour propulser nos PME à la hauteur de leurs ambitions.

L'effervescence qui anime la quatrième révolution industrielle (Industrie 4.0) a alimenté, au sein de diverses organisations comme au CEFRIO, bon nombre de discussions et de travaux sur la définition, les technologies qui la composent et son impact sur les entreprises. Pour démêler les concepts et rendre plus accessible le contenu de cette révolution, le CEFRIO propose une courte synthèse de ses observations et de ses travaux auprès de PME depuis 2012.

Ce document est notamment inspiré du rapport du comité de la recherche 4.0 de PME 2.0. Ce comité, coordonné par le CEFRIO, réunit Robert Pellerin (professeur titulaire, École Polytechnique et chercheur associé au CEFRIO), Louis Rivest (professeur titulaire, École de technologie supérieure, également chercheur associé au CEFRIO) et Christophe Danjou (chercheur postdoctoral, École de technologie supérieure). Le document<sup>1</sup> est disponible sur les sites [PMENumerique.ca](http://PMENumerique.ca) et [cefrio.qc.ca](http://cefrio.qc.ca).

## LA RÉVOLUTION MANUFACTURIÈRE EN CINQ POINTS

- 1 Une révolution ?
- 2 Trois stratégies de transition vers Industrie 4.0
- 3 Quatre niveaux de capacité du 4.0
- 4 Dix groupes technologiques
- 5 La feuille de route et les facteurs de succès de la PME

<sup>1</sup> C. Danjou, L. Rivest et R. Pellerin : Industrie 4.0 : des pistes pour aborder l'ère du numérique et de la connectivité, CEFRIO 2016.

A large industrial robotic arm, specifically a FANUC R-2000iB, is the central focus of the image. It is a white, multi-jointed arm mounted on a base, positioned in a factory or workshop environment. The background shows shelves with boxes and other industrial equipment. The entire image has a yellow tint. The text 'Chapitre 1' is located in the upper right quadrant, and 'Une révolution ?' is centered in the middle of the image.

Chapitre 1

# Une révolution ?

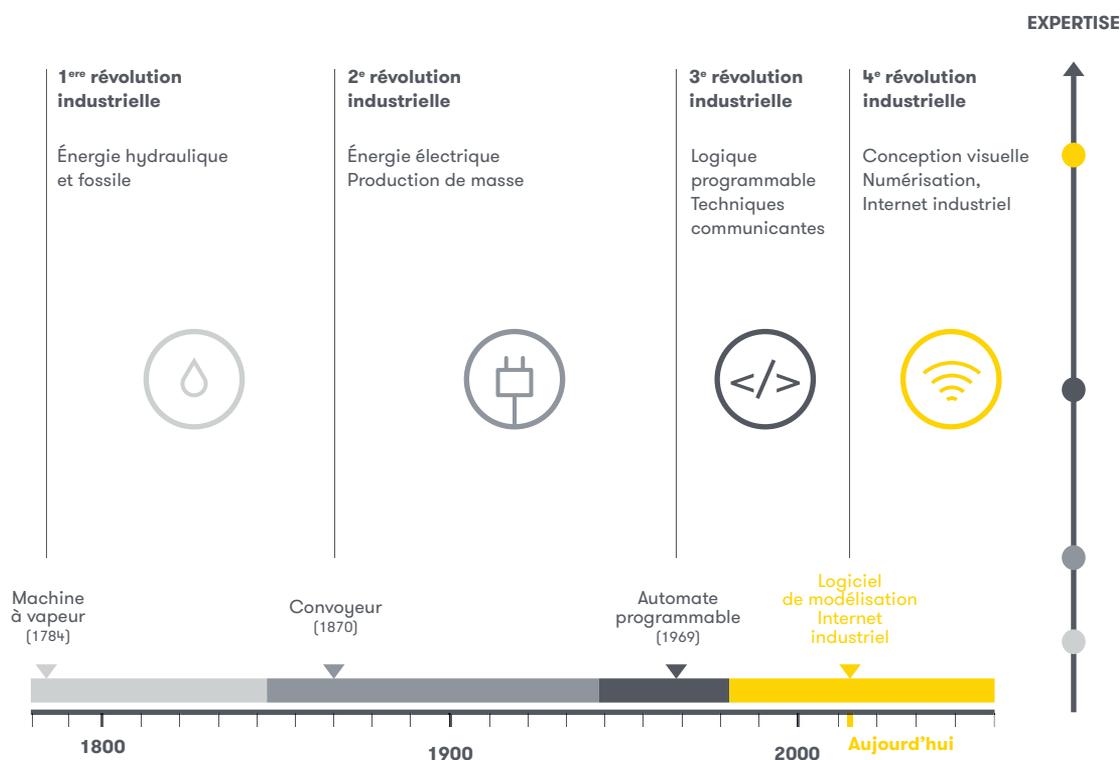
---

# Une révolution ?

**Industrie 4.0 fait référence à la quatrième révolution industrielle qui se déroule actuellement dans les entreprises manufacturières. Quel est le moteur de cette révolution ? Il s'agit en grande partie d'Internet.**

La réalisation de l'usine intelligente prend appui sur la communication en temps réel pour surveiller et agir sur les activités de l'entreprise. Les systèmes communiquent et coopèrent entre eux, mais également avec les humains, les produits et les machines. Ainsi, Internet connecte tous les «objets» de l'usine – employés, machines, produits, clients, fournisseurs, systèmes, etc.

