



# CHAIN

***Industrie 4.0 :  
une Approche  
Globale – Principales  
Caractéristiques et  
Impacts sur les PME***

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## Partenaires du projet



## Editeur :

*Bojan Jovanovski, FH JOANNEUM*

## Editeur technique :

*Clarissa Maierhofer, FH JOANNEUM*

## Auteurs (dans l'ordre alphabétique)

*Admira Boshnyaku, European Center for Quality Ltd.*

*Bojan Jovanovski, FH JOANNEUM*

*Clemens Fischer, FH JOANNEUM*

*Denitsa Seykova, European Center for Quality Ltd.*

*Emilie Chapotot, ESTIA*

*Fernando Sousa, AidLearn*

*Martin Tschandl, FH JOANNEUM*

*Vítor Hugo Ferreira, Polytechnique de Leiria*

## Traduction (dans l'ordre alphabétique)

*Chloé Morel, ESTIA*

*Christophe Merlo, ESTIA*

*Emilie Chapotot, ESTIA*

## Nom du projet

Changer les modèles d'affaires des PME par l'industrie 4.0 (*Changing SME business by industry 4.0*)

## Acronyme du projet

Projet Chain (*Chain Project*)

**Identifiant du projet**

Projet No 2018-1- PT01-KA203-047330

**Durée de projet**

01.11.2018 – 31.10.2020

**Évaluateurs (dans l'ordre alphabétique)**

*António José da Silva Pina, CTP - Portugal Tourism Confederation*

*Emmanuel DUC, SIGMA Clermont*

*Ileana Pardal Monteiro, APGICO - Portuguese Association of Organisational Creativity and Innovation*

*Michael Georg Grasser, Medical University of Graz*

*Nikolaus Dontscheff, EATON Corporation*

*Vitaliy Mezhuyev, University Malaysia Pahang*



*Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification*

*CC BY-NC-ND*

*Cette licence est la plus restrictive de nos six licences principales, n'autorisant les autres qu'à télécharger vos œuvres et à les partager tant qu'on vous crédite en citant votre nom, mais on ne peut les modifier de quelque façon que ce soit, ni les utiliser à des fins commerciales.*



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

Ce projet a été financé dans le cadre des programmes Erasmus + de l'Union Européenne.

Le soutien de la Commission européenne à la production de cette publication ne constitue en aucun cas une approbation de son contenu qui ne reflète que l'opinion de ses auteurs. La Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qui y figurent.

## TABLE DES MATIÈRES

Abréviations et Acronymes	6
1. Introduction	1
2. Théorie de l'innovation et de la Révolution technologique	4
2.1 Les Révolutions technologiques	5
2.2 L'âge de l'information	8
2.3 Et maintenant, où allons-vous ?	9
3. Industrie 4.0 : définitions	11
3.1 Numérisation and Digitalisation	12
3.2 L'Industrie 4.0	14
4. Transformations Technologiques et Organisationnelles	16
4.1 Innovation Organisationnelle	16
4.2 Les Transformations issues de l'Industrie 4.0	19
4.2.1 L'impact des investissements TIC dans l'entreprise – un état de l'art synthétique	19
4.2.2 Les Clients	22
4.2.3 Processus et chaîne de valeur	22
4.2.4 Les Produits	24
4.2.5 Décisions/Organisation	24
4.2.6 Les changements pour la main d'oeuvre	26
5. Innovation et Nouveaux Modèles Économiques	31
5.1 Modèles économiques : définitions	31
5.2 Modèles économiques pour l'innovation	32
5.3 Evolution des modèles économiques pour l'industrie 4.0	33
5.4 Nouveaux types de modèles économiques pour l'industrie 4.0	35
6. Impacts sur les PME	43
6.1 Bénéfices de l'implémentation de l'industrie 4.0	44
6.2 Obstacles rencontrés par les PME lors de l'implémentation de l'industrie 4.0	48
7. Conclusion	53
Glossaire	56
8. Références	59

8.1	Chapitre 1 - Introduction	59
8.2	Chapitre 2 – Théorie de l’innovation et de la Révolution Industrielle	59
8.3	Chapitre 3 – Définition de l’Industrie 4.0	60
8.4	Chapitre 4 – Transformation technologique et organisationnelle	62
8.5	Chapter 5 - Innovation et nouveaux modèles d’affaires	65
8.6	Chapitre 6 – Impacts sur les PME	67
8.7	Glossaire	68

## Abréviations et Acronymes

IA	Intelligence Artificielle
BM	Business Model
CPS	Cyber Physical Systems
UE	Union Européenne
PIB	Produit Intérieur Brut
HE	Higher Education
I4.0	Industrie 4.0
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
IoP	Internet of People
IoT	Internet of Things
IoTS	Internet of Things and Services
MES	Manufacturing Execution Systems
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PSS	Produit Service Système
R&D	Recherche et Développement
PME	Petite et Moyenne Entreprise
US/USA	United States of America

## Avant-propos



**Doris Kiendl**

*Responsable de l'Institut de Management International, FH JOANNEUM  
Université de Sciences Appliquées, Graz, Austria*



**Vitor Hugo dos Santos Ferreira**

*Coordinateur du projet Chain, Polytechnique de Leiria, Leiria, Portugal*

Cher(es) collègues,

Au cours de la dernière décennie, l'industrie 4.0 est passée d'une idée floue à un concept de numérisation globale de l'industrie européenne. L'objectif est d'accroître la compétitivité des entreprises au travers du développement de produits innovants, de processus et de nouveaux modèles d'entreprise grâce à la mise en œuvre de diverses solutions technologiques. Le champ couvert par Industrie 4.0 est très large et comprend des outils et des plates-formes telles que : Internet des Objets, le Big Data et Cloud Computing, les systèmes autonomes, l'intelligence artificielle, etc. Toutes ces solutions contribuent aux possibilités infinies offertes aux entreprises, mais impliquent également des freins importants pour les entreprises aux ressources limitées, ce qui peut contribuer à un retard supplémentaire dans la technologie et la productivité des petites et moyennes entreprises (PME).

Ce document vise à rapprocher l'Industrie 4.0 des PME en fournissant un premier aperçu du concept, de son champ d'application et de son impact potentiel sur l'innovation et la compétitivité. Ce document est un outil destiné à soutenir la phase initiale de mise en œuvre de l'Industrie 4.0 dans les entreprises. Ce livrable a été développé dans le cadre du projet « **Changer les modèles d'affaires des PME par l'Industrie 4.0** » - le projet CHAIN est financé par le programme Erasmus + - Partenaire Stratégique pour l'Enseignement Supérieur.

Le projet Chain souhaite contribuer à l'initiative de Numérisation de l'Industrie Européenne. Nous subissons actuellement un processus de « désindustrialisation », en partie dû à la montée

en puissance de la production manufacturière dans d'autres parties du monde et à l'automatisation croissante. En 2012, face à cette baisse de l'importance relative de l'industrie, la CE s'est fixée pour objectif que le secteur manufacturier représente 20% de la valeur ajoutée totale dans l'UE d'ici 2020. L'industrie 4.0 (I4.0) pourrait accroître la productivité et la valeur ajoutée des industries européennes et stimuler la croissance économique. Dans le cadre de sa nouvelle stratégie pour le Marché Unique Numérique, la CE a la volonté d'aider tous les secteurs industriels à exploiter les nouvelles technologies et à gérer la transition vers un système industriel intelligent. Ce que I4.0 tente de réaliser, c'est l'amélioration des processus de fabrication grâce à l'atomisation et à la collecte de données. Les capteurs d'implémentés, les micro-ordinateurs et les émetteurs-récepteurs de ce système permettent à l'ensemble de l'usine d'avoir non seulement une identité physique, mais également une structure cyber-physique. Ce système et le Cloud Computing et d'autres technologies de pointe permettront aux machines de communiquer avec chacune d'elles en temps réel, ce qui permettra d'optimiser les performances, d'optimiser la flexibilité par la personnalisation des produits, de réduire les coûts de main-d'œuvre, de réduire la production de déchets et les temps d'arrêt des machines. Le projet Chain vise à fournir une base pour la création de nouvelles compétences pour les étudiants de l'enseignement supérieur et les PME (dirigeants et patrons) afin de faire face au changement induit par cette « révolution ». L'Europe doit apprendre à faire face à une numérisation en profondeur de la société qui brouille déjà les frontières entre salariés et travailleurs indépendants, les biens et services, ou les consommateurs et fabricants. Pour participer à la chaîne d'approvisionnement I4.0, les PME rencontrent doivent relever plusieurs challenges (coûts, risques, flexibilité réduite et indépendance stratégique réduite). Le projet Chain proposera un document de synthèse sur I4.0, comprenant, outre la définition de I4.0 et ses principales caractéristiques, une discussion sur l'innovation et I4.0, une étude des théories de l'innovation et de la révolution technologique et des exemples de transformation impactant l'économie et la société en général par I4.0 et en particulier les PME. Ce document de synthèse s'attachera également à fournir un ensemble d'études de cas qui mettront en évidence les stratégies et pratiques mises en œuvre par les PME dans ce contexte de numérisation croissante. Ces études de cas permettront d'appréhender les défis posés par ce nouveau paradigme et les impacts pratiques sur le travail, l'emploi, les compétences et les modèles économiques. Chain publiera un manuel pour les apprenants et les enseignants qui servira de base à un cours introductif sur I4.0. Enfin, un documentaire interactif sur I4.0, destiné à plusieurs publics, sera disponible en ligne.

Nous vous souhaitons un bon voyage dans la 4ème révolution industrielle, en souhaitant que notre accompagnement et notre support vous aide à atteindre votre destination.

*Doris Kiendl, FH JOANNEUM*

Graz, July 2019

*Vítor Hugo Ferreira, Polytechnic of Leiria*

Leiria, July 2019



# 1. Introduction

*Bojan Jovanovski, FH JOANNEUM*

*« L'Europe pourra conserver son rôle de leader seulement si la numérisation de son industrie est une réussite et de manière rapide. Cela nécessite un effort commun à travers toute l'Europe pour attirer les investissements nécessaires à la croissance de l'économie numérique »*

Günther H. Oettinger, Commissaire à l'Economie Numérique et à la Société

L'Industrie 4.0 est la nouvelle révolution industrielle axée sur la numérisation et l'intégration de la chaîne de valeur. Cette quatrième révolution industrielle modifie les processus de fabrication et les activités logistiques tout au long de la chaîne d'approvisionnement. L'objectif principal de la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 dans une entreprise est d'accroître sa productivité et sa flexibilité. Cet objectif ne peut être atteint uniquement par l'amélioration du processus de production grâce à des innovations incrémentales et de ruptures, mais aussi par une transformation technologique et organisationnelle approfondie et par la mise à jour du modèle économique de l'entreprise. Ces points seront abordés dans les chapitres suivants de ce document.

Un **modèle d'affaires** décrit la manière dont une organisation créée, fournit et capture de la valeur. (Osterwalder & Pigneur, 2010, p. 14)

En mettant en œuvre différents types d'innovations, la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 favorise une évolution vers des systèmes dans lesquels l'interaction, voire l'intégration, de différents éléments commerciaux auparavant plutôt indépendants est maintenant possible. De nombreuses grandes entreprises disposant de ressources et de stratégies de développement reconnaissent l'importance d'adopter ces nouvelles pratiques. Au début de cette décennie, les *early adopters* (qui adopte précocement les nouvelles technologies) ont saisi l'opportunité de développer un avantage concurrentiel supplémentaire, en enchaînant "le jeu" et en le plaçant comme une nécessité pour rattraper et conserver des parts de marché. Cette deuxième vague mobilise de plus en plus de petites et moyennes entreprises (PME), dont beaucoup sont encore en phase de diagnostic et d'analyse des risques. Afin de les soutenir dans ce processus, le chapitre 6 propose une analyse des principaux avantages et obstacles pour les PME dans la mise en œuvre de l'Industrie 4.0. Néanmoins comme lors des révolutions industrielles précédentes, il est à prévoir que les changements influenceront sur de nombreux segments du fonctionnement des sociétés et sur leur écosystème, et que ceux qui ne parviendront pas à s'adapter, échoueront.

Porter (1990) insiste sur l'importance de la compétitivité au niveau micro (l'entreprise) par rapport à la compétitivité au niveau macro (la nation). Il souligne également l'importance de

l'utilisation des innovations de pointe pour le développer un avantage concurrentiel. Au niveau national, la compétitivité a été définie de différentes manières par plusieurs auteurs, notamment Delgado et al. (2012) qui définissent « la compétitivité fondamentale comme le niveau de production attendu pour un individu en âge de travailler donnant ainsi la qualité globale d'un pays comme nation où le marché est propice ». Ils soulignent également que la compétitivité doit aller au-delà du niveau de productivité attendu par les travailleurs puisque la prospérité réside dans la capacité d'un pays/d'une entreprise à atteindre une productivité élevée tout en mobilisant une part importante des capacités de main d'œuvre disponibles. Silvia (2006), en analysant différentes définitions de la littérature scientifique, présente trois approches essentielles pour définir la compétitivité au niveau macro-économique : la compétitivité en tant que productivité ; La compétitivité en tant que capacité à apporter de la prospérité et du bien-être ; La compétitivité en tant que capacité à vendre sur les marchés extérieurs. Heureusement, l'impact de la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 sur la compétitivité de l'entreprise est devenu évident pour les décideurs. Liao et al. (2017) a étudié 18 politiques publiques, toutes basées sur des initiatives nationales allemandes liées à l'Industrie 4.0, concluant que leurs objectifs principaux pour plus de la moitié d'entre elles (55,6%) étaient d'accroître, de maintenir ou de retrouver leur compétitivité, et même davantage (61,1%) devraient soutenir la croissance économique. Pour atteindre ces objectifs, des activités spécifiques, principalement liées à l'Innovation et à la Technologie (66,7%), sont réalisées et appliquées à trois éléments : l'Homme (61,1%), le produit (55,6%) et l'infrastructure (44,4%).

L'inquiétude suscitée par la diminution de la part de l'industrie manufacturière dans le PIB de l'Union européenne a contribué à s'intéresser très sérieusement à l'industrie 4.0. L'une des principales actions est une communication de la Commission européenne au Parlement sur la « Renaissance industrielle européenne » de 2014 (COM, 2014/14). Ce document met en avant le Cloud Computing, les développements de la chaîne de valeur de données et du Big Data, les nouvelles applications industrielles d'Internet, les usines intelligentes, la robotique, l'impression 3D et la conception en tant que nouvelles opportunités technologiques pour la modernisation industrielle. Les conclusions de ce document visent à accroître la compétitivité industrielle par le biais de politiques inter-régions, d'investissements locaux, nationaux et européens accrus, en fixant l'objectif spécifique de porter la contribution de l'industrie au PIB à 20% d'ici 2020.

Afin d'atteindre cet objectif, la Commission européenne a affecté 80 milliards d'euros sur la période 2014-2020 pour la recherche et pour l'innovation, y compris un soutien au développement de technologies clés, c'est le programme Horizon 2020. Selon la publication « Horizon 2020 Premiers Résultats » de la Commission européenne (2015), même lors de la phase de lancement, les 100 premiers appels à projets, de nombreux indicateurs clés du programme ont été atteints. Augmentation du nombre de nouvelles institutions impliquées (38%, soit trois fois plus que lors du dernier appel du précédent programme-cadre), forte implication des PME (l'objectif de 20% du budget pour les PME a été atteint) et presque tous les accords de subvention (95%) ont été signés dans la période ciblée. Malheureusement, nous devons attendre quelques

années de plus pour une évaluation finale du programme et pour l'évaluation des impacts réels sur la transformation de l'industrie. Ce qui est certain désormais, c'est que la Commission européenne et le programme Horizon 2020 ont encouragé les gouvernements locaux, régionaux et nationaux à mettre en place différents types de soutien financier et non financier pour la réindustrialisation et le renforcement de la compétitivité de l'Union européenne. La plupart de ces outils favorisent l'innovation en développant davantage l'écosystème et en aidant les PME à se restructurer, se moderniser et acquérir des connaissances.

De manière générale, le paysage européen pousse les PME à mettre l'Industrie 4.0 en haut de leur liste de priorités, et d'autre part, il offre un soutien important à ce processus de mutation des entreprises, ce qui en fait le moment idéal pour se lancer. Ce document issu du projet Chain est conçu pour être le point de départ pour la préparation de cette importante transition.

## 2. Théorie de l'innovation et de la Révolution technologique

Fernando Sousa, AidLearn

« La rapidité est la nouvelle devise des entreprises »

Marc Benioff, Directeur Général, Salesforce

L'innovation, en tant que terme de recherche, trouve ses racines dans les domaines de l'économie et de l'ingénierie, puis de la sociologie, les sciences politiques et l'éducation et, depuis peu, dans la psychologie sociale. Comme mentionné par Rowley, Baregheh et Sambrook (2011), la diversité des modèles, cadres, classifications et définitions de l'innovation rend difficile la compréhension du lien entre toutes ces définitions données par les chercheurs, ainsi que la relation entre les différents types d'innovations. Schumpeter (1934) est reconnu comme le premier à déclarer que l'innovation consiste en l'introduction d'un nouveau produit, de qualités inconnues sur le marché, proposant une nouvelle qualité dans un produit existant, d'un nouveau mode de production ou d'une nouvelle forme de traitement commercial d'un produit, un nouveau marché pour le secteur en question, même si le marché existe ou non, de nouveaux fournisseurs de matières premières ou de produits semi-finis, ou une forme de monopole. Schumpeter et d'autres spécialistes de son domaine de recherche, tels que Freeman (1982), ont modifié la vision de l'équilibre statique entre l'ingénierie mécanique et l'économie classique en abandonnant progressivement la recherche d'une relation entre les mesures macro-économiques et l'exploration de nouvelles technologies. Au lieu de cela, ils se sont concentrés sur la question des systèmes d'innovation nationaux (utilisant une approche systémique ou l'analyse du processus d'innovation au niveau organisationnel ou institutionnel) en tant que processus non seulement technique, mais surtout social, caractérisant les spécifications politiques et d'apprentissage. Progressivement, en partant d'un point de vue invention, comme dans Cebon, Newton et Noble (1999) ... *l'utilité d'une invention dans la production de nouveaux produits ou services ou de ceux qui existent déjà, dans l'amélioration de leur mode de fonctionnement, produite ou distribuée*, l'orientation s'est démocratisée elle-même, supprimant ainsi l'exigence de nouveauté absolue, comme dans Damanpour (1984) ... *la mise en œuvre d'une idée produite ou adoptée concernant un produit, un artefact, un système, une politique, un programme ou un service, une nouveauté au sein de l'organisation lors de son adoption et*, récemment, l'orientation s'est renforcée vers le client et le marché, comme le dit Coakes et Smith (2007) ... *pour introduire les bons produits au bon moment, sur les bons marchés avec le réseau de distribution adéquat, puis continuer à les mettre à jour, à les optimiser et à les supprimer le cas échéant*.

Il existe différentes approches pour identifier les types d'innovation. Alors que Cebon et al. (1999) proposent de séparer l'adoption des produits et des processus de développement, et de manière plus classique, une distinction entre les innovations de produit ou de procédés. Selon Adams (2006), la plupart des auteurs conviennent que la capacité d'innovation ou l'innovation

organisationnelle est un troisième type d'innovation important, qui représente le potentiel de la main-d'œuvre pour promouvoir des changements bénéfiques pour l'organisation. Comme Huhtala et Parzefal (2007) l'affirment... *pour rester compétitives sur le marché mondial, les entreprises doivent développer en permanence des produits et des services innovants et de grande qualité, et renouveler leur mode de fonctionnement en fonction de la capacité d'innovation de ses employés.*

De même, et bien que l'innovation puisse naître de l'adoption ou du développement d'un produit ou service, disponible grâce à des investissements dans la R & D ou l'acquisition de technologies, seule la création et le maintien d'un effectif créatif peuvent permettre à l'organisation de développer un potentiel de résolution de problèmes et de situations difficiles, qui ne peut être résolu que par des investissements (Cebon et al., 1999). Et même s'il est vrai que l'utilisation du potentiel novateur des employés n'est généralement pas reflétée dans les innovations radicales (Love & Roper, 2004), il faut comprendre que c'est dans le cas de petites innovations incrémentales que réside le principal potentiel d'innovation, représentant aujourd'hui plus de 80% de chaque innovation proposée. Cette innovation est directement liée aux formes de collaboration qui constituent de plus en plus la base de l'innovation (Uzzi & Spiro, 2005).

## 2.1 Les Révolutions technologiques

Si nous examinons l'évolution de la manière dont les personnes organisent leur travail, nous constatons que nous sommes dans un cycle technologique qui poursuit la révolution industrielle des années 1970, lorsque des pays détruits par la Seconde Guerre mondiale, tels que l'Allemagne et le Japon, ont commencé à se réorganiser dans l'économie mondiale. C'était la fin du modèle Fordien vertical des années 1930 utilisé dans les grandes entreprises multidivisionnelles (M-Form), dans lequel des gérants professionnels (au lieu des propriétaires) coordonnaient les différentes étapes de la production au sein de l'entreprise. Ce modèle a été largement théorisé par les économistes et les sociologues tels que Joseph Schumpeter, Talcott Parsons, Herbert Simon ou Alfred Chandler, partisans de Weber (Langlois, 2015).