GRAPHIQUE 1 4 révolutions industrielles

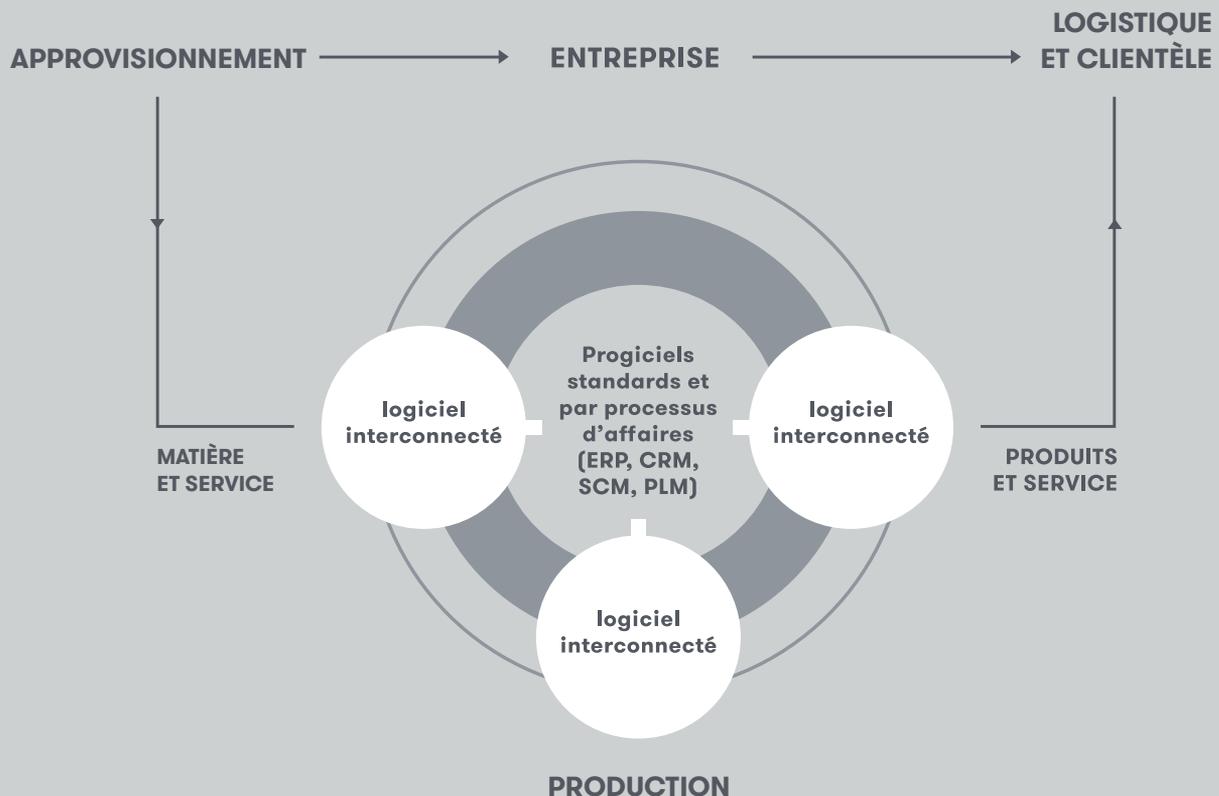




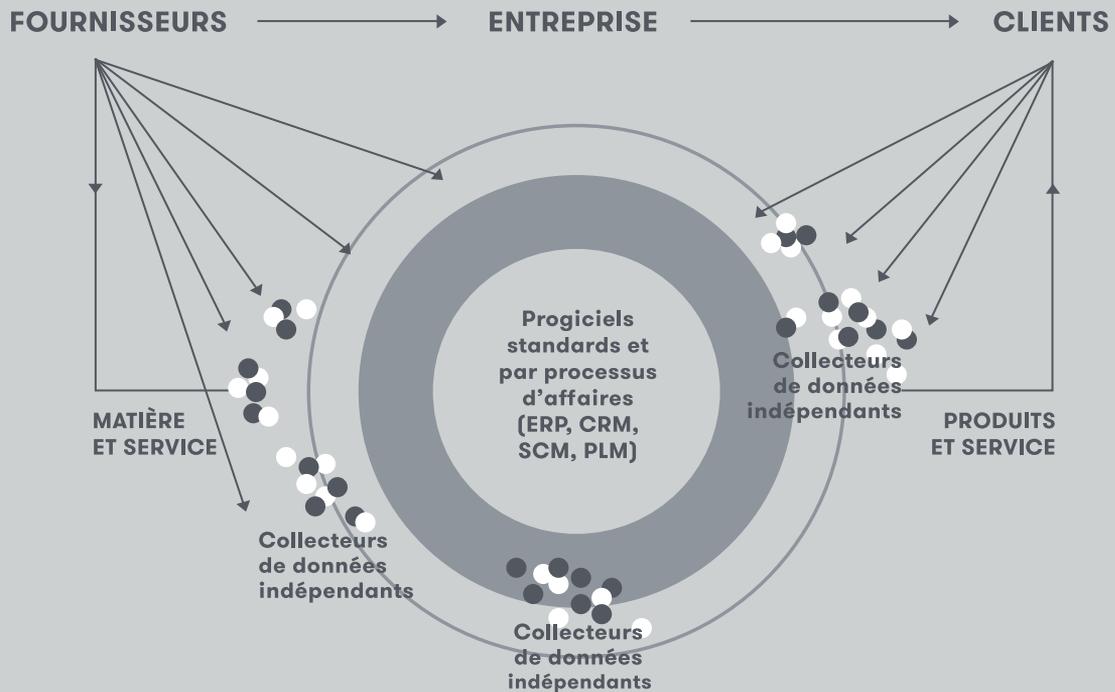
## AVANT 4.0 : LA QUÊTE DE LA PRODUCTIVITÉ

Pour bien comprendre l'apport de cette « révolution », pensons aux entreprises manufacturières d'aujourd'hui qui orientent leurs efforts autour du produit. L'entreprise gère une série d'activités et de processus qui minimalement sont : les achats, la fabrication, la livraison, la vente et le service après-vente du produit. Pour être plus efficaces, nos entreprises **standardisent** leur processus avec des progiciels (PLM, ERP, CRM) et font de l'amélioration continue. Les entreprises cherchent alors à faire des économies d'échelle, à réduire leurs coûts, à augmenter la qualité et leur efficacité, etc.

GRAPHIQUE 2 **La PME manufacturière d'aujourd'hui en quête de productivité, faire mieux avec moins.**



GRAPHIQUE 3 **La PME manufacturière en révolution, en quête d'agilité et de valeur ajoutée.**



#### APRÈS 4.0 : LA QUÊTE DE LA VALEUR AJOUTÉE

Aujourd'hui, les entreprises font face à une quantité d'information grandissante qui provient notamment :

- Du plancher de production (p. ex., données de machines, des logiciels de conception, de contrôle qualité, des employés, etc.)
- De leur chaîne d'approvisionnement (p. ex., variabilité des coûts des matières premières, temps de livraison, capacité des fournisseurs, etc.)
- De leur chaîne logistique (p. ex., commandes en préparation, déplacements, énergie, etc.)
- De leur environnement d'affaires (p. ex., médias sociaux, nouvelles tendances et besoins des clients, commandes prévisionnelles, etc.)

Et avec les moyens d'aujourd'hui :

- Les données issues du produit lui-même, comme de son environnement (p. ex., données biométriques d'un vêtement ou d'une montre intelligente, données d'usage d'un moteur, capteur de chaleur, de vibration, etc.)

Les entreprises souhaitent recueillir ces informations pour ajouter de la valeur à leurs activités, à leur modèle d'affaires. La révolution manufacturière aspire à capter en temps réel les perturbations, les variations, les changements de tendance, les nouveaux besoins des clients, et de générer des décisions rapides pour s'ajuster à ce contexte.

Suite à ces nombreux travaux, le CEFRIO est d'avis qu'un des aspects révolutionnaires d'Industrie 4.0 réside notamment dans son accessibilité. En effet, pour colliger et valoriser ces données, les entreprises ont dorénavant la possibilité d'utiliser des technologies et des techniques sophistiquées désormais plus abordables, pouvant être déployées plus rapidement que, par exemple, de grands systèmes d'information.

L'entreprise de cette quatrième révolution industrielle est en quête d'agilité. Le 4.0 permet de rechercher de la flexibilité dans les processus, une production plus personnalisée, des produits intelligents et, enfin, une bonification, voire la réinvention de l'offre commerciale.

### **Pour le CEFRIO, Industrie 4.0 est à la portée des PME compte tenu notamment que :**

- le passage vers Industrie 4.0 est itératif. C'est projet par projet qu'on arrive à tirer des gains de cette révolution.
- le passage vers Industrie 4.0 repose sur l'adoption de technologies et de techniques qui sont aujourd'hui plus abordables.

Industrie 4.0 pose plusieurs défis de taille aux PME. Nous y reviendrons, mais notons d'emblée que le premier défi est l'appropriation du numérique par la direction. Elle doit d'abord repérer les occasions de réaliser des gains par la technologie et, par la suite, mobiliser les expertises ainsi que les compétences de ses équipes pour déployer des initiatives de type 4.0.

The image shows a close-up of an industrial robotic arm in a factory. The arm is white and has a black sensor or camera mounted on its end. It is positioned over a work area. The background is filled with various industrial components, including pipes, cables, and structural elements. The entire image is overlaid with a semi-transparent yellow filter. The text 'Chapitre 2' is located in the upper right corner, and the main title 'Trois stratégies de transition vers Industrie 4.0' is centered in the middle of the image. A decorative horizontal line with a repeating diamond pattern is located near the bottom of the page.

Chapitre 2

# Trois stratégies de transition vers Industrie 4.0



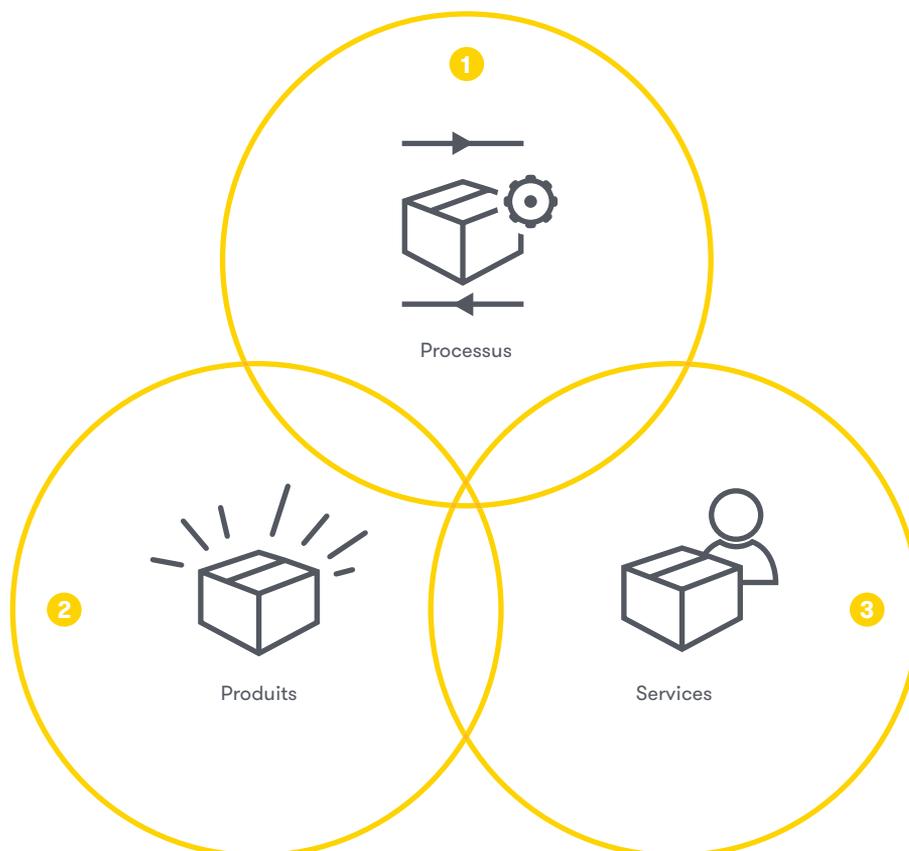
# Trois stratégies de transition vers Industrie 4.0

Pour le CEFRIO, si Industrie 4.0 est présentée comme une révolution auprès des entreprises manufacturières c'est qu'elle est porteuse d'occasions de transformation et de développement qui font rupture pour ce secteur. En effet, ces occasions vont jusqu'à changer les modèles d'affaires des fabricants qui intégreront alors une offre de service ou deviendront carrément des entreprises de service.

C'est d'abord sur le plan stratégique que la PME amorce son passage vers Industrie 4.0. Pour les entreprises industrielles, Industrie 4.0 propose trois grandes stratégies d'entreprise :

---

GRAPHIQUE 4 Trois stratégies de passage au 4.0



**1** Du côté des **PROCESSUS**, l'usine 4.0 s'appuie sur l'évolution des modes de production, passant de la production de masse à une production individualisée (lot unitaire). L'exploitation des données alimente des rétroactions, des décisions pour un processus flexible, qui s'adaptent, voire se reconfigurent pour répondre aux besoins du client. Les décisions de production sont ajustées en temps réel.

Il s'agit d'une évolution naturelle des technologies actuelles qui, étant plus abordables, se combinent et proposent une offre plus grande et moins contraignante dans leur déploiement. Il existe différents niveaux d'intégration de la technologie dans les entreprises manufacturières et des gains rapides et payants pour ces dernières sont donc possibles.

**2** Les **PRODUITS** connectés permettent la collecte de données en temps réels pour une réutilisation immédiate, ou ultérieure, des données. Ces dernières peuvent être utilisées dans le développement de nouveaux produits ou bien être analysées pour alimenter l'autonomie du produit dans son environnement. On parle alors de produits intelligents. Par exemple, la voiture autonome peut être considérée comme un produit intelligent, capable de s'adapter aux aléas de son environnement extérieur. Les données supportent alors l'ajout de nouvelles fonctionnalités au produit.

**3** La disponibilité des données alimente aussi le développement de nouveaux **SERVICES**. On tend ici vers une automatisation du service alimentée par des données captées notamment sur les produits. Cette stratégie d'entreprise permet le développement de nouveaux marchés pour les industries. Par exemple, un gant de golf connecté à un téléphone intelligent fournit un service à son utilisateur, à l'aide de l'analyse des données de jeu. L'utilisateur obtient des informations et des conseils techniques pour améliorer son jeu, le produit se transforme en service.

Bien que nous puissions distinguer trois stratégies pour l'entreprise, la différence entre produits intelligents et services peut parfois s'estomper. Ainsi, une classification dans l'une ou l'autre des catégories peut dépendre essentiellement de la stratégie de chaque entreprise.

Cette réflexion stratégique ouvre la porte à un autre constat. D'abord, si le terme Industrie 4.0 est réservé au monde de la production, le CEFRIO croit plutôt qu'il peut s'appliquer à l'ensemble de l'économie. En effet, des secteurs comme le commerce de détail, l'agriculture, mais aussi les services sont touchés par Industrie 4.0. Des décisions fondées sur des données captées en temps réel, voilà la quête notamment des détaillants qui souhaitent personnaliser leur effort marketing. C'est aussi celle des fermes plus connectées où, par exemple, les trajets des véhicules et les quantités de fertilisant qu'ils épandent dans les champs peuvent être entièrement optimisés, voire automatisés, en fonction de diverses données (rendement, analyse des sols, météo, etc.). Enfin, mentionnons aussi les banques qui ont recours à des modèles statistiques pour débusquer les fraudes sur les cartes de crédit et automatiser des appels de service auprès des clients.

#### 4.0 et la surveillance des processus manufacturiers

Le groupe Masonite est un fabricant de portes destinées aux marchés résidentiel, industriel et institutionnel. Son usine, qui produit 2 500 portes par semaine, a fait l'intégration de technologies pour surveiller ses processus. Ces projets ont été réalisés avec l'appui de Productique Québec et ont mis à profit des technologies québécoises. Pour répondre à des problématiques de sécurité, l'entreprise surveille et documente ses processus dès qu'un souci de sécurité se manifeste. La solution PoKa permet de diffuser une vidéo pour avertir du souci et ainsi accélérer son traitement. Pour caractériser les taux d'utilisation des équipements de production, plutôt que le travail des opérateurs, l'entreprise mesure désormais les temps à valeur ajoutée (TVA) des machines de production. Pour ce faire, des capteurs sont directement installés sur les machines. La captation des données et leur analyse reposent sur les solutions de Worximity.

#### 4.0, les processus de maintenance et le produit

En association avec le CCTT Techno Centre éolien, l'ITMI (Institut technologique de maintenance industrielle) a développé une solution logicielle qui permet d'optimiser le processus de maintenance opérationnelle pour les parcs éoliens du Québec.

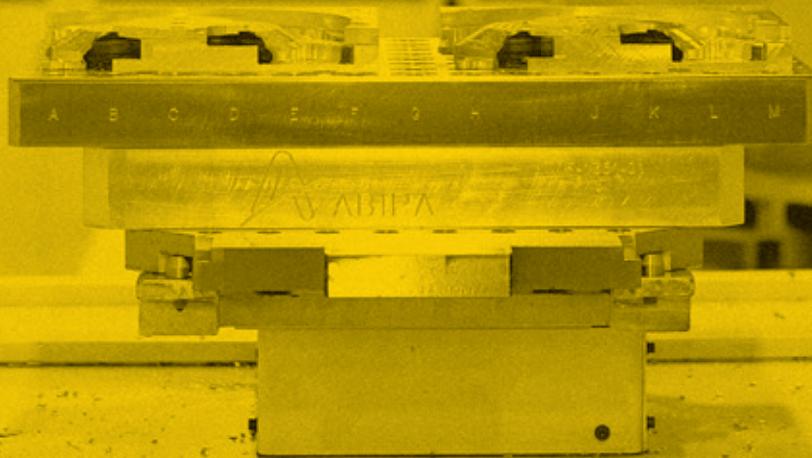
En s'appuyant sur la détection de bris ou de défaillances de fonctionnement grâce aux données issues de l'éolienne, le système notifiera l'opérateur de parc et lui proposera les meilleurs scénarios d'intervention pour réaliser la maintenance préventive, tout en tenant compte des éléments de l'environnement extérieur, la disponibilité des équipes, etc. À terme, c'est le produit qui sera plus intelligent. En effet, on vise à ce que le produit se mette en arrêt automatiquement pour éviter un bris plus important.