L'organisation moderne trouve ses racines dans la révolution nord-américaine des transports (trains et bateaux à vapeur) et des communications (télégraphe et câbles sous-marins) dans les années 1870, ouvrant la voie à la révolution de la production et de la distribution (Chandler, 1990). C'est pourquoi les compagnies de chemin de fer sont devenues les pionnières de la gestion, dès les années 1850, alors qu'il y avait déjà 9 000 miles de lignes (15000 kms), les autres entreprises plus classiques, avaient détenaient de 50 miles (80 kms) à moins de 500 miles (800 kms) de lignes. Autour d'eux se postaient des entreprises spécialisées dans certains types de wagons, avec leurs entrepôts respectifs, comme dans les wagons à pétrole ou à lits. Ces sociétés ont mis au point des procédures administratives internes, un contrôle comptable et statistique,

ainsi que la séparation de la gestion et des biens, en tant que financement nécessaire pour atteindre une croissance supérieure au capital familial disponible.

Le type de collaboration requis entre les compagnies de chemin de fer, afin de standardiser les équipements, était un phénomène nouveau, mais sans grand succès compte tenu de la pression de la concurrence. Les cadres de niveau intermédiaires qui, devenant de plus en plus performants, ont rendu possible un réseau intégré dans les années 1880. Les fédérations apparaissaient toujours comme une meilleure solution, avant la construction d'un système, comme la diminution du trafic obligeant à réduire les tarifs. Cependant, les spéculateurs ont précipité les événements, donnant lieu à la fusion et à l'existence de sociétés telles que *South of Santa Fe*, à l'époque la plus grande du monde. En 1890, les chemins de fer avaient déjà la configuration actuelle et, à partir de 1893, des banquiers comme *J. P. Morgan* ont joué un rôle fondamental et ont remplacé l'État en tant qu'entité centralisatrice de la gouvernance. Tandis que les banquiers jouissaient d'un grand pouvoir au sein des conseils d'administration, les managers professionnels en possédaient encore plus, ce qui donnait aux entreprises la caractéristique du capitalisme de gestion plutôt que du capitalisme financier.

Toujours aux États-Unis, dans les autres secteurs industriels, l'évolution de la distribution a été plus rapide que celle de la production, en particulier celle des céréales et du coton, l'innovation nécessaire étant plus organisationnelle que technologique. Avant 1850, les grossistes vendaient à commission, sauf dans les villes, et les produits de base étaient achetés directement à des agriculteurs et vendus à des entreprises de fabrication. Après la guerre civile, les grossistes ont été remplacés par des grandes surfaces sous forme de supermarchés, de vente par correspondance et de chaînes de magasins. *Macy's et Bloomingdale's* (1869) dans les supermarchés, ainsi que *Sears & Roebuck* dans la vente par correspondance, vont au-delà du concept de supermarché, formant des réseaux de distribution, et se substituent aux grossistes en adoptant une politique de prix unique. Bien qu'ils aient aussi inclus la production de biens, qu'ils ne trouvaient pas à des prix intéressants, spécifiques ou de qualité souhaitable, ils ont préféré se concentrer exclusivement sur l'activité de vente. Ils ont également commencé à utiliser la publicité, donnant naissance aux premières agences de publicité.

La deuxième révolution industrielle (1850-1970) a été caractérisée par la séparation entre la propriété de l'entreprise et sa direction, effectuée par des professionnels salariés, ainsi que par une spécialisation fonctionnelle ou divisionnaire (*Multidivision ou M-Form*). *General Motors*, qui a créé le modèle post-fordien avec *Alfred Sloan* (1920), a marqué l'avènement de la société moderne, qui a été maintenue jusqu'aux années 1970. C'est l'ère de l'acier et de l'électricité qui, combinée au moteur à combustion, a permis une augmentation radicale de la vitesse de transport et de la production de masse. Cependant, la véritable révolution dans la production n'était pas

l'électrification, mais 60 ans plus tard (1920), son adaptation organisationnelle aux machines individuelles, comme en 1911 l'avait été, la mise en place des courroies de transmission sur les chaînes de montage. Malgré les grandes transformations après 1871 (unification allemande, longue dépression 1873-79, guerre franco-prussienne et commune de Paris), 1914-18 (Première Guerre mondiale), 1929-34 (Grande Dépression) et 1939-45 (Seconde Guerre mondiale), cette période n'est considérée que comme une révolution comprenant l'invention de l'État-providence, tout d'abord par *Bismarck*, en Prusse, à la fin du XIXe siècle, puis en Angleterre et dans les pays nordiques. La Grande Dépression a démontré l'incapacité du secteur privé à maintenir la croissance en équilibrant l'offre et la demande, ce qui a conduit à une augmentation progressive de l'intervention de l'État dans la société, avec *Keynes* comme héraut, accentué par la Seconde Guerre mondiale et la crise des méga gouvernements dans les années 1970.

Cette révolution a transformé les industries de produits alimentaires et de boissons (par exemple, *Quaker Oats*, avec l'industrie des céréales pour petit-déjeuner, *Heinz* avec le conditionnement automatique, *Nestlé* avec du lait concentré), en grande partie grâce aux innovations de *Thomas Edison* et *Werner von Siemens*, qui ont rendu possible la production de masse avec la distribution de l'énergie électrique, comme déjà mentionné ci-dessus. Aux États-Unis, des sociétés comme *Otis*, *Singer*, *Eastman* et *Westinghouse* ont été parmi les premières à tirer parti de l'énorme potentiel électrique offert par les chutes du Niagara.

Mais c'est l'industrie de l'armement léger, dans les années 1850, qui a dessiné ce que l'on peut appeler le « *système de fabrication américain* », perfectionné par la suite par des sociétés comme *Singer* dans la période post-dépression de 1880, où 75% des machines à coudre du monde étaient produites. L'innovation dans les bureaux est venue plus tard avec *Remington* (qui est passé des armes à feu à des machines à écrire) et, surtout, l'informatisation dans les années 1970, qui a commencé l'industrialisation des services.

Cette période est peut-être mieux connue sous le nom de *fordisme* et de production de masse, caractéristique de l'industrie américaine, bien que cette désignation ne puisse être attribuée qu'à *Alfred Sloan*, PDG de *General Motors* (Sloan, 1963). Bien que propagée par l'industrie automobile, les techniques de production de masse sont d'abord apparues dans les industries de transformation sous forme liquide ou semi-liquide, telles que le pétrole brut, puis les céréales, le coton et le tabac.

L'innovation, plutôt préférée pour l'optimisation des machines, la qualité grandissante des matières premières, l'utilisation intensive de sources d'énergie et la conception d'usines, était essentiellement organisationnelle et révolutionnait les mouvements des employés dans le secteur manufacturier, ainsi que les formes de coordination et de contrôle par la direction. L'industrie pétrolière est un exemple de production continue. Fondée à *Titusville*, en



Pennsylvanie, en 1859, *Rockefeller* a mis environ 20 ans à produire les deux tiers du pétrole mondial avec seulement trois grandes raffineries de pétrole. Cela aurait été impossible dans des industries telles que le coton, les textiles ou les meubles, car la production aurait dépassé les possibilités de consommation du marché. C'est en fait la réduction de la consommation, durant la dépression des années 1870, qui a mis en évidence la nécessité d'innovation organisationnelle par rapport à l'innovation technologique.

## 2.2 L'âge de l'information

La troisième révolution industrielle (1970 - ?), avec la crise pétrolière et l'avènement des économies récupérées après la guerre mondiale (Allemagne et Japon), marqua la fin de la grande entreprise verticale. C'était l'ère de la spécialisation, au cours de laquelle les entreprises se désintégraient et se délocalisaient, ne retenant que la conception, le développement et la commercialisation. Face aux politiques néolibérales inspirées par *Milton Friedman*, qui favorisaient la déréglementation (par exemple *Thatcher, Eltsin, Carter et Reagan*) et tirant parti d'Internet et des nouvelles technologies, les entreprises ont été morcelées selon le principe de *Ronald Coase* (1937). Lorsque les coûts de transaction dépassent les coûts d'organisation, l'entreprise doit autonomiser des unités ou des activités de sous-traitance.

La révolution électronique a été similaire à celle de l'électricité. En 1956, le câble transatlantique a remplacé les communications radio et en 1965, des communications par satellite ont été installées. Dans les années 1970, l'ordinateur coordonnait déjà la production, le marketing et les finances, en particulier dans les multinationales qui louaient des lignes téléphoniques. Des entreprises telles que *Xerox, Texas Instruments ou Motorola*, ont vu le jour grâce aux nouvelles technologies et aussi parce qu'elles disposaient d'un plus grand choix de fournisseurs et de points de vente, ce qui a renforcé l'intégration verticale.

Le 21<sup>ème</sup> siècle a mis l'accent sur la spécialisation (et la modularisation du "*fordisme*"), mais il a aussi inversé la dé-verticalisation, compte tenu de la nécessité d'intégrer les connaissances pour innover, ainsi que de la nécessité de régulation à la suite des événements du 11 septembre, de la crise et des scandales financiers. Cependant, les politiques de *Trump*, peut-être la principale marque de ce siècle, vont à nouveau dans le sens de la déréglementation, accentuant la tendance déjà observée à restaurer les grappes régionales de connaissances, fortement réduites avec la délocalisation, ainsi que la capacité à innover.



## 2.3 Et maintenant, où allons-vous ?

L'innovation de produit simple semble être révolue, car la quatrième révolution industrielle (également connue sous le nom d'Industrie 4.0) donne naissance à de nouveaux écosystèmes d'innovation, qui complexifient davantage notre offre d'innovation finale. Et ce rythme de changement exponentiel repose de plus en plus sur des plates-formes collaboratives pour obtenir ce résultat, car nous disposons d'une puissance de traitement, d'une capacité de stockage et d'un accès sans précédent aux technologies, ainsi que des technologies émergentes dans des domaines tels que l'intelligence artificielle, la robotique, l'impression 3D, la nanotechnologie, la biotechnologie, les sciences des matériaux et l'informatique quantique. Mais la question technologique à elle seule ne semble pas suffisante pour expliquer la 4<sup>ème</sup> révolution en termes simples, peut-être parce qu'elle se déroule dans une perspective ascendante. Les entreprises apportant chaque jour de nouvelles solutions numériques. D'un côté, nous observons des avancées et des reculs dans les modèles organisationnels, les entreprises étant à divers stades d'évolution (dans une sorte de "révolution moyenne de 2,2"). Nous assistons également à la cohabitation d'entreprises représentatives de la fusion des frontières physiques, numériques et biologiques, avec d'autres s'appuyant sur un modèle plus classique (également actualisé et performant sur le marché). D'un autre côté, nous sommes confrontés à la crise de l'État, à la crise des idées et à l'ennemi de la liberté, en termes de croyance, d'expression, de vie privée et de propriété (Micklethwait & Wooldridge, 2014).

En gardant la perspective organisationnelle, le XXI<sup>ème</sup> siècle nous apporte une augmentation de la spécialisation verticale, ou « dé-verticalisation », accentuée dans les années 1990 par la délocalisation et la spécialisation du processus de production, dans laquelle les entreprises pouvaient conserver la conception, le développement et la commercialisation (marque), mais pas la fabrication et la maintenance, l'après-vente ni même la recherche. De même que la mondialisation des États-Unis (après la guerre civile) était révolutionnaire par la normalisation et le volume de production, l'externalisation actuelle l'est également, en réponse aux possibilités de coordination et d'extension des marchés offertes par la technologie. En un sens, il s'agit d'un retour au système modulaire du fordisme, mais de façon non verticale, dans laquelle la distribution finit par jouer le rôle principal dans la création de valeur, entendue comme la capacité de fournir le maximum d'utilité possible au consommateur final, à un coût minimum.

Si nous pouvons avoir des doutes quant à l'évolution du modèle organisationnel, ce n'est pas le cas avec la certitude que la créativité et le savoir continueront d'être fondamentaux dans l'innovation. Quelle que soit la forme d'organisation adoptée, nous savons que la spécialisation croissante des connaissances reposera de plus en plus sur des équipes collaboratives, dont l'intégration nécessite des techniques sociales sophistiquées pour produire une innovation

collective. Des équipes guidées par des formes de leadership capables d'ajuster les buts aux moyens, à mesure que les conditions extérieures changent.

C'est dans le maintien d'un équilibre entre les routines de l'entreprise, capables de générer des formes automatiques de résolution de problèmes, et la création de nouvelles capacités génératrices de changement, que la primauté du personnel continuera à conduire l'évolution des organisations. Connaissance faite d'un caractère tacite et subjectif, difficilement transmissible en dehors des réseaux dans lesquels elle est établie, et résidant davantage dans les connexions entre individus que dans les individus eux-mêmes.

### 3. Industrie 4.0 : définitions

Martin Tschandl, FH JOANNEUM, Clemens Fischer, FH JOANNEUM, Emilie Chapotot, ESTIA

Environ 80% de toutes les exportations européennes sont des produits industriels. L'industrie européenne représente 16% du PIB de l'UE et emploie environ 32 millions de personnes dans plus de 2 millions d'entreprises. Ces chiffres montrent que l'industrie est un moteur de prospérité et de croissance en Europe (Plattform Industrie 4.0, 2019). Pendant de nombreuses décennies, un processus continu d'automatisation industrielle et de numérisation a été l'une des sources de la compétitivité des entreprises européennes. En 2011, à la foire de Hanovre, une initiative politique a qualifié ce processus d' « industrie 4.0 » en tant que proposition pour le développement d'un nouveau concept de politique économique allemande basé sur des stratégies de haute technologie (Mosconi, 2015) afin de préserver et d'encourager la compétitivité industrielle. Dans presque tous les pays européens, l'industrie est désormais contrainte à une numérisation croissante et systématique afin de gagner en efficacité (réduction des coûts), en flexibilité (produits individualisés sans augmentation des coûts) et - surtout - d'innover avec de nouveaux modèles économiques numérisés. La numérisation est donc devenue un facteur de succès indispensable pour les entreprises européennes (Tschandl / Kogleck, 2018). Avant d'utiliser massivement l'Industrie 4.0 comme concept commun dans le monde, de nombreuses initiatives stratégiques ont été menées (Figure 3-1). Cela dépend principalement de l'origine géographique : « Smart manufacturing » aux États-Unis, « Internet + » en Chine, « Usine du futur » en France et enfin « Industrie 4.0 » en Allemagne.

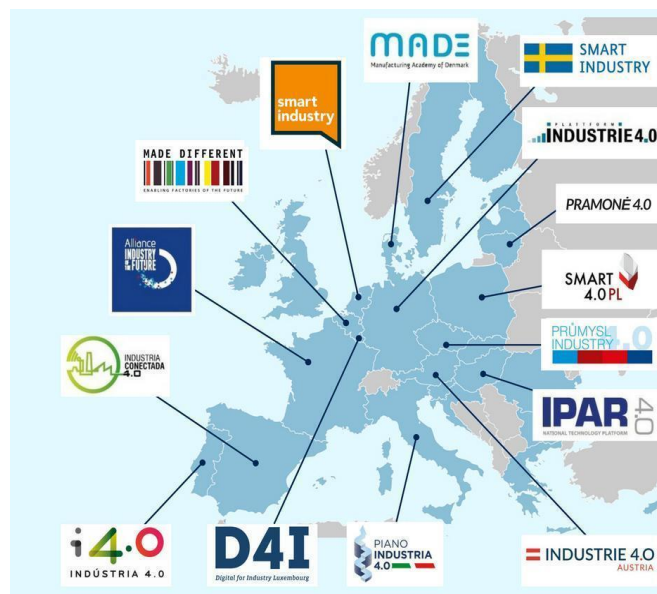


Figure 3-1 : Vue d'ensemble des initiatives européennes sur l'Industrie Numérique (Commission Européenne – 11/2018)

De plus, l'émergence et enfin l'omniprésence des solutions IoT dans notre vie quotidienne forcent les industries à adapter leur organisation à un niveau élevé de connectivité. Le bouleversement de nos pratiques apporté par Internet et les technologies numériques a maintenant atteint le processus de fabrication dans les industries. Ce besoin de connexion entame un profond changement et donne un nouveau paradigme - *Industrie 4.0*. Ce paradigme repose sur une organisation holistique des processus. Cette nouvelle organisation envisage la décentralisation des décisions avec des informations diffusées à travers toutes les entités de l'entreprise. Ainsi, l'entreprise sera plus réactive et plus agile face aux changements de l'écosystème. Les dirigeants d'entreprise doivent repenser leur modèle d'entreprise pour entamer la transition vers l'Industrie 4.0. Il s'agit d'un phénomène lié aux nouveaux usages des consommateurs et aux nouveaux objets ayant un impact direct sur les modèles commerciaux et les organisations actuelles. Il est de plus en plus associé à la définition de la numérisation et ce terme est de plus en plus utilisé dans le contexte de la transformation numérique des entreprises (Mario, Hihigoyen, 2019). Face à la disruption numérique, la transformation numérique est devenue un enjeu majeur et stratégique pour toutes les organisations et de toutes tailles : entreprises, marketing, ressources humaines, processus de production, système d'information, données, etc. (Vivier, Ducrey, 2019).

### 3.1 Numérisation and Digitalisation

*Fraysee* (2013) a fondé sa définition de la numérisation sur trois approches différentes : premièrement, du point de vue commercial, la numérisation revient à modifier partiellement ou totalement un produit, un service, une marque ou une activité commerciale dans le monde numérique. Cette

**Internet des Objets** – Infrastructure global pour la société d'information, permettant des services avancés par interconnexion (physique et virtuel) des objets fondés sur les technologies de l'information et de la communication interopérables existantes et en évolution (UIT-T, 2012).

transformation prend également en compte les technologies de l'information et de la communication ainsi que les utilisations connectées de la consommation. Deuxièmement, d'un point de vue organisationnel, cela correspond à la conduite du changement inhérent à l'intégration des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) dans les processus et l'organisation du travail. Troisièmement, il peut être défini comme l'explosion de la vie associée quotidiennement à plusieurs écrans. *Brennen et Kreiss*, toutefois, fondent leur définition sur la troisième vision de *Fraysee*, la vie sociale et la façon dont les gens interagissent les uns avec les autres au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle (Brennen, Kreiss, 2014; Bloomberg, 2018).

Dans le sens précis de la numérisation dans le contexte industriel, on peut définir la transformation de modèles commerciaux utilisant les technologies numériques et leur réseau Internet fondés d'IoT pour créer de la valeur (Wallmüller, 2017 ; BMWI, 2015). Cela implique la

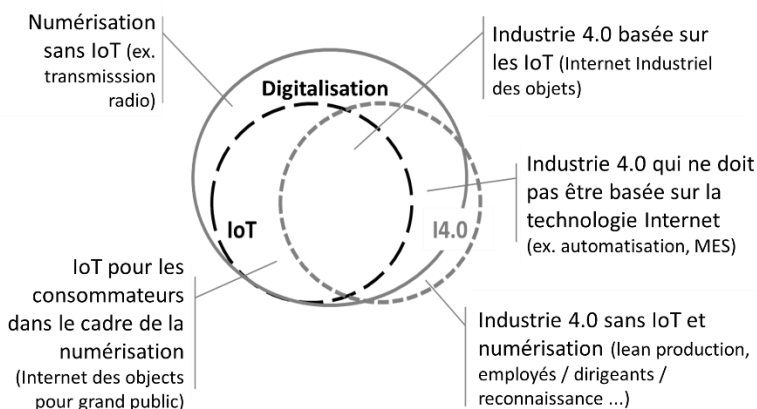
transformation croissante (de toutes) les informations analogiques en données pouvant être traitées avec les technologies de l'information (numérisation). La numérisation peut s'opérer à trois niveaux : (1) produits et services, (2) processus et décisions, et (3) modèles économiques (Matzler et al., 2016).

**La numérisation** est définie comme la conversion de l'information analogique dans un format (texte, photographie, vocale) en format numérique. (Schallmo and Williams, 2018)

En général, la numérisation implique l'intégration des technologies numériques dans la vie quotidienne par la numérisation de tout ce qui peut être numérisé. Par conséquent, la numérisation peut être définie comme la conversion d'informations analogiques sous n'importe quelle forme (texte, photographies, voix, etc.) en format numérique (Schallmo et Williams, 2018) avec des dispositifs électroniques appropriés (tels qu'un scanner ou des puces informatiques spécialisées). Ceci afin que les informations puissent être traitées, stockées et transmises via des circuits, équipements et réseaux numériques. Dans ce contexte, trois termes utilisés dans la littérature se chevauchent en partie : numérisation, Internet des objets (IoT) et Industrie 4.0 (I4.0).