#### Le 4.0 : fabriquer un produit, vendre un service

L'entreprise québécoise Hexoskin propose le chandail « Smart Shirt » qui permet la mise à disposition des informations de santé personnelles et les rend accessibles pour analyse. Grâce aux capteurs directement intégrés au chandail, les données biométriques sont enregistrées et consultables sur un téléphone intelligent. Différents utilisateurs finaux emploient ce produit, tels que les athlètes de haut-niveau, les agences spatiales, les organisations gouvernementales, etc.

# Quatre niveaux de capacité du 4.0

---



# Quatre niveaux de capacité du 4.0

Le CEFRIO a mené une réflexion sur Industrie 4.0 dans le but de proposer des orientations inspirantes et applicables aux PME manufacturières du Québec. Voilà pourquoi ce document insiste sur le fait que le déploiement du 4.0 de la PME ne vise pas nécessairement l'introduction massive de technologies dans le but d'atteindre l'autonomie complète d'un processus ou même d'une usine. **Les stades qui précèdent l'automatisation sont aussi porteurs de valeur pour la PME.**

La transformation vers Industrie 4.0 peut être progressive. Des efforts peuvent être consentis en premier lieu à l'atteinte des gains les plus accessibles. Ces gains potentiels peuvent provenir d'enjeux qui sont récurrents sur un plancher de production, comme un besoin d'efficacité pour répondre à des requêtes des clients. Il faut cerner des zones ou des activités pour lesquelles une initiative 4.0 peut être profitable et ensuite définir la portée de cette dernière.

GRAPHIQUE 5 Quelle portée attribuer à une initiative 4.0 ? (Porter et al, 2012)



Les quatre niveaux de capacité varient du plus simple au plus ambitieux (Porter et autres, 2012). Ainsi, les capacités de surveillance constituent la base pour permettre le contrôle et, similairement, la surveillance et le contrôle sont essentiels pour permettre l'optimisation. Enfin, la surveillance, le contrôle et l'optimisation sont nécessaires pour atteindre une autonomie du processus ou encore du système, comme illustré dans le graphique 5.

**La surveillance :** Les systèmes intelligents et connectés permettent une surveillance de l'état global ou du fonctionnement d'un produit, d'un processus et de son environnement extérieur grâce à des capteurs et aux sources de données extérieures. Ainsi, le système peut émettre des alertes en cas de changement de situation ou de performance pour avertir des utilisateurs ou d'autres systèmes.

Cette surveillance permet de suivre l'évolution des caractéristiques du système, de son environnement et construit un historique qui peut éclairer une éventuelle prise de décision. Il s'agit du point d'entrée pour la mise en place des autres capacités. En effet, la première étape consiste à comprendre le « comportement » d'un produit, d'une activité, d'un système, etc.

**Le contrôle :** Fondés sur un historique de données, des « comportements types » sont décelés. Les systèmes ou le produit peuvent alors être contrôlés à distance. Des algorithmes par exemple, permettent de déceler des situations où une ou des décisions sont requises. La capacité de contrôle permet à l'utilisateur d'interagir avec le système pour corriger, personnaliser ou améliorer des performances à venir du processus ou du produit.

**L'optimisation :** Le riche flux de données de surveillance disponible à partir de systèmes intelligents connectés, associé à la capacité de contrôler le fonctionnement du système, permet aux entreprises d'optimiser les performances des systèmes en replanifiant en temps réel diverses fonctions de l'entreprise (approvisionnement, contrôle de la qualité, production, distribution ...) en réaction aux différents aléas qui bouleversent les opérations courantes.<sup>2</sup> Les entreprises peuvent ainsi mener des analyses sur l'historique d'utilisation ou de fonctionnement et appliquer diverses techniques d'optimisation et de simulation afin d'améliorer considérablement le fonctionnement de chacun des systèmes.

**L'autonomie :** Les capacités de surveillance, de contrôle et d'optimisation se combinent pour permettre aux systèmes intelligents et connectés un niveau d'autonomie encore jamais atteint auparavant. Ces systèmes sophistiqués sont capables d'apprendre de leur environnement, d'autodiagnostiquer leurs propres besoins et de s'adapter aux préférences de l'utilisateur.

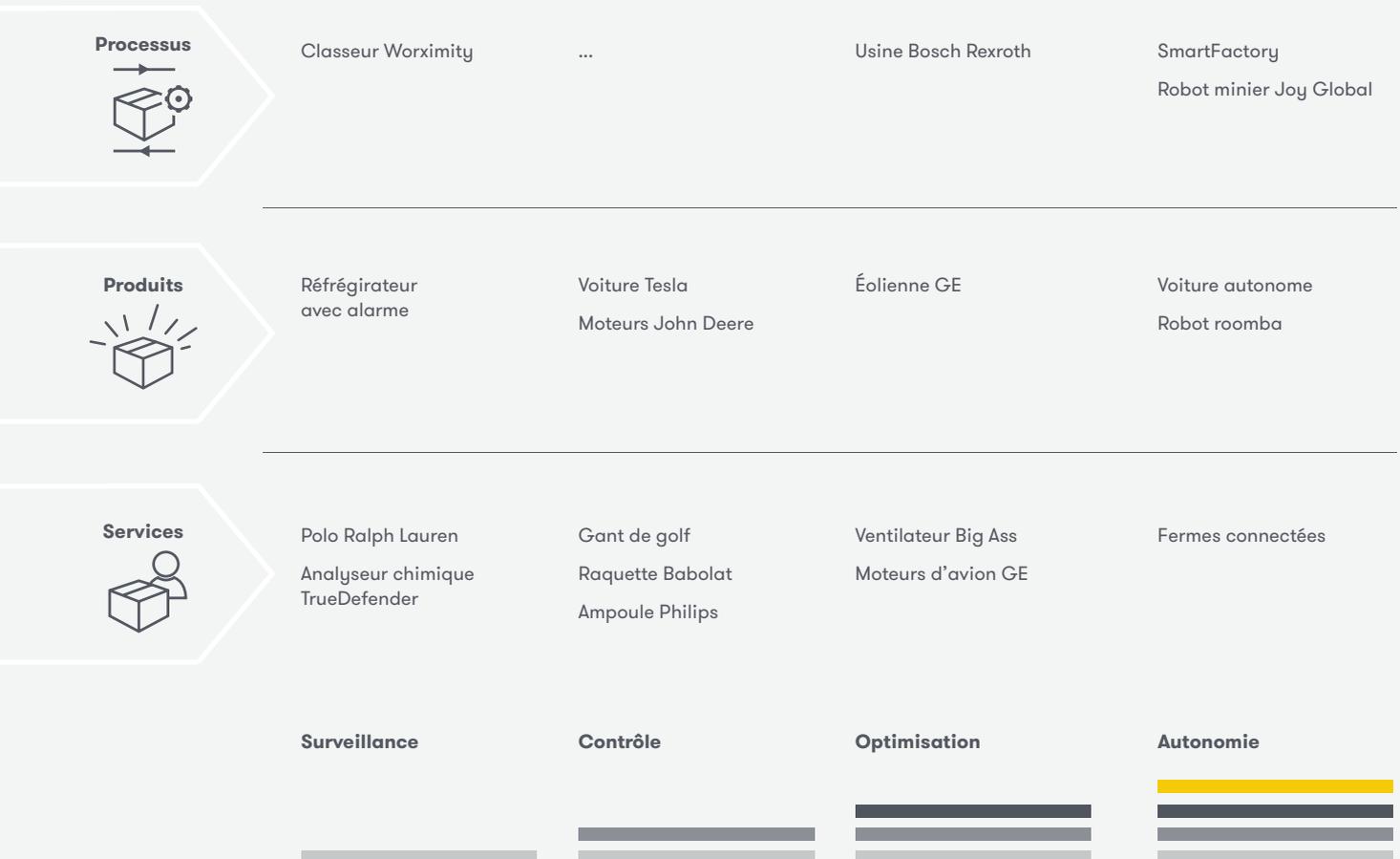
Ces systèmes autonomes peuvent agir en coordination avec d'autres produits ou systèmes de leur environnement. On retrouve alors des systèmes capables de prendre des décisions en temps réel, tout en tenant compte de leur environnement.

**Le passage vers Industrie 4.0 débute par un choix stratégique et est alors suivi d'une réflexion sur les « zones » ou plutôt les processus où résident des gains potentiels d'une initiative 4.0.**

**Enfin, notons que la condition sine qua non d'une initiative 4.0 est la disponibilité de la donnée. En effet, la surveillance d'une activité ou d'un processus débute lorsque les données sont accessibles.**

<sup>2</sup> SAENZ DE UGARTE, PELLERIN, R. et ARTIBA, A. (2009), "Manufacturing Execution System - A literature review", Production Planning and Control, Vol. 20, No. 6, pp. 525-539.

## GRAPHIQUE 6 Matrice : stratégies et capacité du 4.0



## Progresser vers le 4.0

Ces capacités sont successives et reflètent des niveaux de maturité d'Industrie 4.0. Le dernier niveau ne constitue pas le niveau à atteindre à tout prix ; une PME doit choisir la portée de son initiative. Par exemple, pour le contrôle d'un de ses produits, une entreprise choisira quand elle veut signaler aux clients qu'il est temps de faire la maintenance du produit en fonction des heures réelles d'utilisation. Cette entreprise planifiera une initiative 4.0 qui débutera par

la collecte des données pertinentes pour développer une capacité de surveillance et, graduellement, travaillera à définir et à mettre en place des « points » de contrôle. Ces points généreront différentes alarmes auxquelles seront associées des actions précises (p. ex., appel de service au client, envoi d'un technicien chez le client, commande de pièces de recharge, etc.).



Il en sera de même pour une entreprise manufacturière qui cherchera à diminuer le temps consacré à la planification de ses opérations ou à la mise en place d'un processus d'ordonnancement plus réactif. Pour ce faire, les données de suivi doivent être collectées de diverses sources pour permettre d'évaluer l'état des ressources de production en temps réel ainsi que le respect ou non des objectifs en cours (p. ex., état d'une machine, consommation de matériel, avancement d'un ordre de fabrication, durée de mise en

marche, durée de l'opération, etc.). Une surveillance constante permettra de dégager certaines tendances en plus de détecter des alertes et des exceptions. Un modèle de prise de décision peut alors être développé pour générer en temps réels un réordonnancement de la production. Un modèle d'ordonnancement peut aussi être développé pour prendre en compte divers aléas (commandes imprévues, retards de matière première, etc.) qui échappent très souvent aux progiciels de gestion.



Chapitre 4

# Les dix groupes technologiques du 4.0



Les technologies qui se conjuguent dans cette révolution industrielle ont fait l'objet d'un bon nombre de publications, dont celle qui inspire notre référentiel de technologies. (BCG 2015). Nous organisons ici les leviers de la révolution manufacturière en dix groupes technologiques, c'est-à-dire un ensemble de technologies, de pratiques et de techniques<sup>3</sup> :

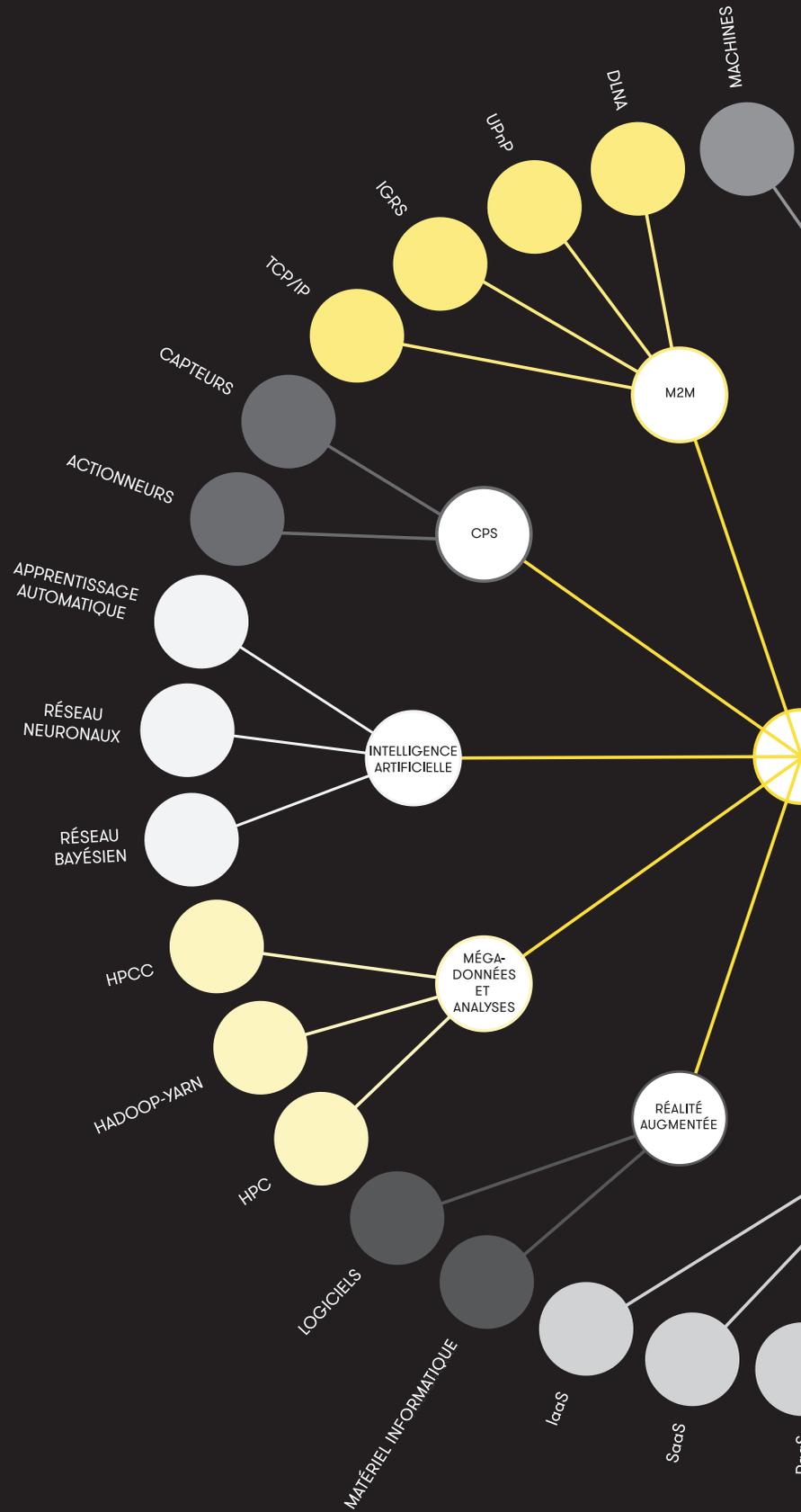
- 1. les systèmes cyberphysiques,**
- 2. l'Internet des objets,**
- 3. l'infonuagique (Cloud Computing),**
- 4. les sciences des données (Big Data),**
- 5. la cybersécurité,**
- 6. les robots/machines autonomes,**
- 7. la réalité augmentée,**
- 8. les systèmes de simulation,**
- 9. les technologies de communications entre machines (Machine-to-Machine),**
- 10. l'intelligence artificielle.**