**La digitalisation** implique l'intégration des technologies numériques dans la vie quotidienne par la numérisation de tout ce qui peut être numérisé. (Schallmo and Williams, 2018)

En effet, ces termes se chevauchent en partie et peuvent être différenciés analytiquement comme suit (voir Figure 3-2) : La digitalisation couvre l'ensemble du champ IoT grand public (IoT grand public, smartphones, téléviseurs, par exemple) et une grande partie de l'industrie 4.0, ce dernier chevauchant celle de l'IoT (Industrial IoT), mais comporte également des composants pouvant fonctionner sans technologie Internet (par exemple, l'automatisation, Manufacturing Execution Systems [MES]).



**Figure 3-2 : Définition des termes de la digitalisation**

Une partie plus petite, mais d'autant plus importante, de l'Industrie 4.0 n'inclut pas les technologies numériques, qui sont le *lean production et lean management* des personnes (par exemple, des problèmes d'acceptation). Enfin, il existe également des technologies numériques en dehors des termes d'IoT et d'Industrie 4.0 (par exemple, la transmission radio numérique) (Bischof, Tschandl et Brunner, 2017).

## 3.2 L'Industrie 4.0

L'industrie 4.0 est la quatrième d'une série de révolutions industrielles (Lasi et al., 2014). Jusqu'à présent, trois révolutions industrielles ont conduit à des changements de paradigme dans les processus de fabrication tels que la mécanisation de l'eau et de la vapeur, la production en série dans les chaînes de montage et l'automatisation au moyen de solutions informatiques (Danjou et al, 2018). La quatrième révolution industrielle marque une nouvelle étape dans la transformation de l'organisation des entreprises. Tout au long de la mise en œuvre du phénomène Industrie 4.0, de nombreuses définitions ont été données en fonction du contexte des applications. Cependant, le terme Industrie 4.0 ainsi que la numérisation ne sont pas encore universellement définis. Les composants essentiels de l'Industrie 4.0 sont l'intégration technique des systèmes cyber-physiques dans la production et la logistique, leur interconnexion via l'Internet des Objets et des services (IoTS), ainsi que leurs implications pour la création de valeur, les modèles commerciaux, l'organisation du travail et les services avals.

La définition de la « Plate-forme 4.0 » (Obermaier, 2016) est plus spécifique et plus répandue. Ce terme est synonyme de quatrième révolution industrielle, d'un nouveau niveau d'organisation et de contrôle de l'ensemble de la chaîne de valeur tout au long du cycle de vie des produits. La base est la disponibilité de toutes les informations pertinentes en temps réel grâce à la mise en réseau de toutes les entités impliquées dans la création de valeur. La combinaison de personnes, d'objets et de systèmes crée des réseaux de création de valeur inter-entreprises dynamiques, optimisés en temps réel et auto-organisés, pouvant être optimisés en fonction de différents critères tels que le coût, la disponibilité et la consommation de ressources.

*Kagermann et al.* (2013) décrivent l'Industrie 4.0 comme une collection de sept concepts. Usines intelligentes, systèmes cyber-physiques, auto-organisation, nouveaux systèmes de distribution et d'approvisionnement, nouveaux systèmes de développement de produits et de services, adaptation aux besoins humains et responsabilité sociale de l'entreprise.

**L'Internet des Personnes** – toutes les fonctions réseau prennent en compte le fait que les périphériques Internet peuvent être des périphériques personnels des utilisateurs et exploitent donc des modèles de comportement humain afin de déterminer le mode de fonctionnement de ces périphériques sur le réseau (Conti M., Passarella A., 2017)

*Hermann et al.* (2014) suggèrent de définir l'Industrie 4.0 sur sa capacité à concevoir et à fournir de nouveaux produits répondant à l'intensification de la diversité et de la complexité, à faible coût et à faible impact environnemental. Cela signifie que l'Industrie 4.0 présente un ensemble de technologies et de concepts liés à la réorganisation de la chaîne de valeur (Hermann et al., 2015).

*Zezulka et al.* (2016) indique que l'Industrie 4.0 est utilisée pour trois facteurs interdépendants ; numérisation et intégration de toute technique simple et complexe, numérisation des offres de produits et services, nouveaux modèles de marchés. Toutes les activités humaines sont interconnectées grâce aux solutions Internet (IoT-Internet des objets, IoS-Internet des services (Lasi et al., 2014 ; Ning, Liu, 2015) et IoP-Internet of People). Ces technologies aident les entreprises à diffuser des informations au cours de tous les systèmes du cycle de vie.

Dans ses activités de recherche basées sur l'identification des risques, les opportunités et les facteurs critiques de succès de l'Industrie 4.0 dans les PME, (Moeuf et al., 2018) donnent une définition de l'Industrie 4.0 qui se concentre en particulier sur le pilotage spécifique des PME. « L'Industrie 4.0 est une approche de pilotage industriel axée sur la synchronisation des flux en temps réel et sur le BTO (Build to Order) unitaire et personnalisé des clients ».

L'évolution due aux nouvelles technologies et aux nouveaux modèles de marché met en évidence la nécessité d'identifier de nouveaux défis en termes de gestion, de compétences, d'emplois et d'organisation. Il est mentionné dans le livre blanc publié par la Commission européenne (COM (2017) 2025), « *Tirer le meilleur parti des nouvelles opportunités tout en atténuant les conséquences négatives nécessitera un investissement massif dans les compétences et une refonte majeure des systèmes d'éducation et de formation continue* ». C'est l'objectif principal du projet CHAIN, de changer les activités des PME en introduisant les concepts de l'Industrie 4.0 en préparant un nouvel avenir avec des directives stratégiques pour les étudiants de l'enseignement supérieur.

## 4. Transformations Technologiques et Organisationnelles

*Vítor Hugo Ferreira, Polytechnique de Leiria*

### 4.1 Innovation Organisationnelle

L'innovation est l'un des principaux moteurs de la transformation organisationnelle. Il est presque certain que, grâce à l'adoption de l'innovation, les organisations seront en mesure de relever des défis croissants, de réussir et de devancer les pays qui ont un faible coût de main-d'œuvre (Cardozo et al., 1993). Un rapport de l'OCDE (2010) a mis l'accent sur le potentiel de l'innovation pour la croissance économique à long terme, ainsi que sur son rôle déterminant dans le développement économique et la compétitivité des nations et des entreprises (Cefis et Marsili, 2006 ; Tellis, Prabhu et Chandy, 2009). L'Industrie 4.0 et ses principaux "composants" sont porteurs d'innovations qui peuvent aider les entreprises à améliorer leur compétitivité

Une « **innovation** » est la mise en œuvre d'un nouveau produit ou processus (bien ou service) ou d'un produit / processus fortement amélioré, ou d'une nouvelle méthode de commercialisation, ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques métiers, l'organisation du lieu de travail ou les relations externes.

Manuel d'Oslo (OCDE, 2005:46)

La portée de l'innovation et ses concepts connexes est vaste. Les auteurs font des distinctions entre « diffusion » et « adoption » d'innovations (Kimberly et Evanisko, 1981), ainsi qu'entre les études sur « l'innovation » et « la propension à l'innovation » (Van de Ven & Rogers, 1988). Bien qu'il puisse y avoir chevauchement entre ces concepts, plusieurs études portent sur l'adoption d'innovations dans les organisations et examinent les propriétés organisationnelles qui améliorent ou entravent l'innovation organisationnelle.

L'adoption de l'innovation vise à englober la production, le développement et la mise en œuvre de nouvelles idées ou de nouveaux comportements. Une innovation peut être un nouveau produit ou service, une nouvelle technologie de processus de production, une nouvelle structure ou un nouveau système administratif, ou un nouveau plan ou programme lié aux membres de l'organisation. Ainsi, l'innovation peut aussi être définie comme l'adoption d'un dispositif, d'un système, d'une politique, d'un programme, d'un processus, d'un produit ou d'un service qui est nouveau pour l'organisme adoptant, qu'il soit généré en interne ou acquis de l'extérieur (Daft, 1982 ; Damanpour et Evan. M, 1984 ; Zaltman, Duncan et Holbek, 1973).

Plusieurs des concepts abordés dans les chapitres précédents font partie d'une nouvelle façon de penser l'industrie et les entreprises, car l'adoption de l'industrie 4.0 fait partie d'un processus d'innovation, mais ce processus d'innovation n'est pas seulement technologique, il est aussi organisationnel (l'adoption de ce cadre est une innovation organisationnelle).



Dans leurs recherches, Ram et al. (2016) ont présenté un modèle de processus d'innovation détaillé élaboré par Rogers (1995), composé des phases de lancement, d'adoption, de mise en œuvre et de son utilisation, ce qui a pour effet d'avoir un impact sur le rendement. Les auteurs définissent les phases du processus d'innovation, telles que l'initialisation, l'adoption, la mise en œuvre et l'utilisation. L'initialisation est définie comme la phase qui vise à reconnaître un besoin pour trouver des solutions, identifier des innovations appropriées et en proposer certaines pour adoption (Damanpour et Schneider, 2006).

La phase d'adoption, pour Bouwman et al. (2005), est une phase de prise de décision où les organisations envisagent d'investir dans l'innovation. Il s'agit d'une étape qui reflète l'évaluation de l'idée proposée à partir de perspectives techniques, financières et stratégiques, rendant possible la décision d'accepter une idée et fournissant des ressources pour son acquisition, transformation et assimilation (Damanpour et Schneider, 2006). Cette phase est celle que traverse la majorité des entreprises européennes en ce qui concerne l'industrie 4.0.

L'étape de mise en œuvre comprend l'élaboration de stratégies susceptibles de contrer la résistance potentielle des utilisateurs, ainsi que la familiarisation et la formation des utilisateurs dans les applications, servant de passerelle pour traduire la décision d'adoption organisationnelle en une série de décisions individuelles d'adoption (Bouwman et al., 2005).

L'utilisation enfin est définie comme l'étape au cours de laquelle les membres d'une organisation commencent à appliquer l'innovation technologique dans leurs activités opérationnelles quotidiennes (Bouwman et al., 2005). Les organisations adoptent des innovations pour améliorer leurs performances (Damanpour et Schneider, 2006), car la diffusion et l'adoption de l'industrie 4.0 dépendent clairement de la diffusion du concept mais aussi de la capacité des entreprises à percevoir les avantages de ce concept. Selon une étude menée par le cabinet de conseil Deloitte (2018), seul un tiers des cadres interrogés sont très confiants dans leur capacité à agir comme responsables pour leur organisation en cette période de changement. De plus, seulement 14 % d'entre eux sont très confiants que leur organisation est prête à tirer pleinement parti des changements associés à l'industrie 4.0. Et bien que les dirigeants disent que leurs investissements technologiques actuels sont fortement motivés par la technologie qui peut soutenir de nouveaux modèles d'affaires, très peu de cadres disent avoir une solide analyse de rentabilisation pour investir dans les technologies de pointe (Deloitte,

**Innovation Produit :** Un bien ou un service qui est nouveau ou considérablement amélioré. Cela comprend des améliorations importantes dans les spécifications techniques, les composants et les matériaux, les logiciels dans le produit, la convivialité de l'utilisateur ou d'autres caractéristiques fonctionnelles. (OCDE, 2005)

**Innovation Process :** Une nouvelle méthode de production ou de livraison ou une méthode de production sensiblement améliorée. Cela comprend des changements importants dans les techniques, l'équipement et/ou les logiciels. (OCDE, 2005)

**Innovation Marketing :** Une nouvelle méthode de commercialisation comportant des modifications importantes dans la conception ou l'emballage du produit, dans son placement, dans sa promotion ou sa tarification. (OCDE, 2005)

2018). Lorsqu'on leur demande quels étaient les obstacles, les cadres soulignent le plus souvent un manque d'alignement interne (43 %), un manque de collaboration avec des partenaires externes (38 %) et un centrage sur le court terme (37 %) (Deloitte, 2018).

L'industrie 4.0 est principalement une innovation organisationnelle. L'innovation organisationnelle englobe la création, l'acceptation et la mise en œuvre de nouveaux processus, produits ou services provenant d'un environnement organisationnel afin d'obtenir de meilleurs résultats (Ouest, 2000). De l'avis des auteurs Lambert et Cooper (2000), lorsqu'ils parlent d'innovations organisationnelles, nous comprenons les changements dans la structure et les processus résultant de la mise en œuvre de nouveaux concepts et pratiques de gestion et de travail, qui peuvent inclure la mise en œuvre du travail d'équipe, la gestion de la chaîne d'approvisionnement ou les systèmes de gestion de la qualité.

**Innovation Organisationnelle :** Une nouvelle méthode d'organisation dans les pratiques métiers, l'organisation du travail ou les relations extérieures. (OCDE, 2005)

En suivant ces définitions, nous pouvons identifier les éléments organisationnels qui indiquent une définition plus précise de l'innovation organisationnelle. En fait, Damanpour et Aravind (2012) définissent l'innovation organisationnelle comme l'ensemble d'activités menant à des changements dans la structure, la stratégie et les systèmes de l'entreprise.

Par conséquent, l'innovation est un moyen de changer une organisation, soit en réponse à des changements dans son environnement interne ou externe, soit en tant que mesure préventive prise pour influencer un environnement. Quand même les environnements les plus stables changent (Hage, 1980), les organisations innovent continuellement au fil du temps. Ainsi, la propension à l'innovation organisationnelle est plus précisément représentée lorsque plusieurs innovations sont considérées plutôt que des innovations isolées.

Sur la base d'une recherche sur l'innovation organisationnelle dans le secteur des entreprises danoises, Gjerding (1996) a déclaré que l'innovation organisationnelle est plus fréquente dans le secteur manufacturier que dans le secteur des services. Selon les auteurs mentionnés précédemment, nous pouvons affirmer que l'innovation organisationnelle dans l'entreprise comprend :

- L'introduction de structures organisationnelles considérablement modifiées,
- L'application de techniques de gestion avancées,
- La mise en œuvre de lignes directrices stratégiques nouvelles ou substantiellement modifiées.

Un grand nombre de ressources a été consacré à l'innovation technologique (processus et produits), mais elles ne suffisent pas - il faut envisager d'urgence des innovations organisationnelles, méthodologiques et de 'management'. Mol et Birkinshaw (2009) soutiennent que les entreprises peuvent bénéficier de leur capacité à investir dans l'innovation organisationnelle en même temps que de leur capacité à investir dans les innovations de produits

et de procédés. Acosta et al. (2015) suivent d'autres auteurs et montrent pour un échantillon de PME espagnoles que l'innovation organisationnelle est un médiateur entre plusieurs déterminants et la performance. Prange et Pinho (2017) soulignent le rôle de médiateur de l'innovation organisationnelle entre les moteurs personnels et la performance internationale. Dans une étude menée par Camisón et Villar-López (2014), les auteurs affirment que les administrateurs ne devraient pas se concentrer uniquement sur les innovations technologiques ou non technologiques. L'introduction de nouvelles pratiques et méthodes organisationnelles est importante et a un effet positif sur les processus opérationnels, facilitant le développement d'innovations dans les processus et les produits, bien que dans ce dernier cas, elle se fasse indirectement par le biais de processus. Bingi et al. (1999) et Davenport (1998) ont conclu, grâce à leurs recherches, que les changements apportés aux processus opérationnels entraînaient des changements organisationnels massifs pour les personnes qui exécutent des pratiques exemplaires.

En résumé, l'industrie 4.0 est un concept large qui inclut les nouvelles technologies mais aussi de nouvelles façons de penser la production, l'innovation, le travail et le service à la clientèle. À ce titre, nous pourrions considérer cette initiative comme une "innovation organisationnelle", puisqu'elle comprend l'introduction de structures organisationnelles considérablement modifiées, de nouvelles techniques de gestion et de nouvelles lignes directrices stratégiques. Ce type d'innovation complète les innovations technologiques que les entreprises peuvent introduire, ce qui entraîne des performances et des changements dans les entreprises.

## 4.2 *Les Transformations issues de l'Industrie 4.0*

### 4.2.1 **L'impact des investissements TIC dans l'entreprise – un état de l'art synthétique**

La valeur des nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC) et des nouveaux logiciels pour l'organisation peut être représentée comme l'impact de ces nouvelles technologies sur l'organisation, résultant de leur utilisation, tant au niveau des processus opérationnels qu'au niveau du rendement de l'organisation, y compris les impacts sur l'efficacité et l'efficacité ou sur la compétitivité (Melville et al., 2004). Les investissements dans des technologies telles que celles qui font partie de ce cadre qu'est l'industrie 4.0 peuvent avoir des effets différents. Kraemer et al. Gurbaxani et al. (1994) ont trouvé dix dimensions différentes pour les impacts des technologies de l'information sur le rendement organisationnel, dont plusieurs font partie de l'industrie 4.0 aujourd'hui :

1. Efficacité organisationnelle, en ce qui concerne l'impact potentiel des TIC dans les processus de prise de décisions, de communication, de coordination et de planification.

2. Efficacité organisationnelle, en ce qui concerne l'augmentation de la marge brute et la réduction des coûts de main-d'œuvre et de la productivité.
3. L'innovation dans l'introduction de nouveaux produits et/ou services sur le marché, en introduisant de nouvelles caractéristiques rendues possibles par la technologie, en réduisant les délais de développement de nouveaux produits et en augmentant la fiabilité en termes de qualité et de délais de livraison.
4. Automatisation de la production, augmentation de la capacité de production et réduction des coûts de conception et personnalisation des produits pour les petits segments du marché.
5. Relation avec les clients en termes de facilité d'échange d'informations et de transactions en temps réel.
6. Amélioration des produits et/ou des services en termes de qualité et de temps de cycle.
7. Coordination inter-organisationnelle avec les principaux partenaires commerciaux, permettant l'expansion géographique du marché cible et une meilleure coordination avec les clients et les fournisseurs.
8. Relations avec les fournisseurs, réduction des coûts de transaction et accélération de l'échange d'informations.
9. Appui à la commercialisation en ce qui concerne la recherche sur les marchés et l'identification de nouveaux segments de marché.
10. Dynamique concurrentielle, en termes de construction d'obstacles à l'entrée et de réduction du temps de réponse au marché.

Zuboff (1985) a identifié l'automatisation et l'information comme les deux principales dimensions des objectifs de l'entreprise dans les implémentations liées aux TIC. Les investissements dans l'automatisation et le soutien aux transactions visent à l'efficacité des opérations, généralement en termes de réduction des coûts et de remplacement de la main-d'œuvre par le capital. Les investissements dans l'information sont conçus pour fournir des moyens d'information et de communication plus nombreux et de meilleure qualité afin d'améliorer les processus décisionnels. Turner et Lucas (1985) ont ajouté la dimension stratégique du fait que les investissements visent à modifier la façon dont l'organisation est en concurrence ou même la nature de ses produits et/ou services en vue d'accroître sa part de marché et d'obtenir un avantage concurrentiel. Afin d'élaborer un instrument de mesure qui identifie les différentes dimensions des avantages des projets de systèmes d'information, Mirani et Lederer (1998) ont identifié trois sous-dimensions pour chacune des trois dimensions principales :

**Bénéfices stratégiques :**

- Avantages concurrentiels découlant des changements apportés aux processus opérationnels.
- Alignement caractérisé par le soutien aux objectifs organisationnels et le meilleur lien de l'organisation avec son environnement immédiat et général.
- Relations avec les clients, pour l'amélioration de l'image à l'étranger.

#### **Bénéfices informationnels :**

- Accélérer et faciliter l'accès à l'information pour la prise de décisions.
- Qualité de l'information, la rendant plus utile, fiable et précise.
- Flexibilité de l'information, en facilitant sa manipulation en termes de contenu et de forme.

#### **Bénéfices transactionnels :**

- Coûts de communication.
- Développement de systèmes en termes de coût et de temps.
- Efficacité des processus opérationnels et meilleure utilisation des ressources humaines et matérielles.

Mooney, Gurbaxani et Kraemer (1996) ont proposé trois effets complémentaires des technologies de l'information dans les processus métiers qui peuvent créer de la valeur pour les entreprises. Premièrement, l'effet de l'automatisation, essentiellement lié à l'efficacité : l'utilisation de systèmes de production robotisés ou de systèmes juste-à-temps en sont des exemples, ce qui a entraîné une augmentation de la productivité ou une réduction des coûts (Hitt et Brynjolfsson, 1996 ; Mukhopadhyay, Kekre et Kalathur, 1995). Le deuxième effet, celui de l'information, découle de la capacité des TIC à recueillir, stocker, traiter et diffuser des informations. Cet effet améliore la qualité de la prise de décisions, de la communication et des relations avec les intervenants, de la qualité de la planification et de l'efficacité globale de l'organisation (Goodhue, Wixom et Watson, 2002). Troisièmement, l'effet transformationnel, qui fait référence à la capacité des TIC de faciliter et de soutenir l'innovation et le changement dans la façon dont les processus d'entreprise sont exécutés. Cet effet peut se traduire par une réduction du temps de cycle, une plus grande réactivité et une plus grande souplesse de l'organisation et une refonte de la structure organisationnelle.

Davenport et al. (2004) soutiennent que l'impact de ces types de systèmes sur le rendement se fait par l'intermédiaire de trois vecteurs : intégration, optimisation et information. L'intégration découle de la centralisation et de la normalisation des bases de données et des applications, de la facilité d'accès et du partage de l'information dans l'ensemble de l'organisation ainsi qu'avec ses principaux partenaires commerciaux. L'optimisation est liée à l'amélioration, au changement ou à la réorganisation des processus opérationnels et à l'ajustement mutuel entre les pratiques de travail actuelles ou souhaitables et le système. L'information se rapporte à l'utilisation du système pour améliorer la prise de décision dans l'entreprise et implique la production

d'information fiable, cohérente, complète, opportune et accessible dans l'ensemble de l'organisation.

En examinant le cadre technologique de l'industrie 4.0, nous pouvons cartographier des impacts plus spécifiques que ceux décrits ci-dessus.

#### **4.2.2 Les Clients**

On s'attend à ce que ces technologies permettent aux clients d'avoir des expériences plus adaptées et plus intéressantes, de la recherche initiale aux ventes en passant par la gestion des comptes et le service après-vente (Hood et al., 2016 ; Cotteleer et Sniderman, 2017). Les clients peuvent interagir avec l'entreprise à travers plusieurs points de contact, qui génèrent des données pouvant être agrégées avec des informations historiques et des données provenant d'autres clients pour mieux comprendre et même prédire les préférences des clients ou être réintégrées dans le processus de recherche et développement pour éclairer des offres mieux conçues (Cotteleer et Sniderman, 2017). Ces informations recueillies à partir de systèmes connectés peuvent améliorer les stratégies de vente et de commercialisation, développer l'expérience client et permettre aux entreprises et à leurs partenaires d'offrir un soutien après-vente aux clients, renforçant ainsi la relation client (Hood et al., 2016 ; Cotteleer et Sniderman, 2017). Le « voyage » du client sera déterminé non seulement par le produit physique, mais aussi par les informations, les analyses et la personnalisation qui rendent l'interaction du client avec cet objet plus transparente, ainsi que par la manière dont l'entreprise agit sur les points de vue qu'ils recueillent. Grâce à des produits connectés, à la commercialisation numérique, à des chaînes de valeur connectées, les entreprises maintiendront un degré plus élevé de connexion tant à l'intérieur qu'à l'ensemble de leur réseau et monétiseront mieux leurs produits et services (Hood et al., 2016 ; Cotteleer et Sniderman, 2017).

#### **4.2.3 Processus et chaîne de valeur**

Chaque entreprise a sa propre chaîne d'approvisionnement, même si elle peut être assez unique en tenant compte de la spécificité de chaque entreprise (Cotteleer et Sniderman, 2017). Ces chaînes d'approvisionnement sont composées de matériaux, de pièces et d'autres substances physiques, mais aussi de données, d'informations et d'expertise sur lesquelles les entreprises comptent pour fonctionner. L'industrie 4.0 a permis l'émergence d'usines intelligentes, permet l'interconnexion des capacités logistiques et des réseaux d'approvisionnement et informe les

processus de planification et d'inventaire, permettant aux entreprises d'apprendre et d'améliorer leurs décisions (Cotteleer et Sniderman, 2017).

Grâce à l'intégration des technologies de l'IoT (Internet des objets), des logiciels intégrés qui collectent les données des machines, de la production, des pièces, des robots et l'apport de l'IA (qui utilise toutes les données collectées pour apprendre et optimiser), les entreprises apprennent instantanément au lieu de suivre les processus de façon linéaire et de fonctionner de façon réactive. Ces changements peuvent conduire à des produits, des systèmes et des services mieux conçus et à des décisions plus judicieuses, éventuellement à une utilisation plus efficace des ressources, et à une meilleure capacité de prévoir les besoins futurs (Mussomeli et al., 2016 ; Cotteleer et al., 2016 ; Cotteleer et Sniderman, 2017). Ce processus relie l'ensemble du processus de conception et de production à un ensemble unifié de données qui s'étend du concept initial de conception à la partie terminée (Cotteleer et al., 2016 ; Cotteleer et Sniderman, 2017). Avec toute cette intégration et ces données, les entreprises sont en mesure de prévoir et de comprendre leurs machines (état et capacité), leurs installations, et de simuler des scénarios possibles et de comprendre les impacts des changements dans un nœud de la chaîne de valeur sur le reste du réseau (Parrott et Warshaw, 2017 ; Cotteleer et Sniderman, 2017). Tang (2018) illustre ce processus dans une société qui utilise les technologies émergentes pour développer un processus de fabrication intelligent en réalisant une intégration verticale : l'entreprise utilise des capteurs pour collecter les données de fabrication à des fins d'analyse, où les résultats sont affichés sur un système mobile immédiatement pour les gestionnaires et les opérateurs contrôlant le processus de fabrication et la productivité.

L'idée de la **chaîne de valeur** est fondée sur la vision des processus dans les organisations, à savoir l'idée de considérer une organisation de fabrication (ou de service) comme un système, composé de sous-systèmes chacun avec des intrants, des processus de transformation et des extrants. La manière dont les activités de la chaîne de valeur sont menées détermine les coûts et affecte les bénéfices. (Porter, 1985)

L'industrie 4.0 transforme l'entreprise qui mène le changement, de processus et d'opérations métiers linéaires et séquentiel.les en systèmes unifiés, ouverts et connectés, qui peuvent modifier l'industrie et jeter les bases d'une façon pour les entreprises d'opérer, collaborer et d'être compétitives dans l'avenir (Mussomeli et al., 2016 ; Cotteleer et Sniderman, 2017). Les technologies numériques intelligentes, connectées et mobiles modifient la façon dont les consommateurs et les autres intervenants interagissent avec une entreprise ou ses produits et services.

Mais ce ne sont pas seulement la chaîne d'approvisionnement ou les processus de fabrication qui changent. Les opérations commerciales et la croissance des recettes sont également touchées. Les entreprises deviennent plus efficaces et durables, réduisant les pertes de temps et de coûts, et améliorent leur capacité à motiver et à mobiliser les travailleurs. Les améliorations opérationnelles comprennent des augmentations de productivité découlant de l'amélioration de l'efficacité de la main-d'œuvre et de la gestion des coûts et de l'exactitude des



calendriers (surveillance intelligente, optimisation, maintenance prédictive) ainsi que des réductions de risques (comme l'atténuation des risques relatifs aux fournisseurs, aux données et géographiques, et comme la garantie de la disponibilité des approvisionnements) (Mussomeli et al., 2016 ; Cotteleer et Sniderman, 2017). La capacité à corriger et à apprendre des données en temps réel peut rendre les organisations plus proactives, plus flexibles, plus efficaces et davantage dans l'anticipation, et permet à l'organisation d'éviter les temps d'inactivité opérationnels et d'autres problèmes de productivité (Cotteleer et al., 2016). La croissance des revenus peut comprendre des améliorations progressives des revenus, comme l'utilisation de données sur les clients pour mieux comprendre ces clients et trouver de nouvelles sources de d'efficacité sur les activités clés et de nouvelles sources de revenus. On peut citer par exemple l'utilisation des données de systèmes connexes pour créer de nouveaux produits ou services, ou l'utilisation de données commerciales ou marketing avec des technologies numériques pour se diversifier vers de nouveaux marchés (Mussomeli et al., 2016 ; Cotteleer et Sniderman, 2017).

#### **4.2.4 Les Produits**

L'utilisation d'objets portatifs et de capteurs, de dispositifs d'IoT, de collecte et d'analyse de données, ainsi que le « *machine learning* », la fabrication avancée sous forme de fabrication additive, le contrôle numérique informatique avancé et la robotique peuvent conduire à des produits et services totalement nouveaux. Il permet de réaliser rapidement des prototypes et des tests et de se connecter à des produits qui n'étaient pas encore connectés, à de nouvelles offres innovantes (Parrott et Warshaw, 2017 ; Cotteleer et Sniderman, 2017). Ces produits deviennent intelligents et ouvrent la porte à de nouveaux modèles d'affaires, car les entreprises peuvent vendre des données et des services en plus des objets physiques. Les données provenant de produits sur le terrain pourraient également être très importantes. Les signaux numériques provenant des interactions des clients avec des ensembles d'objets connectés lors de l'utilisation de produits ou services, ou provenant des objets connectés eux-mêmes, peuvent permettre un meilleur service, une amélioration des garanties, une meilleure visibilité des schémas d'utilisation et des données à monétiser (Parrott et Warshaw, 2017 ; Cotteleer and Sniderman, 2017)

#### **4.2.5 Décisions/Organisation**

L'industrie 4.0 représente un changement non seulement sur la façon dont les entreprises pourraient fonctionner et les produits être fabriqués, mais aussi sur les écosystèmes spécifiques - les fournisseurs, les clients, les considérations réglementaires, les investisseurs, ainsi que d'autres experts et influenceurs externes - fonctionner et interagir. Les technologies de l'industrie 4.0 créent le potentiel d'interactions entre chaque point d'un réseau. Ces types d'investissements ajoutent une dimension stratégique puisqu'ils modifient la façon dont l'organisation est en concurrence ou même la nature de ses produits (Turner et Lucas, 1985). L'effet global de l'industrie 4.0 améliore la prise de décisions, la communication et les relations avec les



intervenants, la qualité de la planification et l'efficacité globale de l'organisation (Goodhue, Wixom et Watson, 2002). Ainsi, les parties prenantes peuvent travailler ensemble plus efficacement, en utilisant un flux constant de données provenant de systèmes connectés pour apprendre et s'adapter à de nouvelles conditions, et même commencer à prédire plutôt qu'à réagir (Cotteleer et Sniderman, 2017). Néanmoins, cela signifie une complexité accrue au cours d'une période de transformation, avec des capacités technologiques en évolution rapide, une complexité accrue de la chaîne d'approvisionnement et une fragmentation mondiale de la production et de la demande, des pressions concurrentielles croissantes de sources inattendues, des effets verrouillés de certains fournisseurs (logiciels et analyses de données), des réalignements organisationnels résultant du mariage des technologies numériques et physiques et des problèmes de talent persistants (Cotteleer et Sniderman, 202100100000). En résumé, les investissements traditionnellement combinés comme étant ceux liés à l'industrie 4.0 peuvent avoir les effets suivants :

### **Prise de décision et stratégie**

1. Meilleures décisions (basées sur des données réelles en continu) - ces décisions peuvent être optimisées et automatisées
2. Nouveaux modèles d'entreprise
3. Amélioration de la coordination et de la communication
4. Décisions globales

### **Innovation et ressources humaines**

1. Innovation collaborative
2. Innovation directement liée au client (collecte de données) à partir des produits, interactions avec les clients, etc.
3. Produits et processus nouveaux et améliorés
4. L'innovation est axée sur les besoins humains (moins d'une taille unique pour tous)
5. Tâches répétitives (mentales et physiques) remplacées par intellectuelles - plus de satisfaction
6. Nouvelles compétences requises

### **Client et marché**

1. Satisfaction accrue des clients
2. Réduction du temps de mise sur le marché
3. Augmentation des coûts en évolution (coûts plus liés aux fournisseurs)
4. Intégration en temps réel
5. Communication au sein de la chaîne de valeur

### **Efficiences et Organisation**

1. Optimisation

2. Durabilité accrue
3. Collaboration et information accrues
4. Plus de flexibilité
5. Réduction des coûts
6. Surveillance préventive et intelligente - réduction des coûts dans toute la chaîne de valeur

## 4.2.6 Les changements pour la main d'oeuvre

### Impacts sur le travail

L'industrie 4.0 signifie probablement des choses différentes pour différentes personnes. Comme nous l'avons vu pour le client, l'industrie 4.0 pourrait permettre une plus grande personnalisation, moins de coûts, de meilleures solutions. Pour les gestionnaires, l'efficacité accrue, les nouveaux modèles d'affaires, les nouvelles façons de créer de la valeur représentent un changement dans le travail qu'ils sont censés accomplir et dans la façon dont ils sont censés le faire (Cotteleer et Sniderman, 2017).

L'automatisation et les usines intelligentes, les systèmes omniprésents et connectés, l'analyse des données et l'IA, les services logiciels, les chaînes de valeur intégrées ont un impact important sur les travailleurs, les compétences dont ils peuvent avoir besoin, la nature des tâches et des rôles. Bien que plusieurs de ces technologies permettent de réduire la main-d'œuvre, la vérité est que pour l'instant, cela ne signifie pas nécessairement la perte d'emplois : au Royaume-Uni, par exemple, la technologie a contribué à la création de 3,5 millions de nouveaux emplois entre 2001 et 2015, même si elle a contribué à la perte de 800 000 emplois (Cutler et Lewis, 2016 ; Mariani et al., 2017 ; Schwartz et al., 2017).

### Interaction Homme-Machine

Les technologies numériques et physiques intelligentes peuvent être utilisées comme outils pour améliorer les emplois des travailleurs et faciliter leurs tâches. Les technologies autonomes peuvent fonctionner aux côtés des gens - chacun tirant parti de ses forces inhérentes pour atteindre un résultat supérieur à ce que l'un ou l'autre d'entre eux pourrait accomplir seul. Les tâches répétitives et banales ne sont plus une entreprise humaine, permettant aux travailleurs d'accomplir des tâches complexes, variables et souvent imprévisibles qui nécessitent une capacité d'accès et de compréhension des données, mais aussi d'exercer leur créativité. Les êtres humains et les machines travailleront en coopération. Le système cyber-physique, les machines et les logiciels sont des outils qui jouent un rôle de soutien, tandis que la main-d'œuvre qualifiée conservera un rôle déterminant (Buhr, 2015). Il est probable que les tâches soient partiellement virtualisées et réorganisées dans des processus en temps réel qui étaient précédemment manuels et critiques (Geisberger et Broy, 2012) ; Ludwig et al., 2018).

Néanmoins, les processus de production complexes doivent être analysés en temps opportun et construits in situ pour les employés, ce qui génère le défi d'une conception de nouveaux systèmes d'interaction ouvrier/machine plus centrée sur les travailleurs (Ludwig et al., 2018). Le problème est d'équilibrer les systèmes autonomes qui sont contrôlés de l'extérieur (par IA) avec la nécessité de donner aux employés un certain contrôle dans des situations spécifiques, et ainsi ajuster et restaurer un processus de travail réglementé. Il est donc nécessaire de développer des concepts pour soutenir la transmission des compétences aux employés et de mettre au point de nouvelles interfaces utilisateur et de nouveaux outils de soutien, d'un point de vue technologique, pour permettre aux utilisateurs de suivre le développement, de comprendre les machines de manière indépendante et de les utiliser efficacement pour leur propre travail (Ludwig et al., 2018).

La transformation de l'industrie 4.0 produira de meilleurs résultats si la relation homme-machine est conçue de manière positive. Il s'agit d'une approche centrée sur l'homme plutôt que sur la technologie et d'une tentative de solutions conviviales pour les travailleurs de la production (Schröder et al., 2017). Pour que ce processus fonctionne, il faut que les travailleurs qualifiés affectés dans les PME participent activement au développement et à la mise en œuvre de technologies en réseau. L'objectif est de créer des interfaces robustes qui sont aussi intuitives et fournissent des informations sur mesure pour faire face aux problèmes qui surviennent en apportant un soutien efficace aux employés (Schröder et al., 2017).

### **Stress**

Ludwig et al. (2018) indiquent que l'industrie 4.0, tout en fournissant des solutions logicielles qui aident à surveiller les usines, les chaînes de valeur, les produits en temps réel, à chaque fois et partout, peut aggraver l'équilibre entre le travail et la vie personnelle (puisque les travaux sont disponibles et peuvent utiliser des logiciels à distance). Les activités critiques dans les environnements de travail sont remises en cause par la fourniture croissante d'informations en temps réel et par les exigences généralement complexes en matière de traitement de l'information (tâches multiples, interruptions fréquentes de travail et demandes changeantes, etc.), ce qui nuit aux travailleurs (Ludwig et al., 2018).

La transformation numérique de la société et de l'économie implique une nouvelle sensibilité à négocier avec les employés face à ces exigences. Elle exige également de nouvelles lignes directrices combinées sur les heures de travail - par exemple, au moyen d'accords opérationnels. Les restrictions peuvent être établies au moyen de conditions avancées portant sur les limites entre le travail et la vie personnelle. Les employés peuvent éviter ainsi un stress inapproprié, même dans des contextes de travail qui sont fortement automatisés et auto-organisés (Ludwig et al., 2018).

### **Chômage**

L'automatisation accrue pourrait signifier la diminution de la valeur du travail humain et le fait que la technologie assume à terme les tâches de surveillance et de contrôle (Buhr, 2015 ; Schröder et al., 2017). Malgré tout, l'évidence suggère qu'une production centrée uniquement sur la technologie, dans laquelle les êtres humains jouent un rôle secondaire dans le processus de production, n'est pas encore souhaitable (Schröder et al., 2017).

### **Hiérarchies**

Les hiérarchies dans la production changeront, même si on ne sait toujours pas dans quelle mesure (Schröder et al., 2017). La production en réseau est pilotée par une planification plus décentralisée. Les décisions, la gouvernance et le contrôle peuvent être délégués à des niveaux inférieurs et, de cette façon, les anciennes activités des travailleurs de la production pourraient être améliorées. En outre, en raison de l'augmentation des données en temps réel, de nombreux emplois indirects seront créés autour de la production (Schröder et al., 2017).

Dans le même temps, comme on l'a vu plus haut, des activités manuelles simples (ou des tâches répétitives intellectuelles) seront automatisées et cesseront d'être exécutées par des êtres humains, libérant ainsi les travailleurs vers des tâches plus créatives et leur donnant plus de pouvoir (Schröder et al., 2017).

### **Compétences et formation**

Les nouvelles technologies et la façon dont elles sont intégrées dans les fonctions et les flux de travail quotidiens peuvent conduire à de nouveaux besoins de formation. Les personnes devront naviguer dans la façon dont elles interagissent avec les technologies de l'industrie 4.0 et y travaillent, ainsi que dans la façon dont leurs responsabilités et leurs rôles peuvent évoluer en conséquence (Cutler et Lewis, 2016 ; Mariani et al., 2017 ; Schwartz et al., 2017).

Les connaissances en TIC seront nécessaires à tous les niveaux d'exploitation et de gestion, non seulement parce que l'industrie 4.0 implique l'intégration des technologies de l'information et des machines et que les opérateurs de machines devront posséder les connaissances en TIC nécessaires, mais aussi parce que les frontières des entreprises seront de plus en plus floues. L'industrie 4.0 comprend également l'intégration de divers systèmes informatiques le long de la chaîne de valeur. Le personnel des ventes sera en mesure de mettre en mouvement les processus de production directement à partir d'une tablette et de donner aux clients assis à côté d'eux des informations de production en temps réel sur l'état d'avancement de leur commande. Une compréhension des processus et de leurs conséquences est également un avantage (Cutler et Lewis, 2016 ; Mariani et al., 2017 ; Schwartz et al., 2017).

Mais les compétences informatiques ne sont pas les seules à être importantes. Par exemple, étant donné que les fonctions décentralisées de planification et de contrôle sont déléguées aux niveaux opérationnels, les compétences en matière d'action autoguidée et d'auto-organisation deviendront de plus en plus importantes (Schröder et al., 2017), les employés

devraient donc développer des compétences afin de pouvoir constamment introduire des améliorations dans le processus de production.

De même, il devient de plus en plus important de comprendre rapidement les procédures et les processus qui ne relèvent pas de son domaine de compétence. Dans le même temps, la capacité d'effectuer des travaux coopératifs et interdisciplinaires, de communiquer et d'intégrer les connaissances aux niveaux horizontal et vertical devient essentielle (puisque les réseaux verticaux et horizontaux et les liens étroits d'information entre les fournisseurs et les clients réduisent de plus en plus la différenciation commune des travaux de fabrication, de service et d'administration) (Ludwig et al., 2018). Le travail traditionnel devient moins découpé en tâches spécifiques ; il tend à être "hybride", comme les réseaux d'entreprises.

Ces nouvelles réalités créent la nécessité de se concentrer sur les possibilités de qualification liées à l'emploi et sur la "formation au travail" (Jacobs et Bu-Rahmah, 2012 ; Ludwig et al., 2018). Cela comprend des connaissances intégratives et complètes (connaissances sur les processus, compétences opérationnelles, capacité de comprendre des procédures de travail inconnues, compétences sociales et analytiques et optimisation des interfaces de rôles) qui ne sont pas soumises à l'activité spécifique des employés (Ludwig et al., 2018).

Dans le contexte de l'industrie 4.0, la formation avancée et l'apprentissage tout au long de la vie deviennent de plus en plus importants. Les possibilités d'acquisition de compétences et de qualification supposent l'analyse des exigences d'une tâche spécifique et la mise en place d'employés en mesure de les satisfaire. Les communautés de pratique et de coopération jouent un rôle important dans l'acquisition de compétences professionnelles (Ludwig et al., 2018). Par conséquent, il est nécessaire de créer de nouveaux processus de développement des compétences avec la technologie des réseaux et aussi de nouveaux processus concernant la capitalisation et la réutilisation de l'expérience et son partage entre les employés de l'entreprise ou même au-delà (Ludwig et al., 2018).