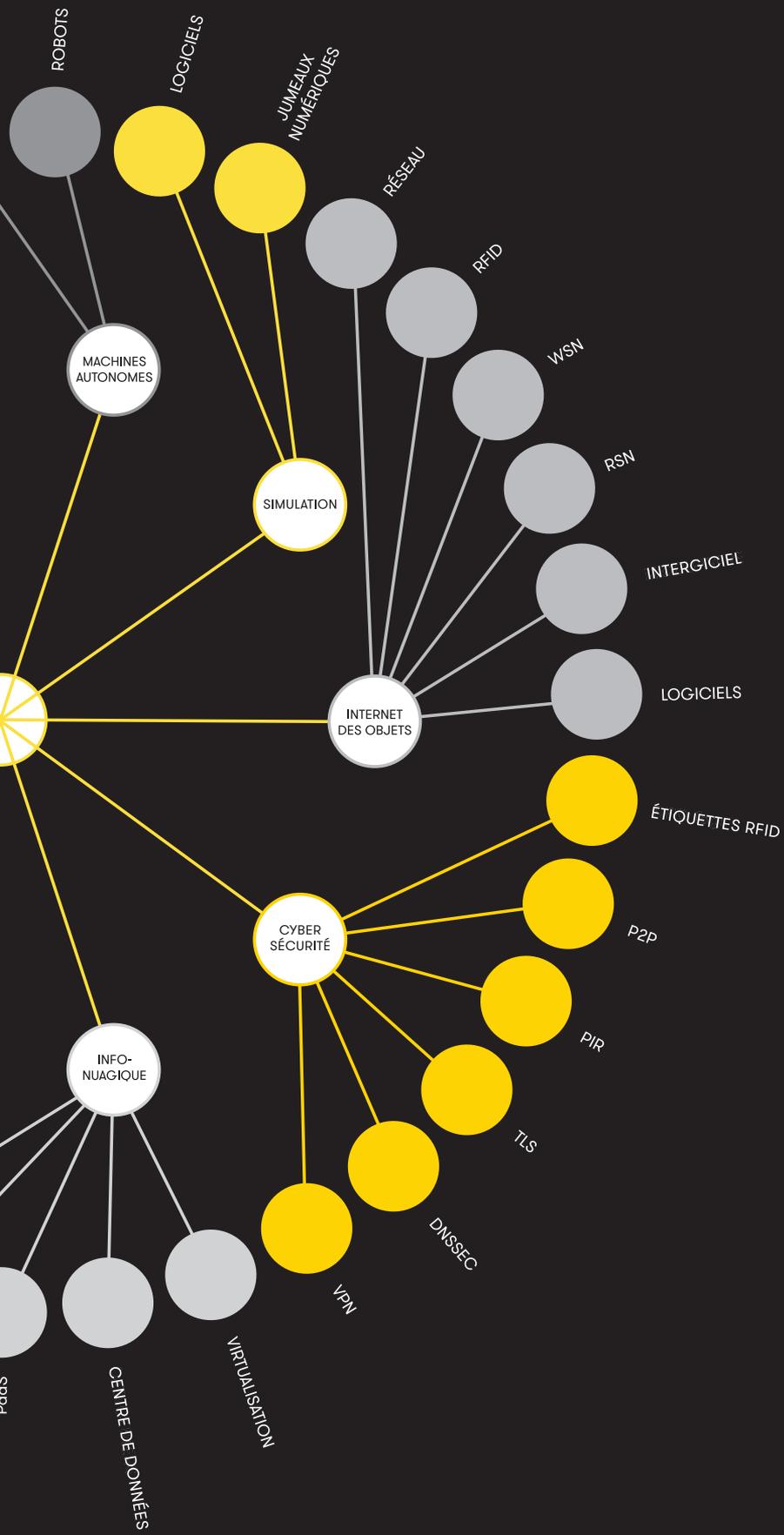
Ici encore, il ne faut pas croire que toutes les technologies doivent nécessairement être mises en œuvre. Ce sont des « combinaisons de technologies » qui sont déployées pour répondre à un besoin précis, défini par la stratégie de la PME. Par exemple, une PME qui souhaite développer des capacités de surveillance et de contrôle d'un produit fera appel à l'Internet des objets, la cybersécurité et l'infonuagique dans un premier temps. Par la suite, elle développera, à partir des données collectées, un niveau de contrôle grâce à l'intégration et à la maîtrise des technologies liées aux mégadonnées.

Ces combinaisons de technologies et de techniques supposent la présence d'un ensemble d'expertises rarement présent dans une PME. Une entreprise devra voir à s'associer à des collaborateurs externes, voire à établir un partenariat pour combler ses lacunes. Cependant, elle devra aussi s'assurer du développement de ses propres compétences et de son autonomie au fil de sa transition vers Industrie 4.0, pour que ses employés soient plus compétents et mobilisés dans la transformation numérique.

<sup>3</sup> On notera que la fabrication additive n'apparaît pas ici comme un concept technologique pour Industrie 4.0, mais constitue un procédé de fabrication au même titre que les machines-outils ou les robots.

GRAPHIQUE 7 Concepts technologiques et technologies de soutien - inspirée de (BCG, 2015)





Chapitre 5

# Feuille de route de la PME et conditions de succès du 4.0



## En résumé, voici la feuille de route du passage au 4.0 que propose le CEFRIO. Ce plan se veut itératif et progressif.

### A. Planifier la transition de l'entreprise vers le 4.0

1. Définir la stratégie de transition vers le 4.0 (processus, produit, service) et le plan numérique qui permet de l'opérationnaliser.
2. Sélectionner une ou des activités susceptibles d'être améliorées par le numérique.
3. Définir la portée d'une première initiative 4.0 (surveillance, contrôle, optimisation et automatisation) réaliste et accessible.

### B. Progresser vers le 4.0 - Réalisation d'initiatives

4. Faire le choix des technologies et des techniques à déployer, repérer les expertises.
5. Déployer l'initiative.

### C. Améliorer et poursuivre la progression

6. Mesurer les gains et lancer la prochaine initiative.

Certaines conditions doivent être réunies pour réaliser une transition vers Industrie 4.0. Elles sont implicites dans cette feuille de route, mais elles méritent d'être davantage détaillées.

Les PME qui transitent vers le 4.0 sont caractérisées par :



# A

## Planifier la transition de l'entreprise vers le 4.0

Un des grands défis du passage au 4.0 pour l'économie québécoise est de sensibiliser les dirigeants de PME à la question du numérique. Le rôle de la direction dans Industrie 4.0 va au-delà d'une décision d'investissement. Dans le passage au 4.0, la direction doit notamment :

- Définir la vision et les principes auxquels se rapporteront les initiatives.
- Encourager, banaliser et réguler l'usage du numérique dans l'entreprise.
- Soutenir adéquatement les initiatives par des investissements conséquents aux objectifs et en appuyant le travail des équipes responsables.
- Convaincre, rassurer et jouer un rôle d'ambassadeur de la transformation.
- Se donner les moyens de soutenir la collaboration, l'expérimentation et l'entrepreneuriat à même ses équipes.
- Repérer les expertises à acquérir et réaliser des partenariats qui viendront compléter les forces de l'équipe et qui amèneront l'entreprise plus loin.
- Multiplier les collaborations avec les clients et les fournisseurs, facilitant ainsi les projets interentreprises et la contribution directe de clients dans le processus d'innovation.
- Informer régulièrement les employés de la position de l'entreprise sur la transformation induite par les initiatives.

# B

## Progresser vers le 4.0 - Réalisation d'initiatives

Le déploiement d'une stratégie 4.0 suppose la mobilisation et la collaboration des employés pour ainsi fonder ces initiatives sur une connaissance fine des activités, des processus ou encore des produits de l'entreprise. La transition vers le 4.0 tire profit de la participation des usagers de systèmes, des logiciels ou encore des machines pour ainsi concevoir les améliorations, mais aussi assurer une adoption technologique éventuelle.