### **Gestion du capital humain**

Mais le problème n'est pas simplement d'acquérir de nouvelles compétences ou de planifier de nouvelles carrières et de meilleures carrières. Les organisations doivent également se concentrer sur le leadership, les structures, la diversité, la technologie et l'expérience globale des employés par des voies nouvelles et passionnantes (Cutler et Lewis, 2016 ; Mariani et al., 2017 ; Schwartz et al., 2017).

Dans le même temps, les gestionnaires ne peuvent plus considérer leur main-d'œuvre uniquement comme des 'lignes' dans leurs bilans comptables, mais doivent inclure des acteurs externes indépendants, des travailleurs d'une économie internationalisée et un grand nombre de nouveaux acteurs (depuis que les frontières sont floues). Ces employés dans les bilans et hors bilans sont en train d'être « améliorés » à l'aide de machines et de logiciels (par exemple, les conducteurs Uber qui utilisent leur plate-forme) (Cutler et Lewis, 2016 ; Mariani et al., 2017 ;

Schwartz et al., 2017). Cela exige l'adoption d'une approche de gestion du capital humain, qui s'écarte des pratiques de RH linéaires traditionnelles (de la formation et du perfectionnement à la gestion de la culture) pour adopter des approches plus holistiques (Cutler et Lewis, 2016 ; Mariani et al., 2017 ; Schwartz et al., 2017).

Pour résumer, nous pouvons identifier des changements radicaux qui interviendront dans et pour la main-d'œuvre, que ce soient par l'acquisition de nouvelles compétences, la mise en place de nouvelles façons d'organiser cette main-d'œuvre et également par des changements dans l'apprentissage.

## 5. Innovation et Nouveaux Modèles Économiques

Vítor Hugo Ferreira, Polytechnique de Leiria

### 5.1 Modèles économiques : définitions

Un modèle est toujours une simplification d'une réalité complexe (Stähler, 2002). D'après Osterwalder et Pigneur (2010), un modèle économique est essentiellement un outil qui aide les entrepreneurs à identifier, visualiser et définir leur vision économique d'une manière qui reflète les valeurs fondamentales du produit ou du service qu'ils fournissent au client à travers l'entreprise qu'ils pilotent. La planification réduira au minimum les dépenses et la consommation de temps, mais simultanément contribuera encore plus à transformer les objectifs de l'entreprise en activités et tâches opérationnelles (Delmar et Shane, 2003 ; Schwarzkopf, 2016).

Le but d'un **modèle économique** est d'identifier la façon dont l'entreprise formulera une proposition de valeur à ses clients, donc de définir la valeur pour elle-même, c'est-à-dire de déterminer la façon dont une organisation crée, fournit et génère de la valeur.  
(Osterwalder et Pigneur, 2010)

Meira (2013) définit un modèle économique comme l'interconnexion de processus et de méthodes, qui structurent l'activité de l'entreprise elle-même. Le produit ou le service mis sur le marché devrait apporter une réponse au problème des clients que cible l'entreprise (Schwarzkopf, 2016). De plus, il ne faut pas confondre un modèle économique avec un plan d'affaires.

Selon Meira (2013), la création de valeur est une question essentielle à laquelle chaque entrepreneur doit s'attaquer lorsqu'il envisage une solution à un problème (Schwarzkopf, 2016). Beaucoup d'entrepreneurs, mais aussi de grandes entreprises ont des difficultés à définir leur modèle d'entreprise. Aujourd'hui, un large éventail d'outils, de modèles et de concepts aide les entrepreneurs à décrire leur modèle économique et la valeur ajoutée fournie et perçue que l'entreprise, le produit ou le service apporte (Schwarzkopf, 2016).

Les définitions du terme « modèle économique » varient, mais la plupart d'entre elles englobent la « création de valeur » qui est une valeur pour le client, et le « cout de valeur », c'est-à-dire les processus internes à l'entreprise nécessaires pour la création et la perception de valeur (Gudiksen, Poulsen et Buur, 2014).

Le but d'un modèle économique est de déterminer comment l'entreprise formalisera une proposition de valeur à ses clients, ce qui lui permettra de définir la valeur pour elle-même (Johnson, 2010), c'est-à-dire de déterminer la façon dont une organisation crée, fournit et génère de la valeur (Osterwalder et al., 2010). De même, Linder et al. (2000) définissent le modèle économique comme la logique d'une organisation pour la création de valeur. « Le modèle

économique décrit comment une entreprise interagit avec des entités externes intéressées, avec lesquelles elle entreprend des échanges économiques afin de créer de la valeur pour toutes les parties concernées » (Zott et al., 2007). De cette façon, ce modèle peut être utilisé comme un outil puissant d'analyse, de mise en œuvre et de communication des choix stratégiques (Shafer et al., 2005). Lorsqu' « un nouveau modèle modifie les orientations économiques d'une industrie et qu'il est difficile de le reproduire, il peut en soi créer un avantage concurrentiel important » (Magretta, 2002). Le modèle économique peut donc être utilisé comme un outil facilitant l'analyse, le test et la validation de choix stratégiques pour l'entreprise, mais il ne doit pas être assimilé à une stratégie en soi (Shafer et al., 2005).

Pour Johnson et al. (2008), le modèle économique est défini comme l'interconnexion de quatre éléments qui, ensemble, créent et distribuent de la valeur, à savoir : la proposition de valeur, le modèle de profit, les ressources clés et les processus clés.

Chesbrough (2010) et Chesbrough et al. (2002) présentent une vue détaillée d'un modèle économique comme moyen de promouvoir de nouvelles idées et technologies, et remplissant les fonctions suivantes :

- L'articulation de la proposition de valeur ;
- L'identification d'un segment de marché et la spécification du mécanisme générateur de revenus ;
- La structuration de la chaîne de valeur nécessaire à la fourniture de la proposition de valeur et des actifs complémentaires nécessaires pour soutenir la chaîne de valeur ;
- La description détaillée du mécanisme générateur de revenus par lequel l'entreprise sera rémunérée pour son offre ;
- L'estimation de la structure de coûts et du potentiel de rentabilité, compte tenu de la proposition de valeur et de la structure de la chaîne de valeur ;
- La description de la position de l'entreprise dans la chaîne de valeur en interconnexion avec les fournisseurs et les clients ;
- La formalisation de la stratégie de l'entreprise par laquelle l'entreprise, innovante, gagnera puis conservera son avantage sur ses rivaux.

En conclusion, un modèle économique décrit la façon dont s'assemblent les différents constituants de l'entreprise. Il explique comment la valeur est créée et livrée au client, à quel coût et comment l'entreprise génère des revenus en le faisant (Sniukas, 2012, p. 8).

## 5.2 Modèles économiques pour l'innovation

Indépendamment de leur définition, les modèles économiques peuvent eux-mêmes constituer un véhicule pour l'innovation. Les entreprises disruptives comme Uber, Airbnb ou Lime



n'ont pas fourni de technologies innovatrices significatives, mais ce qu'elles ont fait, c'est innover en termes de modèles économiques. L'innovation dans les modèles économiques constitue un axe de recherche à part entière dans la littérature sur les modèles économiques, qui reconnaît les modèles économiques comme une source potentielle d'innovation au même titre que l'innovation dans les produits, les services, les processus et les organisations (Weking et al., 2018 ; Foss et Saebi, 2017 ; Zott et al., 2011). Les innovations dans les modèles économiques « sont des changements conçus, nouveaux et non triviaux portant sur les éléments clés du modèle économique de l'entreprise et/ou de leurs interconnexions » (Foss et Saebi, 2017).

### *5.3 Evolution des modèles économiques pour l'industrie 4.0*

La façon dont les entreprises créent de la valeur et dont les différents constituants du modèle économique interagissent entre eux, est en train de changer radicalement dans le contexte de l'industrie 4.0. Fuller et Haefliger (2013) soutiennent que les modèles économiques sont fondamentalement liés à l'innovation technologique (bien que le concept soit essentiellement séparable de la technologie). Fuller et Haefliger (2013) affirment que les modèles économiques servent de médiateur entre la technologie et la performance de l'entreprise, et que la bonne technologie est aussi une question de décision en matière de modèle économique en ce qui concerne l'ouverture et l'engagement des utilisateurs. Ainsi, via les concepts de l'industrie 4.0 de nouveaux modèles économiques émergent, liés à différentes technologies.

La technologie est, bien sûr, en train de transformer les entreprises de tous les secteurs. Le 'cloud' et les périphériques connectés sont de plus en plus omniprésents, et les entreprises commencent à utiliser leurs informations pour mieux connaître leurs clients en temps réel. Il n'est donc pas surprenant que, selon le récent rapport de Dimension Data sur les espaces numériques de travail, 25 % des entreprises investissent dans de nouveaux outils numériques tels que l'analyse des activités dans les espaces numériques de travail, la réalité augmentée et la micro-formation (Dimension Data, 2018). Des solutions comme l'IA et l'apprentissage automatique sont également intégrées dans de nombreux domaines de travail, du bureau au magasin. Une grande partie du travail transactionnel et routinier d'une organisation sera gérée par des machines intelligentes.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les CPS (Cyber-Physical Systems), l'IA et les données massives (Big Data) font partie intégrante des différentes technologies de l'industrie 4.0. L'intégration des CPS et de l'IoT dans la fabrication permet de rendre des machines et des procédés « intelligents », des produits « complexes », tout en permettant l'apparition de nouveaux systèmes et d'usines « autonomes » (Hermann et al., 2016 ; Weking et al., 2018). Ces éléments peuvent se connecter et échanger des informations de manière autonome, déclencher des actions indépendantes et piloter la production (Pereira et Romero, 2017 ; Ramsauer, 2013 ; Weking et al., 2018). Il en résulte l'émergence d'une usine intelligente dotée « de capteurs,

d'acteurs et de systèmes indépendants » (Lasi et al., 2014 ; Weking et al., 2018). Cette usine intelligente peut « aider les personnes et les machines à réaliser leurs tâches en tenant compte du contexte » (Hermann et al., 2016) en s'appuyant sur l'information du monde physique et virtuel. D'autres concepts fondamentaux de l'Industrie 4.0 sont l'intégration horizontale et verticale de bout en bout (Weking et al., 2018). L'intégration horizontale combine les ressources, les processus et est intra- et inter-organisationnelle, tout au long de la chaîne de valeur. L'intégration verticale fait référence aux sources de données au sein d'une organisation (Kagermann et al., 2013 ; Weking et al., 2018).

L'utilisation intégrale des CPS et d'autres technologies intelligentes exige que les entreprises déploient en outre des technologies informatiques complémentaires (Schröder, 2017). L'analyse des données fait partie intégrante de cette intégration : ainsi un logiciel est nécessaire pour analyser les grandes quantités de données générées par les CPS afin de piloter, réguler ou surveiller les processus centrés objectifs (Schröder, 2017). Cela entraîne un besoin de performances accrues des équipements et de nouvelles connexions Internet, ce qui rend possibles des modèles économiques plus avants : un CPS intégré permet à un fabricant de turbines de fournir à ses clients une maintenance à distance et, à la fin du cycle de vie du produit, le recyclage en tant que services supplémentaires (Schröder, 2017). En même temps, cela conduit au domaine croissant de la maintenance prédictive où l'IA anticipe sur les besoins de réparation/maintenance des pièces et des biens, en optimisant le temps et les coûts (Oracle, 2018). Il y a un nombre croissant de start-ups dans ce domaine qui utilisent des capteurs associés aux machines pour collecter des données : l'analyse prédictive qui en découle réduit les temps d'inactivité jusqu'à 45 %. De plus, la productivité augmente de 25%. C'est l'ère de la création de nouveaux modèles économiques par le biais d'une surveillance proactive se traduisant par un meilleur service au client (Machine Sense, 2018).

Dans le même temps, de nouvelles entreprises émergent pour proposer des services basés sur les matériels et les logiciels nécessaires pour faire face à de grands flux de données en temps réel, en utilisant des technologies basées sur le 'cloud'. Ces fournisseurs de services de type « Cloud Computing » mettent l'infrastructure informatique à la disposition de leurs clients en ligne, permettant ainsi à d'autres entreprises de réduire leurs investissements dans leur propre infrastructure et d'accroître leur efficacité. L'utilisation des CPS aide également les entreprises à se connecter à des réseaux de création numérique intégrée, verticale et horizontale. Grâce à ces plateformes virtuelles dans le 'cloud', les entreprises peuvent accéder au suivi de leur production et en fonction de leurs besoins coordonner les étapes de leur production en temps réel (Schröder, 2017). Cela peut permettre à certaines entreprises de « louer » la capacité de leurs machines à des entreprises ayant des goulets d'étranglement en matière de capacité.

Ces technologies permettent donc aux entreprises de vendre des données et des services en plus des objets physiques. De plus, les produits intelligents peuvent générer des flux provenant des interactions entre les clients et des dispositifs présents sur le terrain, ou provenant des

dispositifs eux-mêmes, ce qui permet par la suite d'améliorer les services, les garanties affichées, la visibilité des modèles d'utilisation réels et la monétisation des données (Deloitte, 2018).

## 5.4 Nouveaux types de modèles économiques pour l'industrie 4.0

Pour donner suite à la discussion précédente et en intégrant les idées issues du rapport élaboré par PwC (2016), nous soulignons de nouveaux "domaines" d'activité pour l'industrie 4.0, précisés dans le tableau 5-1.

**Table 5-1 : Nouveaux domaines d'activité pour l'Industrie 4.0**

Nouveaux modèles économiques « numériques »	Ingénierie numérique	Intégration verticale	Intégration de la chaîne de valeur horizontale	Maintenance et services intelligents	Espaces de travaux numérisés	Ventes et Marketing digitaux
Optimisation processus numériques Modèle "Pay per use" – "payer à l'usage" Gestion de plateformes globales Gestion des performances et analyses de type "Big Data"	R&D collaborative et numérique Modèles numériques virtuels pour le prototypage rapide et la simulation	Usine intelligente Automatisation des lignes de production Systèmes MES Gestion des actifs numériques	Centre de contrôle de la chaîne de valeur Approvisionnement numérisé Gestion des transports et logistique numérisés Sites intelligents Planification demande / fournisseurs	Maintenance préventive Ingénierie numérique intégrée Solutions de Réalité Augmentée	E-finance / contrôles Ressources Humaines Digitales Partage des connaissances internes Systèmes agiles	CRM digital Commerce multi-canaux Portails pour le self-service Services personnalisés de marketing et de ventes E-paiements

Déclencheurs :

Cyber sécurité	Infrastructure réseau	Agilité des systèmes	Culture organisationnelle numérique
----------------	-----------------------	----------------------	-------------------------------------

**Source :** adaptée de PwC (2016)

Les nouveaux modèles d'affaires numériques incluent l'analyse ou la création d'algorithmes pour les entreprises de production qui peuvent vouloir externaliser ce type de service et d'autres services tels que l'analyse des données massives et la gestion des performances.

L'ingénierie numérique comprend les entreprises qui fournissent de la R&D collaborative et/ou aussi des modèles numériques, des prototypes virtuels et des simulations (pour d'autres

entreprises qui n'ont pas cette capacité). Il peut également s'agir d'entreprises qui développent des logiciels de simulation et de prototypage virtuel

Les entreprises qui contribuent à la création d'usines intelligentes (avec du matériel et des logiciels) et qui mettent en place des technologies telles que l'automatisation des machines et les systèmes d'exécution de la fabrication (MES) sont un autre élément de l'écosystème. Au niveau horizontal, nous trouvons des services qui permettent le contrôle de la chaîne de valeur, l'approvisionnement numérique, le transport numérique et la gestion logistique et aident à créer des sites intelligents. Les chaînes de valeur verticales et horizontales et leur intégration sont encore améliorées grâce à des services tels que la maintenance préventive, l'ingénierie numérique intégrée et les solutions de réalité augmentée.

**Systèmes d'exécution de la fabrication - Manufacturing execution systems (MES) :** ce sont des systèmes informatisés utilisés durant la fabrication, pour suivre et documenter la transformation des matières premières en produits finis. Un MES fournit des informations qui aident les décideurs à comprendre comment les conditions existant dans l'atelier peuvent être optimisées pour améliorer la production. Le MES travaille en temps réel pour permettre le contrôle de plusieurs éléments du processus de production. (McClellan, 1997).

PwC (2016) identifie également de nouveaux secteurs de services tels que les technologies qui permettent la gestion numérique des ressources humaines et le contrôle financier des chaînes de valeur intégrées ainsi que d'autres services décrits ci-dessus qui aident les entreprises à atteindre le client (marketing numérique).

Enfin, les services qui favorisent et supportent le développement de l'ensemble de l'écosystème sont nécessaires, comme la sécurité cybernétique (puisque ce paradigme est intimement lié à la collecte de données, les réseaux de personnes et d'appareils et les chaînes de valeur connectées qui sont sujettes aux cyber-attaques). L'infrastructure (machines, capteurs, etc.) et l'agilité du système (l'interconnectivité de toutes les parties) sont fondamentales et certaines entreprises offrent des solutions complètes (par exemple comme Siemens qui fournit déjà des solutions intégrées pour l'industrie 4.0).

Et finalement, de nouvelles façons d'organiser les gens et d'améliorer leurs capacités seront nécessaires. À ce titre, il y aura des possibilités de formation qui pourront utiliser les nouvelles technologies (comme la réalité augmentée) mais aussi la formation traditionnelle afin de permettre aux gens de travailler selon le nouveau paradigme et d'acquérir de nouvelles compétences.

Ibarra et al. (2018) tentent de résumer ces nouvelles possibilités et de présenter les caractéristiques suivantes de l'industrie 4.0 ainsi que leur incidence sur les modèles économiques :

**Table 5-2 : Fonctions, Challenges et spécifications relatives à l'Industrie 4.0**

Fonctions principales de l'Industrie 4.0

Questions affectant les modèles économiques Prérequis pour la transformation numérique

<p>Interopérabilité Virtualisation Décentralisation des décisions Capabilité à réagir en temps réel Orientation « service » Modularité</p>	<p>Mise en réseau et réduction des barrières Flexibilité et personnalisation Production de masse individualisée Production locale Baisse des prix Produits et services intelligents Fragmentation de la chaîne de valeur Globalisation et décentralisation de la production Systèmes de production intégrés horizontalement et verticalement</p>	<p>Standardisation Organisation du travail Disponibilité des produits Nouveaux modèles économiques Protections du savoir-faire Disponibilité des travailleurs expérimentés Investissement en recherche Développement professionnel Cadres législatifs et normatifs</p>
--	--	--

**Source :** Ibarra et al. (2018, p.6)

Ibarra et al. (2018) suggèrent que les caractéristiques du tableau 5-2 conduisent à trois approches possibles : une approche axée sur les **services**, une approche axée sur les **réseaux** et une approche axée sur les **utilisateurs**.

L'industrie 4.0 pousse les entreprises à passer d'un état d'esprit produit à un état d'esprit service (Fleisch et al., 2014 ; Livari et al., 2016 ; Ibarra et al., 2018). Les entreprises manufacturières des économies développées développent leur rôle dans la chaîne de valeur en étendant leurs produits aux **services**, de sorte qu'elles n'ont pas à être compétitives uniquement sur le coût de fabrication (Ibarra et al., 2018).

Un bon exemple de ce modèle est le Véhicule-comme-un-service (Car-as-a-service ou CaaS), qui est essentiellement une extension de la notion de covoiturage utilisant des véhicules sans conducteur. Le CaaS permettra aux gens de réserver une voiture via une application ou d'être utilisé pour les livraisons (IHS Automotive, 2018). IHS (2018) estime que le déploiement de CaaS sans conducteur commencera avant 2025 et aura un impact croissant à mesure que la technologie évoluera et que le volume de voitures sans conducteur augmentera. En outre, la conduite autonome et les coûts connexes réduiront considérablement le coût des services de mobilité dans leur ensemble (IHS Automotive, 2018).

Le concept de « système de service produit » (PSS) est un cadre qui décrit le développement et l'offre combinés d'un ensemble structuré de produits-services spécifiques comme solution pour le client. En conséquence, les fournisseurs, les clients et d'autres partenaires font partie d'un écosystème en réseau autour du CPS (Ibarra et al., 2018). Ainsi, il est clair que les entreprises peuvent déployer de nouveaux modèles d'affaires, comme la vente d'un

produit et sa maintenance (basée sur la maintenance prédictive numérique autorisée par la collecte de données et son analyse) ou transformer le produit en un service clair.

Les offres suivantes illustrent le concept de PSS (Ostaeyen, 2014) :

- Modèle de « paiement à la copie » de Xerox pour la vente d'équipement de bureau ;
- Ensemble de services « Power by the Hour » de Rolls-Royce pour les moteurs d'aéronefs, selon lequel les services d'entretien, de réparation et de révision sont facturés par heure de vol ;
- Service « Contrat Air d'Atlas Copco », par lequel les compresseurs d'air sont vendus par m<sup>3</sup> d'air comprimé livré ;
- Modèle à la carte « pay-per-lux » Philips pour la vente d'appareils d'éclairage, qui permet aux clients de payer un niveau d'éclairage promis dans un bâtiment ;
- Solution de gestion de flotte par Michelin, par laquelle le camion est vendu par kilomètre parcouru.