Les compétences numériques sont à la fois des compétences techniques, des compétences collaboratives et des compétences analytiques. Le développement et l'augmentation du capital de compétences numériques est un condition du passage au 4.0. La gestion de projets 4.0 doit s'alimenter des compétences de plusieurs équipes et, en clair, ne repose pas que sur la seule compétence du personnel TIC.

Enfin, les entreprises doivent développer leur autonomie pour leurs affaires numériques. Le dirigeant engagé dans sa transition peut être secondé par des experts externes, mais doit veiller au développement de ses employés dans ces projets et ces collaborations. L'entreprise doit gagner en maturité numérique, donc faire un bon usage du numérique et être un terreau fertile d'expérimentation et d'adoption de la technologie.



## Améliorer et poursuivre la progression

Le leadership et les compétences doivent être catalysés par une démarche plus formelle de planification, d'expérimentation et d'adoption de la technologie. La PME doit développer son propre dispositif d'initiatives 4.0, soit une équipe de projet relativement agile qui est soutenue par la direction, encadrée par des pratiques de gestion (calendrier, objectifs, étapes de validation avec la direction, etc.), pilotée par un ou des chargés de projet, et qui se nourrit de la contribution et de la collaboration des membres.

Parce que la transition vers Industrie 4.0 se fait projet par projet, la PME doit impérativement améliorer sa capacité à les gérer. Trop souvent les projets numériques des PME sont relayés derrière d'autres priorités de l'entreprise. La mise en place d'une démarche plus formelle est un rappel de la vision de la direction, des objectifs de l'entreprise. Un dispositif formel de projet documente ces initiatives, assure une continuité entre elles et soutient ainsi la feuille de route du passage au 4.0 de la PME.

En somme, le CEFRIO propose aux PME une démarche d'excellence numérique qui vise l'amélioration par le numérique des processus, des produits et des services. La réalisation de la feuille de route du 4.0 repose ainsi sur une démarche systématique qui n'est pas sans rappeler l'excellence opérationnelle. L'entreprise progresse vers Industrie 4.0 en déployant une approche structurée grâce à laquelle sont collectées, analysées et valorisées des données dans des projets d'amélioration de la productivité.

### Planification numérique et stratégique

*Vision, porté souhaitée, priorisation des initiatives, partenariat, lancement du dispositif de projet.*

## Initiative

### Mise en commun et cartographie

*Maturité du processus (outils et compétences) problèmes et goulots.*

### Options de solutions

*Repérer les données requises / développer une ou des pistes de solutions.*

### Planification de projet

*Repérer les expertises, monter le projet (budget, calendrier).*

### Validation

*de la direction requise au besoin.*

### Réalisation

*Équipes projet et, au besoin, collaborateurs externes en action.*

### Mise à l'échelle et mesure

*Équipes projet et, au besoin, collaborateurs externes en action.*

# En route vers l'excellence numérique

Est-ce que toutes les entreprises peuvent entreprendre une démarche 4.0 ? A priori, on est porté à croire que la fondation d'Industrie 4.0 est la présence de progiciels et de données centralisées. Si ces éléments sont très certainement des facilitateurs, ils ne sont pas systématiquement présents chez les PME qui font le saut vers le 4.0. Par exemple, les activités de livraison d'une petite entreprise peuvent faire l'objet de projet de type 4.0 : installer des capteurs sur les camions pour suivre et optimiser les déplacements ou encore assurer une maintenance de la flotte en fonction des heures réelles d'utilisation, etc.

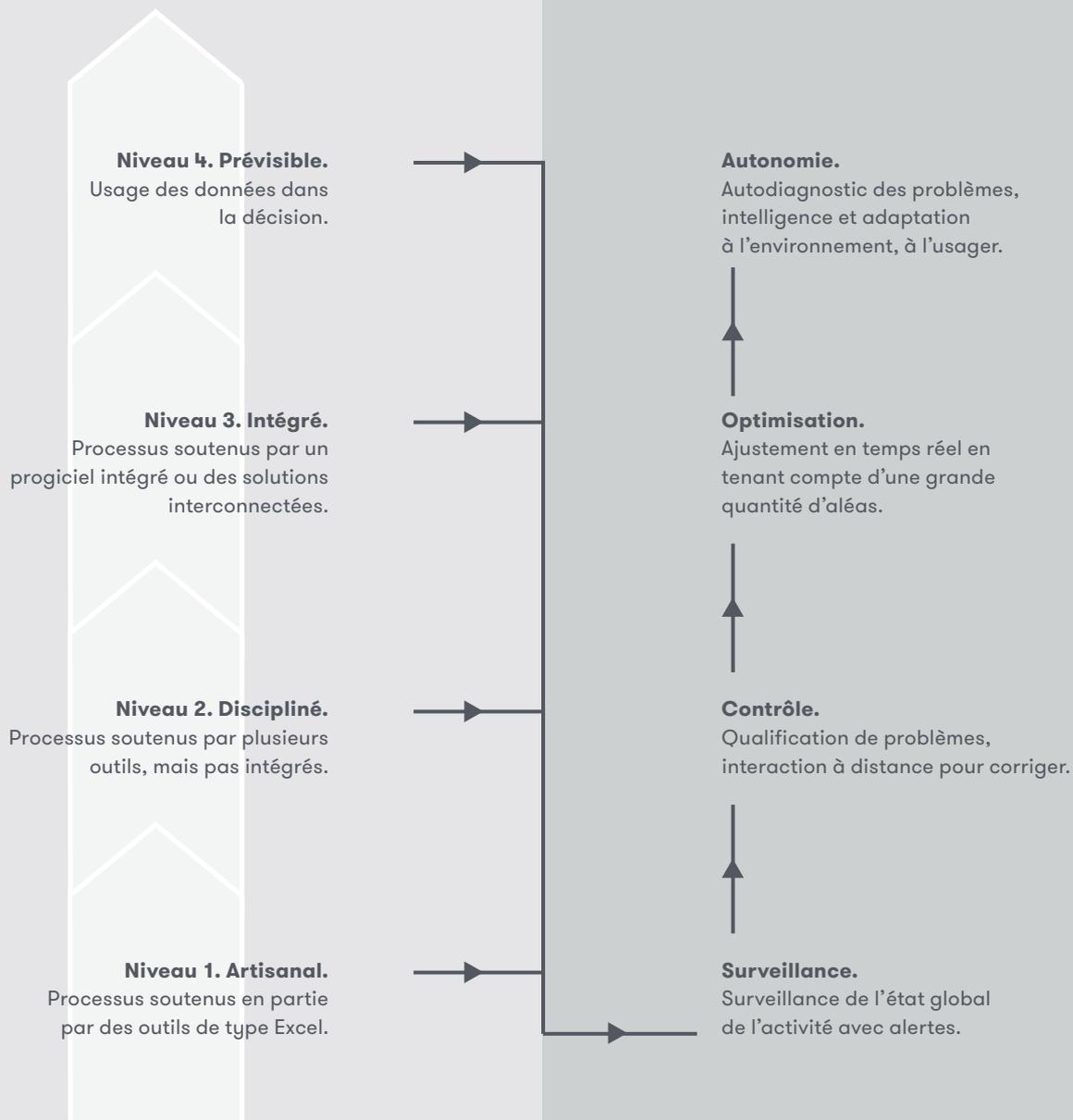
Ainsi, Industrie 4.0 peut alors cohabiter avec des niveaux de maturité moins élevés. À l'inverse du déploiement des progiciels, ce n'est pas toute l'entreprise qui est nécessairement amenée à faire le bond vers Industrie 4.0.

Certes une certaine maturité sur le plan des données est requise, la fondation commune des entreprises qui font le saut vers le 4.0 est probablement la présence d'un certain leadership numérique, de compétences numériques internes et d'une approche projet par projet relativement formalisée.

La révolution manufacturière est à la portée des PME. Son déploiement est itératif et les technologies sont accessibles. Le défi est alors d'amener les dirigeants à réfléchir sur l'avenir de leur entreprise et des occasions que peut leur apporter le numérique. Ces derniers doivent se décroiser et s'inspirer de leurs pairs, multiplier les collaborations et changer leur culture d'entreprise. Ils doivent engager leur entreprise sur la transformation numérique. La quatrième révolution prendra forme dans les entreprises qui auront accepté cette transformation nécessaire et qui auront su la tourner à leur avantage.

# Niveau de maturité industrie 1.0, 2.0 et 3.0

(Cefrio 2015)



# Court référentiel des technologies du 4.0\*



## MÉGADONNÉES ET ANALYSE (BIG DATA) :

Les données massives, ou mégadonnées, et leur analyse, visent à traiter d'énormes volumes de données de sources et de formats variés afin d'en dégager un sens et prendre de meilleures décisions. Par exemple, les données en temps réel collectées à partir du GPS de téléphones intelligents, de caméras et feux de circulation, de bulletins météorologiques et même de médias sociaux, fournissent un ensemble de données variées permettant de prévoir les embouteillages et de proposer le meilleur itinéraire. Dans le paradigme Industrie 4.0, ces données peuvent provenir du processus, du produit ou des informations clients. On peut s'appuyer sur différentes ressources telles que : HPC (*High-Performance Computing*), HPC (High-Performance Computing Cluster) et la plate-forme HADOOP-YARN.

## L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'intelligence artificielle (IA) est définie par Minsky comme étant « la construction de programmes informatiques qui s'adonnent à des tâches qui sont, pour l'instant, accomplies de façon plus satisfaisante par des êtres humains, car elles demandent des processus mentaux de haut niveau tels que : l'apprentissage perceptuel, l'organisation de la mémoire et le raisonnement critique ». Dans le contexte d'Industrie 4.0, l'IA peut être appliquée à la prise de décision et promet, par exemple, de prendre en charge le pilotage des machines du processus de production. Différentes ressources peuvent être évoquées, comme les réseaux neuronaux, l'apprentissage automatique et les réseaux bayésiens.

## L'INFONUAGIQUE (CLOUD)

L'infonuagique est un modèle qui permet un accès ubiquitaire à des ressources informatiques partagées (réseaux, serveurs, stockage, applications et services) (NIST 2011). L'infonuagique permet d'externaliser la gestion de l'infrastructure informatique et d'en réduire les coûts. Dans le contexte d'Industrie 4.0, l'infonuagique facilite le partage de données entre sites ou systèmes. Même les données et les fonctionnalités liées à la production, à la surveillance et au contrôle des processus pourront être déployées dans l'infonuagique. Parmi les ressources utilisées qui mènent à la virtualisation des infrastructures, notons : *Infrastructure as a service (IaaS)*, *Software as a Service (SaaS)*, *Platform as a Service (PaaS)*, les centres de données (*data centers*).

## INTERNET DES OBJETS, IDO (INTERNET OF THINGS, IOT)

L'internet des objets est défini par le projet de norme ISO/IEC 30141 comme étant une infrastructure d'interconnexion d'entités physiques, de systèmes, de sources d'information et de services intelligents, capable de traiter des informations du monde physique et du monde virtuel, et d'influer sur les activités du monde physique. Pour Industrie 4.0, l'IdO permet de connecter une immense variété de ressources numériques et physiques, embarquées ou non. Le réseau ainsi formé permet de décentraliser la prise de décisions et de réagir en temps réel au niveau des SCP. L'IdO utilise des technologies telles que les puces RFID, les réseaux (WSN, RSN), les intergiciels (*middlewares*), les logiciels.

## LES SYSTÈMES CYBERPHYSIQUES (CYBER-PHYSICAL SYSTEMS, CPS)

Les systèmes cyberphysiques sont des mécanismes capables d'échanger des informations de manière autonome, de déclencher des actions et de se contrôler mutuellement [Kagermann et autres, 2013]. Les SCP constituent des nœuds mis en réseau par l'IdO. Pour Industrie 4.0, les SCP intègrent des capteurs, des éléments logiciels et de communication, ainsi que des actionneurs, permettant de surveiller et d'agir en temps réel sur le monde physique.

## CYBERSÉCURITÉ

La connectivité et l'utilisation de protocoles standards de communication amenés par Industrie 4.0 font naître un risque critique de cybersécurité. En effet, l'échange de données industrielles et le contrôle à distance de systèmes de production imposent de prendre des mesures de sécurité accrues. On peut ainsi s'appuyer sur des protocoles de communication fiables et éprouvés ainsi que contrôler les accès utilisateurs aux systèmes de pilotage et aux machines.

Voici donc les technologies de soutien : RPV, P2P, PIR, TLS, DNSSEC, étiquettes RFID...

## MACHINES AUTONOMES

Depuis longtemps, les machines sont utilisées sur le plancher de production pour accomplir des tâches complexes programmées. Désormais, les machines deviennent plus autonomes, flexibles et coopératives. Si bien qu'elles ont pour but d'interagir les unes avec les autres et d'apprendre par elles-mêmes. Certains robots vont même jusqu'à interagir avec les humains de façon sécuritaire.

## LA COMMUNICATION INTERMACHINES (M2M)

Les technologies de communication intermachines se développent grâce au nombre accru de systèmes et de machines autonomes. Les technologies M2M se basent directement sur les protocoles et les technologies standards de communication pour créer des réseaux de parc-machines et de systèmes.

Le M2M s'appuie sur les technologies telles que : les protocoles TCP/IP, IGRS, UPnP, DLNA...

## SIMULATION

Bien que de nombreuses simulations 3D existent déjà dans les phases d'ingénierie, la simulation ici fait référence à la capacité de simuler l'intégralité des opérations du plancher de production. Ces simulations sont le miroir virtuel du monde physique, soit les machines, les produits et les humains. Ces simulations permettent ainsi aux opérateurs de tester et d'optimiser le paramétrage machine pour les produits futurs avant d'effectuer les changements dans le monde réel. Cela permet de diminuer les temps de réglage machine et d'augmenter le taux de qualité.

Voici les principales technologies de soutien : les jumeaux numériques, les logiciels de simulation.

## LA RÉALITÉ AUGMENTÉE

Les systèmes basés sur la réalité augmentée supportent de nombreux services pour la formation ou bien les études de capacité d'assemblage dans sa forme actuelle. Industrie 4.0 propose une nouvelle déclinaison de cette technologie avec la capacité pour les opérateurs de recevoir des informations en temps réel et ainsi faire évoluer les instructions de travail ou bien encore améliorer la prise de décisions.

L'impact attendu de la mise en œuvre de ces technologies pourra, selon les cas, redéfinir la manière de surveiller, de contrôler, d'optimiser ou encore de rendre autonome les produits, les processus ou les services d'Industrie 4.0.

Organisme de recherche et d'innovation, le CEFRIO accompagne les organisations publiques et privées dans la transformation de leurs processus et pratiques d'affaires par l'appropriation et l'utilisation du numérique. Membre de QuébecInnove, le CEFRIO est mandaté par le gouvernement du Québec afin de contribuer à l'avancement de la société québécoise par le numérique. Il recherche, expérimente, enquête et fait connaître les usages du numérique dans tous les volets de la société. Son action s'appuie sur une équipe expérimentée, un réseau de plus de 90 chercheurs associés et invités ainsi que l'engagement de près de 200 membres. Son principal partenaire financier est le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI).

Dépôt légal :  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
Bibliothèque et Archives Canada  
ISBN : 978-2-923852-68-3

#### **Québec**

888, rue Saint-Jean  
Bureau 575,  
Québec (Québec)  
G1R 5H6  
Canada

Téléphone:  
418 523-3746

#### **Montréal**

550, rue Sherbrooke Ouest  
Bureau 1770, Tour Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 1B9  
Canada

Téléphone:  
514 840-1245



Principal partenaire financier

**Économie, Science  
et Innovation**

**Québec** 