Quant à l'approche axée sur le **réseau**, Ibarra et al. (2018) indiquent que l'intégration horizontale et verticale des chaînes de valeur et de leur interconnexion peut accroître les frontières traditionnelles des entreprises en raison de l'organisation et du réseau des parties prenantes. Comme nous l'avons déjà mentionné, de nouveaux acteurs viennent proposer de fournir des analyses de données, d'intégrer des chaînes de valeur et des entreprises manufacturières traditionnelles axées sur la vente de produits se sentent progressivement obligées de réviser leurs modèles commerciaux existants en réponse à la nouvelle dynamique concurrentielle (Ibarra et al., 2018).

Enfin, Ibarra et al. (2018) se concentrent sur l'approche axée sur **l'utilisateur**, qui comprend les efforts visant à rendre la fabrication plus réceptive à la conception axée sur l'utilisateur, en s'alignant sur une stratégie de création de valeur pour la clientèle. Grâce à la collecte de données, à des chaînes de valeur intégrées, à des technologies de fabrication numérique, les entreprises sont en mesure de personnaliser les produits pour le client final ou de répondre automatiquement aux exigences B2B. L'Industrie 4.0 fournit la technologie et les processus qui permettent de créer des propositions de valeur pour répondre aux demandes des clients, comme la fourniture de produits personnalisés ou la production par lots (Ibarra et al., 2018). Par conséquent, les entreprises doivent développer de nouvelles compétences dans les deux domaines, en apprenant davantage sur leurs clients (en utilisant les capacités numériques pour obtenir des informations sur leurs clients, en promouvant la prise de décision fondée sur des données probantes, en développant des expériences complètes avec la clientèle, etc.) et en devenant un véritable écosystème au-delà des chaînes de valeur individuelles (grandir par l'établissement de partenariats avec de nouvelles parties prenantes) (Ibarra et al., 2018).

En lien avec ces trois perspectives Ibarra et al. (2018) proposent plusieurs changements affectant le modèle économique de l'entreprise :

**Table 5-3 : Transformation dans les entreprises de production – Nouveaux modèles économiques**

Transformation numérique dans les entreprises de production	Technologies principales	Création de valeur (pour l'entreprise)	Offre de valeur (vis-à-vis du client)	Gain de valeur (pour l'entreprise)
<b>1. Amélioration des processus internes et externes</b>	"Big Data", Informatique dans le "Cloud", Robots collaboratifs, Fabrication Additive, Vision artificielle et réalité augmentée	Traçabilité du produit et des ressources ; production, logistique, contrôle qualité, gestion des stocks et maintenance plus efficaces et meilleure maintenance	Offres plus flexibles : personnalisation, etc.	Optimisation des coûts due à des processus et à des ressources plus efficaces
		Intégration des moyens matériels : connexion des processus internes et connexion de ces processus avec les processus des fournisseurs		
		Formations des salariés : polyvalence généralisée (« être capable de travailler à tout moment sur chacun des postes »), communication plus importante et rapide, partage de connaissances		
		Gestion plus transparente : prise de décision basée sur les données numériques		
<b>2. Amélioration de l'interface utilisateur</b>	"Big Data", Informatique dans le "Cloud", Réalité augmentée ou virtuelle, nouvelles formes d'interaction via de nouveaux dispositifs techniques ou des dispositifs améliorés, approches centrées sur une meilleure compréhension des besoins utilisateurs et intégration des utilisateurs	Conception de nouveaux dispositifs techniques	Segmentation basée sur l'analyse de données	Réduction des coûts
		Collecte de données, supervision et interprétation	Relations plus directes, efficaces et durables sur le long terme	Nouvelles sources de revenus : tarification, paiement à l'usage, paiements en ligne
		Développement de nouveaux services	Ventes numériques plus pertinentes et importantes : large éventail de services, cohérence entre les services, expériences utilisateurs approfondies, services de type self-service offrant des réponses immédiates,	

			réduction des délais et des coûts	
<b>3. Nouveaux écosystèmes et réseaux de valeur</b>	“Big Data”, Informatique dans le “Cloud”, Réalité augmentée ou virtuelle.	Infrastructure métier connectée avec les infrastructures des partenaires clés	Accès aux marchés de nouveaux clients	Augmentation potentielle des gains de valeur liés à la réduction des coûts des parties prenantes
	De cette façon le processus de création de valeur de l’entreprise centrale est lié aux processus des parties prenantes, ce qui permet d’évoluer de la cohabitation de plusieurs chaînes de valeur vers un écosystème complet, en accroissant les connaissances des parties prenantes	Information en temps réel pour la production, inventaires et ventes, disponibilités et personnel	Offre plus étendue de produits	
<b>4. Produits et services intelligents</b>	“Big Data”, Informatique dans le “Cloud”, capteurs intelligents et systèmes embarqués, notamment, qui permettent d’offrir des biens d’équipements et des services innovants et intelligents, comme par exemple des solutions de maintenance déportées ou l’activation de mises à jour à distance pour un produit	Nécessité de nouvelles ressources physiques, humaines et intellectuelles	Produits intelligents collectant des informations en permanence sur les utilisateurs	Nouvelles sources de revenus : tarification dynamique, paiement à l’usage, revenus basés sur la performance
			Innovation dans les services associés : maintenance prédictive, mises à jour de produits à distance, commande de pièces de rechange, etc.	
			co-conception : les utilisateurs sont partie prenante du processus de valeur	
			Relation directe de l’entreprise et des utilisateurs	

**Source :** Adapté de Ibarra et al. (2018)

De même, Weking et al. (2018) ont identifié trois super-archétypes et dix sous-archétypes de modèles d’entreprise pour l’Industrie 4.0 en utilisant une taxonomie créée pour ce contexte. Les trois « super archétypes » sont l’intégration, la « servicisation » et l’expertise en tant que service. En matière de modèles économiques, l’intégration permet d’innover par de nouveaux



produits, la servicisation par un mélange de produits et de processus et l'expertise en tant que service par de nouveaux processus.

L'intégration s'appuie principalement sur de nouveaux canaux et portails en ligne (plateformes d'innovation, magasins en ligne et fabrication numérique). La couverture d'un plus grand nombre de parties de la chaîne de valeur remplace les intermédiaires et permet une réaction plus rapide à l'évolution des demandes des clients (Weking et al., 2018). Il s'agit d'un mélange des idées proposées par Ibarra et al (2018) concernant les produits et services intelligents et l'amélioration de l'interface client.

La **Servicisation** est une transformation correspondant à une innovation, portant sur les capacités et les processus d'une organisation, afin de basculer d'une logique de vente de produit à une logique de vente de produits et services intégrés, délivrant une valeur plus importante pour l'utilisateur lors de l'utilisation du produit. (Baines, et al. 2009)

Weking et al. (2008) proposent trois sous-archétypes différents : l'innovation ouverte (en externe), la production en tant que service et la personnalisation de masse. Le premier souligne la possibilité d'une collaboration en ligne/réseau dans les processus d'innovation. Comme toutes les plateformes sont reliées et que les entreprises peuvent utiliser des technologies virtuelles pour simuler et prototyper, il est possible de coopérer pour créer de nouveaux produits. PwC (2016) parle de R&D collaboratif. La production en tant que service se produit lorsque la chaîne de valeur passe de la production de biens conçus sur mesure par des experts (Industrie 3.0) à la production de biens personnalisés et conçus par des utilisateurs (Industrie 4.0) (Weking et al., 2008). Les entreprises intègrent leurs clients et d'autres intervenants externes dans la conception et le développement de leurs produits.

Les chaînes de valeur sont intégrées de manière que le client final (mais aussi un client B2B) puisse déterminer les caractéristiques du produit qu'il désire, ou bien configurer les spécifications qu'il souhaite dans les magasins ou portails en ligne (Ibarra et al., 2018). Le client final peut déterminer ses caractéristiques propres du produit dans les magasins en ligne, et ces produits individualisés sont produits à des prix compétitifs par rapport aux produits de masse. Les nouvelles techniques de fabrication numérique, comme l'impression 3D, réduisent les coûts de main-d'œuvre humaine et permettent de se rapprocher de la production du marché. Le transfert direct du numérique vers le physique permet de raccourcir les délais de commercialisation (Weking et al., 2018).

Comme nous l'avons déjà dit, Weking et al. (2018) mettent également l'accent sur le volet « servicisation » de l'industrie 4.0. En combinant la qualité d'utilisation des CPS, de l'IoT et de l'analyse de données, les services de supervision à distance des produits et de maintenance prédictive, optimisés par les technologies de l'information, réduisent les temps d'inactivité des ateliers et aident les clients à réduire leurs coûts. Weking et al. (2018) proposent ainsi 3 autres sous-archétypes : partenariats de longue durée, le produit comme un service et le résultat comme un service.

Des partenariats de longue durée sont possibles puisque les entreprises deviennent des fournisseurs de solutions dans ce contexte d'Industrie 4.0, les entreprises ajoutent de nouvelles lignes de revenus grâce à des contrats de services à vie et des abonnements (Weking et al., 2018), offrant des services tels que la maintenance prédictive et la surveillance à distance. Les entreprises qui fournissent des services logiciels génèrent des flux de revenus continus grâce à des contrats pluriannuels et accélèrent la conversion de la nature des coûts pour les clients. De plus, la maintenance prédictive et la surveillance à distance permettent aux entreprises fournisseurs de réduire leurs propres coûts de service en prévoyant plus efficacement les équipes réalisant les services offerts et les visites de maintenance. La surveillance en temps-réel rend la location plus attrayante et permet des modèles de revenus fondés sur l'usage (Weking et al., 2018).

Comme nous l'avons vu précédemment, le produit comme un service signifie que les liens entre les produits et les services deviennent flous : au lieu d'acheter des produits, les clients paient pour l'utilisation et la disponibilité du produit qui peut conduire à un "résultat comme un service". Le résultat comme un service signifie que les entreprises vendent la production ou le résultat de l'utilisation du produit, ce qui permet également des flux de revenus continus. Comme nous l'avons vu plus haut, (Ostaeyen, 2014) donne plusieurs exemples d'entreprises telles que Xerox (modèle à la carte) ou Atlas Copco (service Contrat Air - m<sup>3</sup> d'air comprimé livré) et nous avons discuté des modèles de véhicule comme un service auparavant.

Enfin, Weking et al. (2018) proposent une dernière catégorie d'archétypes métiers, centrée sur « l'expertise en tant que service ». Certaines entreprises utiliseront avantageusement les technologies de l'information pour offrir de nouveaux produits et services complémentaires. Ces nouveaux produits peuvent s'appuyer sur des plateformes de marché numériques : des plateformes de marché à deux entrées pour les applications d'entreprise ou des plateformes IoT. De plus, ces entreprises utiliseront leur expertise concernant les produits et processus numériques pour la proposer à leurs clients.

Les sous-archétypes conçus par Weking et al. (2018) sont les suivants : expertise liée aux produits, expertise liée aux processus, enfin plateformes de courtage et plateformes IoT. Le premier est lié à la capacité des entreprises à vendre du conseil sur la façon d'optimiser leurs propres produits (Tukker 2004). Le conseil lié aux processus désigne la capacité des entreprises de compléter les solutions qu'elles fournissent en aidant leurs clients à passer au paradigme numérique. Les plates-formes de courtage font référence à la capacité des entreprises qui vendent des machines de fournir également des plates-formes qui aident leurs clients à faire face à différents problèmes (une entreprise qui vend des machines peut également vendre des services en ligne pour optimiser la gestion des usines, des actifs numériques, etc.) (PwC, 2016 ; Weking et al., 2018). Enfin, les plates-formes IoT sont centrées sur l'analyse de données, en particulier par le big data et la gestion des performances (PwC, 2016). Les produits, la production et les chaînes de valeur deviennent des sources de données et les entreprises manufacturières,

les entreprises spécialisées et les autres acteurs utilisent des plateformes et de nouvelles formes d'analyse comme nouveaux éléments clés (Weking et al., 2018).

Ces nouvelles technologies numériques permettent d'établir de nouveaux modèles de revenus réguliers, basés sur l'usage, dans le cadre de la composante de gain de valeur. De nouvelles possibilités de monétisation découlent de ce type d'intégration, pour lesquelles services et production sont combinés. Les entreprises peuvent adresser de nouveaux segments de clients en ligne et directement (B2B ou B2C), ce qui leur permet de réagir plus rapidement pour faire évoluer et/ou personnaliser leurs produits ou leurs services logistiques.

Les technologies numériques peuvent transformer la chaîne de valeur en une production décentralisée, individualisée et à la demande (Weking et al., 2018). Ils soutiennent l'intégration verticale et horizontale de la chaîne de valeur de bout en bout.

## 6. Impacts sur les PME

*Admira Boshnyaku, Centre européen pour la qualité Ltd.*

*Denitsa Seykova, Centre européen pour la qualité Ltd.*

*“Concernant la tendance actuelle en matière d’industrie, les entreprises gagnantes seront celles qui seront capables de faire partie d’un écosystème axé sur l’innovation en développant de nouvelles idées, de nouveaux Business model, de nouveaux produits et services, contrairement aux entreprises qui ne peuvent offrir que de la main-d’œuvre peu qualifiée ou de l’« ordinary capital ».”*

Prof.Klaus Schwab, ingénieur et économiste allemand, plus connu en tant que fondateur et président exécutif du Forum économique mondial et auteur de la quatrième révolution industrielle.

L'utilisation des technologies numériques et de l'Internet est désormais une nécessité pour toutes les petites et moyennes entreprises (PME). Les dirigeants des petites industries manufacturières le savent bien, mais ils manquent souvent de temps, de connaissances et d'outils pour développer et mettre en œuvre une transformation numérique durable dans leurs entreprises. Selon l'étude « Digital skills in the workplace » (Curtarelli et al., 2017), il semble compliqué pour les PME d'allouer du temps et des ressources (formation, ressources financières, etc.) afin d'acquérir un haut niveau de compétence dans le domaine du digital. Des disparités importantes sont identifiées dans différents secteurs économiques, dans la mesure où certaines entreprises ont intégré rapidement les technologies numériques alors que pour d'autres, ce processus d'implémentation reste très lent. De plus, l'utilisation des TIC est liée à l'augmentation de la productivité. Dans l'article de Curtarelli, il est recommandé de promouvoir l'accès à la formation

afin de combler les lacunes en compétences numériques et notamment de prendre en compte la diversité en abandonnant l'attitude « *one size fits all* ». L'objectif étant de favoriser les partenariats multi-acteurs pour accroître la disponibilité des compétences numériques. Suite au Baromètre de l'UE pour l'artisanat et les PME, publié par SMEunited (2019), le « *Business Climate Index* » a baissé depuis 2017, témoignant d'une incertitude croissante pour l'avenir des PME et de l'artisanat et plus particulièrement en ce qui concerne l'inadéquation des compétences sur les marchés du travail européens. Afin de promouvoir et de soutenir la croissance des PME et la création d'emplois, celles-ci doivent être encouragées dans leur évolution digitale en s'inscrivant dans le concept de l'industrie 4.0. Grâce à la mise en œuvre du projet Chain, un support pour le développement des compétences en matière d'industrie 4.0 sera développé spécifiquement pour PME, ce qui aura un impact extrêmement positif pour ces entreprises dans toute l'Europe.

## 6.1 Bénéfices de l'implémentation de l'industrie 4.0

De nos jours, les PME sont de plus en plus disposées à intégrer et à appliquer les concepts de l'industrie 4.0 dans leurs activités commerciales aux niveaux macro et micro. L'influence de l'industrie 4.0 sur les entreprises et l'industrie devrait permettre l'émergence de nouveaux modèles commerciaux affectant et remodelant l'ensemble du cycle de vie des produits, de leur préparation à leur commercialisation, en vue d'améliorer les processus opérationnels et à terme d'accroître la compétitivité des entreprises (Pereira et Romero, 2017). La conclusion selon laquelle le succès des PME est lié à l'introduction de l'industrie 4.0 et de ces nouvelles technologies industrielles résulte des nombreuses études réalisées avec des entreprises du monde entier. Selon, Müller et al. (2018), le processus de mise en œuvre des nouvelles technologies est en cours dans toutes les industries et ses objectifs sont nombreux : réduire les coûts, accroître la productivité et proposer aux clients des solutions adaptées à leurs spécificités. Étant donné que le terme d'« industrie 4.0 » découle d'une stratégie « high-tech » introduite par le gouvernement allemand, l'impact sur les PME sera analysé en tenant compte de plusieurs études et rapports basés sur des données recueillies par des sociétés allemandes.

À la suite d'une étude menée par le Boston Consulting Group (Lorenz et al., 2016) auprès de plus de 600 entreprises allemandes et américaines, environ 19% des entreprises allemandes ont pleinement appliqué le concept d'industrie 4.0, en mettant en œuvre de solutions dites « Smart » (tel que l'introduction de robots autonomes), contre 16% des entreprises américaines. D'autres données mettent également en évidence que les fabricants allemands sont particulièrement ambitieux puisqu'en effet, 60% d'entre eux envisagent d'appliquer ou ont appliqué des technologies de pointe (dans un ou deux ans) telles que l'implémentation d'une logistique digitalisée ou l'intégration d'une maintenance prédictive, contre environ 40% des fabricants américains. Les entreprises allemandes semblent également avoir une longueur d'avance en termes de mise en œuvre de l'Industrie 4.0 par rapport à leurs collègues américains : près de la

moitié (47%) des entreprises allemandes ont développé intégralement leurs premiers concepts d'Industrie 4.0 et seulement 18% des répondants allemands ont déclaré ne pas être en capacité d'introduire de nouvelles technologies de l'industrie 4.0. En comparaison, seuls 29% des entreprises américaines ont développé leurs premiers concepts et 41% ne sont pas encore disposés à intégrer ces changements.

Les légères différences entre les entreprises allemandes et américaines concernant le processus de transformation vers l'industrie 4.0 ne se reflètent pas dans les avantages liés à cette conversion. En effet, les trois quarts des répondants allemands et les deux tiers des répondants américains associent l'industrie 4.0 à une augmentation de la productivité et une réduction des coûts. Un nombre à peu près égal de répondants dans les deux pays (48% en Allemagne et 43% aux États-Unis) le relie également à une



*Source: Image by pixabay.com*

croissance de revenus. Mais il convient de mentionner que les bénéfices en matière d'industrie 4.0 dépendent du succès avec lequel les entreprises développent et dirigent le personnel nouvellement qualifié.

Schröder (2016) dans le rapport "The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises" publié par Friedrich-Ebert-Stiftung met l'accent sur les principaux défis des petites et moyennes entreprises en Allemagne en ce qui concerne la mise en œuvre de l'industrie 4.0. Il a observé un lien étroit entre la taille de l'entreprise et la mise en œuvre de l'industrie 4.0. Plus l'entreprise est grande, plus les processus de production sont équipés de systèmes IT récents vis-à-vis des entreprises de taille moyenne. Comme il n'existe pas de modèle universel d'application de l'industrie 4.0 pour les PME, la perception des défis et des opportunités que présente l'industrie 4.0 dépend des différentes caractéristiques des entreprises (Müller et al., 2018).

L'impact global et le potentiel découlant de l'implémentation de l'industrie 4.0 dans les entreprises peuvent être décrits sous plusieurs aspects :

- **Le potentiel économique de l'industrie 4.0** - L'estimation des effets économiques est assez difficile à déterminer et reste variable. Le seul élément pouvant être considéré comme une opportunité majeure concerne la réduction des coûts conduisant à une économie des ressources financières. De nos jours, de nombreux outils et logiciels commerciaux sont disponibles via le cloud computing, les PME n'ont donc pas à payer des coûts exorbitants pour digitaliser leurs activités (King, A., 2018). Même si une PME

dispose de technologies bon marché provenant de l'industrie 4.0, elle en pourra néanmoins en tirer des avantages économiques grâce à l'automatisation de certaines tâches initiées par l'exploitation de « smart applications ». Ce type de logiciel d'automatisation intelligent aura également un impact positif sur les taux de productivité de l'entreprise. D'autres chercheurs, tels que Schröder (2016), affirment que, puisque l'industrie 4.0 combine des technologies multiples et distinctes, ce n'est que lorsqu'elles sont appliquées ensemble que leur potentiel peut être pleinement exploité par les PME. Mais en considérant que la mise en œuvre de ces technologies se fait à des stades d'avancement différent dans ces entreprises, il semble difficile de déterminer quand et dans quelle mesure les effets positifs seront exploités. **Plus il y a de l'intelligence dans les processus de production, plus les produits seront de meilleure qualité** - Des systèmes technologiques intelligents, « smart technologies » sont désormais utilisées dans tous les secteurs, et en particulier dans les processus de fabrication des PME, conduisant à la création d'objets intelligents « smart product ». En intégrant des technologies intelligentes dans les processus de production, les PME sont en mesure de surveiller, suivre et contrôler, et cela de manière autonome, la production (Maresova, P. et al, 2018). Les objets intelligents contiennent également des informations importantes sur leur processus de production, leur objectif et leur application. Ils sont souvent équipés de capteurs, de composants et de processeurs destinés à collecter des informations qui serviront à conseiller les clients et seront envoyées au système de fabrication (Abramovici et Stark, 2013). De cette manière, la qualité des produits est considérablement améliorée, de même que l'efficacité des processus de production en termes de temps et de coûts. Les experts prédisent même que la fabrication d'un produit sur mesure sera réalisée au même prix qu'un produit en série, ce qui contribuera à améliorer la satisfaction client et à attirer de nouveaux acheteurs. Ces bénéfices peuvent avoir pour conséquence de transformer le business model des PME en un modèle intelligent « smart model » et de ce fait de favoriser le développement de ces entreprises (Schröder, 2016).

On trouvera ci-après une prévision des économies potentielles pour différents secteurs de production :

#### Évaluation des bénéfices potentiels

Type de coût	Valeur totale
Coûts d'inventaire	- 30 % à - 40 %
Coûts de fabrication	- 10 % à - 20 %
Coûts logistiques	- 10 % à - 20 %
Coûts de complexité	- 60 % à - 70 %



<b>Coûts de qualité</b>	- 10 % à – 20 %
<b>Frais d'entretien</b>	- 20 % à – 30 %

**Source :** Présentation condensée de Schröder (2016) après Bauernhansl (2014 :31)

- **Nouvelle façon de communiquer** - Comme il a été mentionné au chapitre 5, les nouveaux business model et les réseaux de création de valeur sont l'un des résultats directs de la transformation des entreprises manufacturières à la suite de la mise en œuvre de l'industrie 4.0. L'impact de ces changements permet de créer de nouvelle façon de communiquer tout le long des chaînes d'approvisionnement (Maresova, P. et al, 2018). Il est ainsi envisagé de connecter la chaîne de fournisseurs, les entreprises, les usines, les agents de logistique et les clients à un tout nouveau réseau de communication fonctionnant en temps réel. Grâce à ce type de réseaux, tous les acteurs parviendront à réaliser un profit maximum en utilisant des ressources partagées limitées (Maresova, P. et al, 2018). Ces nouveaux modes de communication ont un effet significatif sur les modèles économiques des PME. Il est également suggéré que la direction s'intéresse plutôt au développement de l'approche client plutôt qu'à l'innovation de ces produits lorsqu'elle souhaite faire évoluer son business model (Müller et al., 2018). On peut également considérer que l'approvisionnement et les supports techniques seront digitalisés aux vues des nouveaux moyens de communication complexes, des nouveaux processus d'exploitation pour la fabrication et la distribution de produits et de services.

Le concept de « jumeau numérique » est une opportunité importante introduite par l'industrie 4.0 et ayant un impact important sur les PME. Il est défini comme l'illustration virtuelle et le modèle d'un bien donné (tangible et intangible). Le jumeau numérique est décrit par la structure et le comportement d'éléments connectés ou "choses" générant des données en temps réel. Les données sont analysées, combinées à d'autres données corrélées à l'environnement de travail et présentées aux PME ou à l'utilisateur sous forme de "jumeaux numériques". L'objectif étant de comprendre son histoire, ses besoins, son contexte et d'interagir avec lui afin de pouvoir accomplir certaines tâches. Le jumeau numérique permet aux entreprises et aux utilisateurs d'explorer et de trouver les meilleures solutions à des problèmes donnés de manière rapide et pragmatique. Le laboratoire sur la coopération au sein de l'industrie 4.0 de l'Institut de gestion de l'information en ingénierie (Information Management in Engineering : IMI) et l'Institut de technologie de Karlsruhe (Karlsruhe Institute of Technology : KIT) proposent un bon exemple d'utilisation pratique de cette solution. Un jumeau numérique d'une machine de broyage est utilisé pour optimiser les processus et pour travailler dans un réseau de réalité virtuelle. Parallèlement à ces activités, le flux de ressources est également pris en compte afin de mettre en évidence les avantages pratiques de la solution proposée, permettant une augmentation de la productivité de plus de 20%. Selon l'association allemande des technologies de l'information, des

télécommunications et des nouveaux médias (German association of information technologies, télécommunications and new media : BITKOM), les jumeaux numériques dans les industries manufacturières auront un potentiel économique de plus de 78 milliards d'euros d'ici 2025 (d'après Popova, M. et al., 2018).

**Le jumeau numérique** est un ensemble de constructions d'informations virtuelles qui décrit complètement un produit physique potentiel ou réel, du niveau micro-atomique au niveau macro-géométrique. (Grieves, 2016)

Les bénéfiques potentiels de l'industrie 4.0 augmentent chaque minute et avec chaque partenaire du réseau. Les grandes entreprises étant les pionnières de la mise en œuvre de l'industrie 4.0 dans tout son potentiel, les PME cherchent à suivre et à adapter progressivement leurs technologies de production afin de mettre en réseau de plus en plus leur propre processus de production.

## 6.2 *Obstacles rencontrés par les PME lors de l'implémentation de l'industrie 4.0*

Les PME sont davantage confrontées à la difficulté d'intégrer l'industrie 4.0 par rapport aux grandes entreprises, puisque la plupart d'entre elles n'ont pas une production entièrement automatisée ; la proportion d'activités manuelles et hybrides est donc plus élevée. Il leur est donc conseillé de se tourner vers la production en réseau afin de ne pas perdre leur avantage concurrentiel sur les marchés internationaux. L'un des plus grands défis auxquels les PME sont confrontées ou seront confrontées

L'analyse **coûts-avantages** est une approche systématique pour estimer les forces et les faiblesses des solutions de remplacement utilisées pour déterminer les options offrant la meilleure approche pour obtenir des avantages tout en préservant les économies réalisées (par exemple, dans les transactions, les activités et les exigences fonctionnelles). (David, Rodreck, 2013)

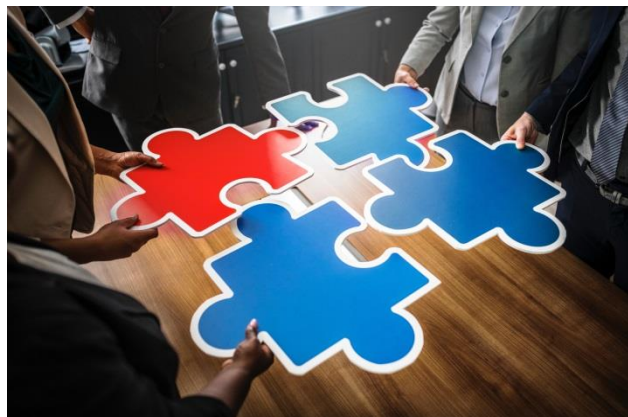
est l'élaboration d'une stratégie pertinente, une analyse coûts-avantages des technologies de l'industrie 4.0 qui leur seront utiles et le manque de sécurité des données et de normes uniformes (Schröder et al., 2016). L'étude du Boston Consulting Group (Lorenz et al, 2016) citée ci-dessus fait également observer que le manque de sécurité des données est l'un des principaux défis des entreprises. La même source souligne que le manque d'employés qualifiés est le principal défi suivi par les exigences en matière d'investissement. Selon Türkes et al. (2019), le manque d'expertise constitue également une limite au développement de l'industrie 4.0, ce qui signifie qu'il y a un manque de culture dans l'entreprise, qu'aucune formation interne n'est dispensée sur l'acquisition de compétences numériques et qu'il n'y a aucun spécialiste pour piloter la mise en œuvre des nouvelles technologies. Le Boston Consulting Group (2016) tire une conclusion importante en concluant sur le fait que les petites et les grandes entreprises américaines et allemandes ont besoin d'une planification minutieuse pour pouvoir répondre à leur préoccupation majeure consistant à couvrir les coûts d'investissement nécessaires.



Une analyse plus approfondie des obstacles à la mise en œuvre technologique de l'industrie 4.0 est présentée ci-dessous :

- **Absence de stratégie numérique** - Une stratégie numérique adaptée aux réalités et aux défis des entreprises est décrite comme l'une des opportunités de développement offertes par l'industrie 4.0 (Popova, M et al., 2018), en revanche son absence est considérée comme une limite à la croissance des PME. La haute direction des PME manufacturières est considérée comme plus prudente vis-à-vis de l'industrie 4.0 et notamment en ce qui concerne la mise en réseau de la production comparé au travail des responsables de la production (Pierre Audoin Consultants, 2015). Cette mise en garde pourrait être problématique, car l'application et l'intégration de l'industrie 4.0 dans les PME doit être planifiée avec attention. Le développement d'une stratégie numérique globale devrait être lancé à un stade précoce de la mise en œuvre de l'industrie 4.0. Dans le cadre de la stratégie de restructuration de tous les processus de l'entreprise, les rôles et les qualifications des employés doivent être pris en compte, notamment en ce qui concerne le développement de nouveaux business model et l'ouverture à de nouveaux marchés. (Schröder, 2016).

- **Absence de normes et de législation uniformes** - Un autre obstacle pour les PME concernant l'implantation de l'Industrie 4.0 est l'absence de normes uniformes en matière d'intégration des systèmes informatiques, des données et des machines au sein de la société. Selon Schröder (2016), aucune norme internationale n'a encore été mise en place et aucune information à jour n'a été trouvée en tant que telle. Cela permet de faire apparaître des erreurs et des incohérences dans les processus d'intégration, ainsi que des troubles croissants concernant l'accès non autorisé à certaines données. En plus des normes, il n'existe pas de mesures ni de législations concernant l'industrie 4.0, en ce qui concerne le développement de la cybersécurité, l'intelligence artificielle, etc., dans les pays en développement. (Türkés et al., 2019). Cela engendre un retard significatif dans les progrès de l'industrie 4.0 dans certains pays et notamment en créant une Europe à plusieurs vitesses, mais également dans le monde dans son ensemble.



Source: Image from pexels.com

- **Manque de sécurité des données** - Cet obstacle est étroitement lié à l'absence de normes et de lois uniformes. Si une PME souhaite créer un réseau numérique opérationnel, il est nécessaire que tous les acteurs aient une confiance mutuelle dans les données qu'ils partagent. Les données en question vont des informations sur les bénéfices de la production des PME aux idées nouvelles sur la création de produits innovants. La fuite de

documents importants peut nuire à la réputation des entreprises (Türkes et al., 2019) et entraîner une perte de bénéfices et de clients. Les PME estiment que l'utilisation des technologies de l'industrie 4.0, telle que les services de cloud computing, ne protège pas les données confidentielles de l'entreprise et permet à un tiers d'y accéder. Les problèmes de sécurité sont exacerbés par le fait que les PME ne sont pas certaines de la localisation géographique des données stockées et de la juridiction dans laquelle elles sont appliquées (Schröder, 2016). En 2017, les ordinateurs de 74 pays ont été attaqués par des pirates informatiques, ce qui a affecté le système de télécommunication au Portugal, le système informatique en Espagne et le système national de santé au Royaume-Uni (Türkes, M. et al., 2019).

**Le ransomware** est un type de logiciel malveillant issu de la cryptovirologie qui menace de publier les données de la victime ou de bloquer en permanence l'accès à ces données, sauf si une rançon est payée. (Young, A. et al, 1996)

Smith et al. (2016) dans l'étude « Industry 4.0 » demandée par le département politique économique et scientifique de la commission de l'industrie, de la recherche et de l'énergie (Industry, Research and Energy : ITRE) du Parlement européen, a identifié les principales difficultés et, par conséquent, les obstacles rencontrés par les PME dans la chaîne d'approvisionnement de l'industrie 4.0 qui sont :

- **Manque de sensibilisation** aux solutions de haute technologie et aux avantages potentiels de leur mise en œuvre dans les processus de production ;
- **Manque de ressources financières** pour acheter les technologies nécessaires et / ou investir dans des activités de R & D afin de créer les technologies lorsqu'elles ne sont pas facilement disponibles. Chacune de ces opérations nécessite un accès facile à des financements, ce qui constitue un obstacle pour de nombreuses PME.
- **Capacité insuffisante pour tester les solutions de l'industrie 4.0**, y compris un accès limité aux installations pour tester les solutions et les technologies de pointe ;
- **Nombre insuffisant d'experts hautement qualifiés dans le domaine des TIC** pour mettre en œuvre et utiliser des solutions avancées de l'industrie 4.0. Les PME ne parviennent souvent pas à attirer une main-d'œuvre qualifiée en raison de la concurrence des grandes entreprises. De plus, ils n'ont pas tendance à investir fréquemment dans la formation ou la requalification de leur personnel actuel.
- **Obstacles importants pour l'acquisition et l'utilisation de technologies de pointe.** En raison de la facilité d'accès au financement dont disposent les grandes entreprises, ce sont elles qui testent et brevètent des solutions technologiques de pointe, ce qui rend plus difficile et plus onéreuse leur utilisation, en particulier pour les PME. En outre, l'élaboration d'une législation sur la réglementation de l'industrie 4.0, en suivant les exemples américain et asiatique, pourrait elle-même favoriser les « champions industriels » en offrant des avantages aux grandes entreprises pour lever certaines barrières et en favorisant les nouveaux arrivants tels que les PME.

De plus, l'un des effets de l'industrie 4.0 concerne le taux élevé d'internationalisation de la production, plus facilement atteignable pour les grandes entreprises qui ont implémenté des solutions basées sur l'Industrie 4.0 que pour les PME qui, à leur tour, pourraient devenir plus dépendants des grandes entreprises en tant que principaux clients.

À la suite de la même étude, il convient de relever ces défis en adoptant une approche à plusieurs volets comprenant les mesures suivantes :

- Trouver une place dans les chaînes d'approvisionnement existantes auprès des leaders de l'industrie 4.0 et tirer parti de leurs connaissances et de leur expérience.
- Cibler les niches en développement dans un système de production plus dispersé et les commercialiser dans plusieurs localités à l'international.
- Mettre en œuvre des solutions avancées qui facilite la production sur des bases plus décentralisées telles que l'impression 3D.
- Améliorer le traitement des données en ce qui concerne la planification des ressources et la gestion de la relation client.

La transition vers l'industrie 4.0 pour les PME peut être facilitée par le secteur public aux niveaux européens et au niveau national en réduisant les obstacles sur le marché et sur les chaînes d'approvisionnement de l'industrie 4.0, ainsi qu'en augmentant les investissements publics de R & D, pour ainsi équilibrer le marché des solutions technologiques de pointe.

L'Institut de gestion de l'information en ingénierie (Institute for Information Management in Engineering : IMI) et l'Institut de technologie de Karlsruhe (Karlsruhe Institute of Technology : KIT) ont mis en place une solution intéressante pour relever l'un des défis les plus importants pour les PME, à savoir le manque d'employés qualifiés et le manque de ressources financières. Pour ce faire, ils ont créé un laboratoire de coopération au sein de l'industrie 4.0 tel un « digital sandbox » afin de rassembler les PME et les encourager à réfléchir, à échanger des idées et à proposer des solutions par le biais de la gamification. Le « sandbox » permet aux participants d'utiliser des outils et des instruments communs pour essayer de nouvelles choses et atteindre leurs objectifs en travaillant ensemble. De cette manière, les connaissances numériques acquises se transforment en compétences utilisées dans leurs tâches quotidiennes. Dans le « sandbox », les risques financiers supportés par les PME sont limités du fait qu'un véritable investissement n'est réalisé qu'en présence d'avantages clairs et mesurables. Ce concept a été mis en œuvre chez ELABO à Crailsheim, dans le Bade-Wurtemberg, dans le cadre de l'introduction de leur système : "Shopoor Execution System" (SES) (Popova, M. et al., 2018). Le « digital sandbox » peut être utilisé comme

exemple de bonne pratique pouvant avoir un impact positif sur les autres PME dans la mesure où elles peuvent l'adopter et le tester face à des problèmes divers.

Les nouvelles technologies et les nouvelles approches introduites par l'industrie 4.0 modifient rapidement le paysage commercial des PME. Qu'ils soient volontaires ou non, ils devront prendre en compte les tendances à venir afin de conserver leur avantage concurrentiel et prospérer. Par conséquent, il est de plus en plus important de prendre conscience de la complexité et des conditions préalables à la mise en œuvre de l'industrie 4.0, tant pour la direction que pour les employés des PME. La requalification, l'apprentissage tout au long de la vie et l'adaptation constante aux besoins du marché et de l'industrie, stimulées par la numérisation croissante de l'économie et des processus de travail, pourraient constituer les atouts essentiels du succès de l'industrie 4.0. La mise en place de compétences appropriées devrait devenir l'un des principaux avantages des PME, même si l'automatisation assumera certaines des tâches

**Digital "sandbox"** est une solution utilisée pour rassembler les PME et les encourager à réfléchir, à échanger des idées et à trouver des solutions par la gamification. Dans ce cas, le « sandbox » peut être considéré comme un environnement de test pour les PME où les risques financiers sont limités et où les connaissances numériques acquises peuvent être utilisées pour transformer leurs compétences (Popova, M. et al., 2018).

des employés. L'impact de l'industrie 4.0 sur les machines, les systèmes et les processus dans les entreprises s'oriente vers l'interconnectivité et l'automatisation cependant pour réaliser des processus de travail efficace, des employés hautement qualifiés seront nécessaires. Avec les nouveaux développements en cours, de nouvelles possibilités de réorganisation du travail apparaissent également, par exemple, en utilisant des machines pour remplacer les tâches physiquement exigeantes ou en introduisant des horaires de travail plus flexibles et favorables à la famille. Pour rattraper le retard de développement de l'industrie 4.0 et ne pas rester loin derrière les grandes entreprises, les PME doivent rapidement combler le déficit de compétences des salariés pour se rattraper. Pour rester compétitives, les PME doivent remédier à court terme à ce manque de compétences et plus particulièrement dans les domaines du digital et des TIC.

## 7. Conclusion

*Bojan Jovanovski, FH JOANNEUM*

*Vítor Hugo Ferreira, Polytechnic of Leiria*

*Emilie Chapotot, ESTIA*

Le concept d'Industrie 4.0 s'appuie essentiellement sur les possibilités découlant de la numérisation et de l'Internet des Objets, mais il comporte également une petite partie qui ne repose que sur des éléments non numériques, tels que les personnes, l'organisation et les processus, permettant ainsi une meilleure illustration de sa portée. La quatrième révolution industrielle est uniquement motivée par les opportunités techniques et technologiques contemporaines, ce qui représente une nouvelle ère avec de nouveaux modèles économiques flexibles et articulés autour des compétences clés de l'organisation. Cela crée un tout nouvel écosystème dans lequel la prérogative du succès sera donnée aux seules entreprises qui seront capables d'utiliser des ressources optimales tout en répondant de manière proactive et réactive à l'environnement en rapide mutation.

L'optimisation des processus internes et externes, l'amélioration de l'interface client, les nouveaux écosystèmes et réseaux de valeur, ainsi que les produits et services intelligents, nous donnent un aperçu de l'évolution des modèles commerciaux. Les « super archétypes » (Intégration, Servitization<sup>1</sup> et Expertise en tant que service), regroupent plusieurs idées sur la manière dont les entreprises évoluent (et celles-ci sont liées à : l'innovation issue des utilisateurs finaux, la production en tant que service à part entière et la personnalisation de masse, les partenariats historiques, le produit en tant que service, le résultat en tant que service avec conseil relatif aux produits, conseil relatif aux processus, plateformes de négociants et plateformes IoT). Cela entraînera des modifications dans divers domaines d'activité, tels que les nouveaux modèles numériques, l'ingénierie numérique, l'intégration verticale, l'intégration horizontale, la maintenance intelligente et ses services, mais également l'accent sur l'espace de travail numérique et le marketing numérique.

Certains concepts sont transversaux dans notre analyse, par exemple : le produit en tant que service, la personnalisation de masse, l'utilisation d'IoT pour fournir des analyses, l'optimisation et les chaînes de valeur. L'utilisation de technologies intelligentes (logiciel, interaction) et de réseaux verticaux et horizontaux connectés permet aux entreprises d'innover dans les services associés tels que la maintenance prédictive, la surveillance, le conseil, la construction de nouvelles plates-formes et services sur le matériel de leurs principaux services. La co-création devient un espace possible (entre entreprises), mais également grâce à de nouveaux modèles commerciaux qui proviennent de l'utilisation de technologies de fabrication

---

<sup>1</sup> Servitization = nouvelles prestations de service

numériques. Ces technologies permettent aux clients de faire partie du processus de création de valeur et d'acheter des produits sur mesure à des prix concurrentiels. Ces changements modifient également les modèles de revenus et abonnement des entreprises, ainsi elles sont capables de transformer leurs produits en services.

En analysant l'influence sur les modèles commerciaux, nous ne devons pas oublier plusieurs dimensions qui s'éloignent de la chaîne de valeur. Les technologies permettant la gestion numérique des ressources humaines et le contrôle financier des chaînes de valeur intégrées et d'autres services aidant les entreprises à atteindre leurs clients (marketing numérique) sont également fondamentales dans ce nouveau domaine. Les entreprises qui fournissent la cybersécurité, l'infrastructure (machines, capteurs, etc.) et l'agilité du système (l'interconnectivité de toutes les parties) sont également fondamentales. Et les nouveaux modèles commerciaux comprennent également les entreprises qui aident d'autres entreprises dans leur transformation numérique, en fournissant une expertise, une formation et de nouvelles technologies qui aident à organiser, motiver et inclure les personnes dans ce processus.

L'impact de l'industrie 4.0 sur la compétitivité de l'industrie par la productivité, la flexibilité et l'efficacité fait de sa réforme révolutionnaire un concept essentiel. Les PME qui analysent déjà leurs possibilités de restructuration en fonction des nouvelles tendances ont déjà surmonté le ou les principaux obstacles liés au manque de sensibilisation et de stratégie. Le penchant de la Commission européenne, des autorités nationales et locales envers l'industrie 4.0 suggère que, du moins à moyen terme, les PME de toute l'Europe disposeront d'alternatives pour un financement abordable (prêts ou subventions cofinancées) afin de soutenir leur restructuration. Ce processus de mise en œuvre de projets à financement public est généralement beaucoup plus long, mais les PME ont besoin de ce délai pour débiter leurs réformes non numériques. Cette révolution dans le modèle commercial, la culture et l'état d'esprit de l'organisation d'entreprise doit s'aligner sur le développement du capital humain, la stratégie technologique et la stratégie de marché. Il est clair que pour de nombreuses PME, la satisfaction des conditions préalables à une mise en œuvre réussie de l'Industrie 4.0 sera elle-même un avantage.

I4.0 signifie différentes choses pour différents acteurs. Pour l'entreprise, cela signifie plus d'efficacité, moins de coûts, moins de temps de mise sur le marché, une meilleure communication et une flexibilité accrue. Dans un même temps, cela modifie la manière fondamentale de configurer les chaînes de valeur, ainsi que la manière dont les entreprises interagissent avec leurs fournisseurs et leurs clients. Les produits deviennent plus intelligents, plus ciblés et personnalisés en fonction du client, tandis que l'information circule dans la chaîne de valeur, ce qui permet un développement, une production et une distribution plus efficaces. Les décisions s'appuient sur des données et peuvent souvent être améliorées avec l'IA. Mais qu'est-ce que cela signifie pour les salariés ? Leur ensemble de compétences est transformé et tous les niveaux organisationnels exigent désormais, dans une certaine mesure, l'utilisation de données, d'outils informatiques ou d'autres connaissances connexes. L'interaction homme-machine devient plus intelligente, cela

signifie également que les opérateurs sont disponibles pour des tâches plus créatives. Ces transformations influencent la gestion et la formation des personnes. Si, d'une part, nous avons besoin davantage de compétences techniques et mathématiques, nous devons également nous rendre compte que l'automatisation oblige les utilisateurs à une réflexion critique ainsi que d'autres tâches impliquant une interaction plus fréquente avec d'autres personnes (compétences non techniques, etc.). Ainsi les compétences humaines et l'intelligence émotionnelle deviennent de plus en plus importantes.

L'industrie 4.0 est définie en considérant différents points de vue en Europe. La numérisation et la digitalisation ont été définies afin d'établir une définition commune pour les parties prenantes du projet CHAIN et au-delà. Enfin, il est important de souligner la nécessité pour les PME d'adapter leur modèle économique en introduisant de nouveaux concepts, un nouveau modèle d'organisation, une nouvelle approche de gestion et de nouvelles technologies afin d'être plus attractives et compétitives dans ce nouveau modèle de marché. De cette manière, cette publication vise à devenir un manuel pour les apprenants et un document concis permettant de fournir aux représentants de l'enseignement supérieur des informations utiles à la création d'un nouveau programme consacré aux PME européennes de l'économie du numérique.



## Glossaire

<b>Modèle d'affaires</b>	Un modèle d'affaires ( <i>business model</i> ) décrit la manière dont une organisation créée, fournit et capture de la valeur. (Osterwalder & Pigneur, 2010, p. 14)
<b>Analyse Coût-Bénéfices</b>	L'analyse coût-bénéfice, aussi appelée coût-avantage, correspond à une méthode d'aide à la décision qui permet d'évaluer les avantages et bénéfices d'un projet ainsi que les conséquences éventuelles (positives ou négatives) des décisions à prendre. (David, Rodreck, 2013)
<b>Le "sandbox" numérique</b>	<i>Sandbox (bac à sable)</i> est un terme utilisé en rapport avec les tests de logiciels faisant référence à un type d'environnement de tests logiciels qui permet l'exécution isolée de logiciels ou de programmes pour une évaluation, une surveillance ou des tests indépendants. ( <a href="http://www.technopedia.com">www.technopedia.com</a> ). Le "sandbox" numérique est utilisé pour rassembler les PME et les encourager à lancer, échanger des idées et proposer des solutions par le biais de la ludification. Dans ce cas, le <i>sandbox</i> peut être considéré comme un environnement de test pour les PME où les risques financiers sont limités et où les connaissances numériques acquises peuvent être utilisées pour transformer leurs compétences (Popova, M. et al., 2018).
<b>Jumeaux numériques</b>	Un ensemble d'information virtuelles construites qui décrit entièrement un futur produit ou produit existant du niveau micro atomique au niveau macro géométrique. (Grieves, 2016)
<b>Digitalisation</b>	Implique l'intégration des technologies du numérique dans la vie quotidienne par la numérisation de tout ce qui peut être numérisé. (Schallmo and Williams, 2018)
<b>Numérisation</b>	Est défini comme la conversion d'une information analogique de toute forme (textes, photographies, vocales, etc.) au format numérique. (Schallmo and Williams, 2018)
<b>Internet of People</b>	Toutes les fonctions réseau prennent en compte le fait que les périphériques Internet peuvent être des périphériques personnels des utilisateurs et exploitent donc des modèles de comportement humain afin de déterminer le mode de fonctionnement de ces périphériques sur le réseau. Pour aller plus loin, le concept IoP englobe une intégration encore plus étroite entre les dispositifs



Internet de nouvelle génération (NGI) et les humains, permettant aux humains de contribuer eux-mêmes aux ressources des fonctions NGI, en développent des exemples rudimentaires actuels tels que le crowdsourcing et le crowdsensing. Cette vision de l'loP repose sur quelques éléments clés : l'loP est interdisciplinaire, l'loP est quantitatif (et non qualitatif), l'loP a une vocation technologique, l'loP est en réseau et l'loP englobe des fonctions Internet orientées données (Conti M., Passarella A., 2017)

**Internet of Things**

Une infrastructure globale pour la société de l'information, permettant des services avancés en interconnectant des éléments (physiques et virtuels) sur la base des technologies de l'information et de la communication interopérables existantes et en évolution. Comprenant deux aspects : (NOTE 1) grâce à l'exploitation des capacités d'identification, de saisie, de traitement et de communication des données, l'Internet exploite pleinement les possibilités offertes pour offrir des services à toutes sorte d'applications, tout en garantissant le respect des exigences de sécurité et de confidentialité ; et (NOTE 2) dans une perspective plus large, l'IdO peut être perçu comme une vision ayant des implications technologiques et sociétales. (ITU-T, 2012)

**Manufacturing execution systems (MES)**

Ce sont des systèmes informatisés utilisés dans la fabrication pour suivre et documenter la transformation des matières premières en produits finis. MES fournit des informations qui aident les décideurs de fabrication à comprendre comment optimiser les conditions actuelles de l'usine afin d'améliorer la production. MES fonctionne temps réel pour permettre le contrôle de plusieurs éléments du processus de production. (McClellan, 1997).

**Marketing innovation**

Une nouvelle méthode de marketing impliquant des changements significatifs dans la conception ou l'emballage du produit, son placement, sa promotion ou sa tarification. (OECD, 2005)

**Organisational innovation**

Une nouvelle méthode d'organisation dans les pratiques commerciales, l'organisation du lieu de travail ou les relations externes. (OECD, 2005)

**Process innovation**

Une méthode de production ou de livraison nouvelle ou sensiblement améliorée. Cela inclut des changements importants dans les techniques, les équipements et/ou les logiciels. (OECD, 2005)

<b>Product innovation</b>	Un bien ou un service nouveau ou considérablement amélioré. Cela inclut des améliorations significatives des spécifications techniques, des composants et des matériaux, des logiciels du produit, de la convivialité d'utilisation ou d'autres caractéristiques fonctionnelles. (OECD, 2005)
<b>Ransomware</b>	C'est un type de logiciel malveillant issu de la crypto-virologie qui menace de publier les données de la victime ou de bloquer en permanence l'accès à ces données, sauf si une rançon est payée (Young, A. et al, 1996)
<b>Servitization</b>	L'innovation des capacités et des processus d'une organisation consiste-t-elle à passer de la vente de produits à la vente de produits et de services intégrés offrant une valeur d'usage (Baines, et al. 2009)
<b>Chaîne de valeur</b>	L'idée de la chaîne de valeur est basée sur la vision des processus de l'organisation, de visualiser la production (ou le service) comme un système lui-même composé de sous-systèmes, chacun avec ses entrées, ses processus de transformation et ses sorties. La manière dont les activités de la chaîne de valeur sont réalisées détermine les coûts et les bénéfices. (Porter, 1985)

## 8. Références

Les références utilisées dans cette brochure ont été organisées par chapitre pour permettre au lecteur de les retrouver plus facilement.

### 8.1 Chapitre 1 - Introduction

- COM, (2014) „For a European Industrial Renaissance“- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions
- Delgado M., Ketels C., Porter M. E., Stern S., (2012). „Determinants of National Competitiveness“, NBER Working Paper Series, National Bureau of Economic Research, Cambridge, Massachusetts, DOI: 10.3386/w18249
- European Commission (2015) Horizon 2020 First results, European Union
- Liao, Y., Loures, E. R., Deschamps, F., Brezinski, G., & Venâncio, A. (2017). The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. *Production*, 28, e20180061. DOI: 10.1590/0103-6513.20180061
- Marginean Silvia, (2006). “Competitiveness: from microeconomic foundations to national determinants“, Studies in Business and Economics Studies in Business and Economics, Retrieved: <http://eccsf.ulbsibiu.ro/RePEc/blg/journal/113marginean.pdf>
- Osterwalder, A. & Pigneur Y., (2010). Business Model Generation, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- Porter M. E., (1990) „The Competitive Advantage of Nations“, Harvard Business Review, March–April 1990 Issue, Retrieved: <https://hbr.org/1990/03/the-competitive-advantage-of-nations>

### 8.2 Chapitre 2 – Théorie de l’innovation et de la Révolution Industrielle

- Adams, R. (2006). Innovation measurement: A review. *International Journal of Management Reviews*, 8 (1), 21-47.
- Cebon, P., Newton, P. & Noble, P. (1999). Innovation in organizations: Towards a framework for indicator development. Melbourne Business School Working Paper #99-9, September.
- Chandler, A. (1990). Scale and scope: The dynamics of industrial capitalism. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Coakes, E. & Smith, P. (2007). Developing communities of innovation by identifying innovation champions. *The International Journal of Knowledge and Organizational Learning Management*, 14, 1, 74-85

- Conti M., Passarella A., (2017) Internet of People (IoP) - An inter-disciplinary approach to Networking in a human-centric NGI, <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/internet-people-iop-inter-disciplinary-approach-networking-human-centric-ngi>
- Freeman, C. (1982). The economics of industrial innovation (2nd ed.). London: Routledge
- Huhtala, H. & Parzefall, M-R. (2007). A review of employee well-being and innovativeness: An opportunity for a mutual benefit. *Creativity and Innovation Management*, 16, 3, 299-306.
- Langlois, R. (2015). Chandler in a larger frame: Markets, transaction costs, and organizational form in History. *Enterprise & Society*, 5 (3), 355-375
- Love, J. & Roper, S. (2004). The organization of innovation: collaboration, cooperation and multifunctional groups in UK and German manufacturing. *Cambridge Journal of Economy*, 28, 3, 379-395.
- Micklethwait, J. & Wooldridge, A. (2014). The fourth revolution: The global race to reinvent the state. London: Penguin Books
- Rowley, J., Baregheh, A. & Sambrook, S. (2011). Towards an innovation-type mapping tool. *Management Decision*, 49, 1, 73-86
- Schumpeter, J. A. (1934). Invention and economic growth. Cambridge: Harvard University Press
- Sloan, A. (1963). My years with General Motors. NY: Doubleday.
- Uzzi, B. & Spiro, J. (2005). Collaboration and creativity: The small world problem. *The American Journal of Sociology*, 111, 2, 447-504.

### 8.3 Chapitre 3 – Définition de l'Industrie 4.0

- Bischof, Ch., Tschandl, M., Brunner, U. (2017). Potenziale der Digitalisierung für das Supply-Chain-Controlling, in: Dörner, K. F., Prandstetter, M., Starkl, F. P., Wakolbinger, T. (Edt.). *Jahrbuch der Logistikkforschung: Innovative Anwendungen, Konzepte & Technologien, LRA – Logistics Research Austria*, Trauner Verlag. 117 – 134.
- Bloomberg, J. (2018): Digitization, Digitalization, And Digital Transformation: Confuse Them At Your Peril. <https://www.forbes.com/sites/jasonbloomberg/2018/04/29/digitization-digitalization-and-digital-transformation-confuse-them-at-your-peril/>
- BMWi-Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2015). Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft. Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- Brennen, S., Kreiss, D. (2014). Digitalization and Digitization. <http://culturedigitally.org/2014/09/digitalization-and-digitization/>
- Danjou, C., Rivest, L., & Pellerin, R. (2018). Douze positionnements stratégiques pour l'Industrie 4.0 : entre processus, produit et service, de la surveillance à l'autonomie.
- Fraysee, E. (2013). Tout savoir sur... Business is digital, Editions Kawa, Bluffy.

- Hermann, C., Schmidt, D., Kurle, S., & Thiede, S. (2014). Sustainability in Manufacturing and Factories of the Future. *International Journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 1, 282-292. <https://doi.org/10.1007/s40684-014-0034-z>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). Design principles for industrie 4.0 scenarios: A literature review. Working paper No. 01/ 2015.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Frankfurt: Acatech-National Academy of Science and Engineering.
- Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, Frankfurt/Main.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239.
- Mario, M., Hihigoyen, S. (2019). Réusir le défi du digital en 2019, Digitall Conseil, Bordeaux.
- Matzler, K., Bailom, F., von den Eichen, St., Anschober, M. (2016). Digital Disruption. Wie Sie Ihr Unternehmen auf das digitale Zeitalter vorbereiten. Vahlen-Verlag, München.
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118-1136.
- Mosconi, F. (2015). The new knowledge management: Complexity, learning and sustainable innovation. Amsterdam, The Netherlands: Buteworth-Heinemann.
- Ning, H., & Liu, H. (2015). Cyber-physical-social-thinking space-based science and technology framework for the Internet of things. *Science China Information Sciences*, 58, 1-19. Doi:10.1007/s11432-014-5209-2
- Obermeier, R. (2016). Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Springer, Wiesbaden, 8.
- Plattform Industrie 4.0. (2019). <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/In-der-Praxis/Internationales/EuropaeischeEbene/europaeische-ebene.html>
- Schallmo, D.R.A., Williams, C.A. (2018). Digital Transformation Now!, Springer, Wiesbaden.
- Tschandl, M., Kogleck R. (2018). Controller als Innovatoren: Von der Digitalisierungs-Roadmap zum neuen Geschäftsmodell, in: Gleich/Tschandl: Digitalisierung & Controlling. Haufe-Lexware, München.
- Vivier, E., Ducrey, V., (2019). Le guide de la transformation digitale, Eyrolles, Paris.
- Wallmüller, E. (2017). Praxiswissen Digitale Transformation: Den Wandel verstehen, Lösungen entwickeln, Wertschöpfung steigern. Carl-Hanser-Verlag München.
- Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I., & Sajdl, O. (2016). Industry 4.0—An Introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, 49(25), 8-12.

## 8.4 Chapitre 4 – Transformation technologique et organisationnelle

- BINGI, P., SHARMA, M., GODLA, J., (1999), Critical issues affecting an ERP implementation. *IS Management*, v. 16, n. 3, p. 7-14.
- BOUWMAN, H.; VAN DEN HOOFF, B.; VAN DE WIJNGAERT, L. (2005), *Information and communication technology in organizations: adoption, implementation, use and effects*. Sage.
- Buhr, D. (2015), Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0 [Social innovation policy for Industry 4.0], in: WISO Diskurs (2015), *Expertisen und Dokumentationen zur Wirtschafts- und Sozialpolitik*, Friedrich-EbertStiftung, Bonn.
- Camisón, C., & Villar-López, A. (2014). Organizational innovation as an enabler of technological innovation capabilities and firm performance. *Journal of Business Research*, 67(1), 2891–2902. doi:10.1016/j.jbusres.2012.06.004
- Cardozo, R., McLaughlin, K., Harmon, B., Reynolds, P., & Miller, B. (1993). Product– market choices and growth of new businesses. *Journal of Product Innovation Management*, 40, 10:331.
- Cefis, E., & Marsili, O. (2006). Survivor: The role of innovation in firms’ survival. *Research Policy*, 35(5), 626–641. doi:10.1016/j.respol.2006.02.006
- Cooper, R. B., & Zmud, R. W. (1990). Information technology implementation research: A technology diffusion approach. *Management Science*, 36(2), 123–139.
- Cotteleer, M., Sniderman, B. (2017). Forces of change: Industry 4.0, Deloitte Services LP’s Center for Integrated Research. Retrieved: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/overview.html#endnote-26>
- Cotteleer, M., Trouton, S. and Dobner, E. (2016). 3D opportunity and the digital thread: Additive manufacturing ties it all together, Deloitte University Press.
- Daft, R. L. (1982). Bureaucratic versus nonbureaucratic structure and the process of innovation and change. In S. B. Bacharach (Ed.), *Research in the sociology of organizations*, (Vol. 1, pp. 129–166). Greenwich. CT: JAI Press.
- Damanpour, F. (1991). Organizational Innovation: A Meta-Analysis of Effects of Determinants and Moderators. *Academy of Management Journal*, 34(3), 555–590.
- Damanpour, F., & Evan. W. M. (1984). Organizational innovation and performance: The problem of organizational lag. *Administrative Science Quarterly*, (29), 392–409.
- Damanpour, F., & Gopalakrishnan, S. (1998). Theories of organizational structure and innovation adoption: the role of environmental change. *Journal of Engineering and Technology Management*, 15(1), 1–24. doi:10.1016/S0923-4748(97)00029-5
- DAMANPOUR, F.; SCHNEIDER, M. (2006). Phases of the adoption of innovation in organizations: Effects of environment, organization and top Managers1. *British Journal of Management*, v. 17, n. 3, p. 215-236.

- Davenport, T. H. (2005). The Coming Commoditisation of Processes. *Harvard Business Review*, 83(6), p 101–108. doi:10.1108/14637151211225207
- Geisberger, E., & Broy, M. (2012). agenda CPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. acatech STUDIE. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29099-2>
- Gjerding, A. N. (1996). Organisational Innovation in the Private Danish Business Sector, DRUID Working Paper 96-16. Aalborg University/Copenhagen Business School.
- Goodhue, D. L., Wixom, B. H., & Watson, H. J. (2002). Realizing Business Benefits Through CRM: Hitting the Right Target in the Right Way. *MIS Quarterly Executive*, 1(2), 79-94.
- Hitt, L. M., & Brynjolfsson, E. (1996). Productivity, Business Profitability, and Consumer Surplus : Three Different Measures of Information Technology Value. *MIS Quarterly*, 20(2), 121-142.
- Hood et al. (2016), *Industry 4.0 engages customers*, Deloitte's Center for Integrated Research. Retrieved: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/cip/deloitte-cn-cip-industry-4-0-engages-customer-en-170224.pdf>
- Jacobs, R. L., & Bu-Rahmah, M. J. (2012). Developing employee expertise through structured on-the-job training (S-OJT): an introduction to this training approach and the KNPC experience. *Industrial and Commercial Training*, 44(2), 75–84. <https://doi.org/10.1108/00197851211202902>
- Kimberly, J. R., & Evanisko, M. (1981). Organizational innovation: the influence of individual, organizational and contextual factors on hospital adoption of technological and administrative innovations. *Acad. Manage. J.*, 24, 689–713.
- Knowles-Cutler, A., and Lewis, H. (2016), Talent for survival: Essential skills for humans working in the machine age, Deloitte LLP.
- Kraemer, K. L., Gurbaxani, V., Mooney, J., Dunkle, D., & Vitalari, N. (1994). The Business Value of Information Technology in Corporations. University of California, Irvine: Center for Research on Information Technology and Organizations (CRITO).
- LAMBERT, D.; COOPER, M. (2000), Issues in supply chain management. *Industrial marketing management*, v. 29, n. 1, p. 65-83.
- Ludwig, T; Kotthaus, C; Stein, M.; Pipek V; Wulf, V. (2018): Revive Old Discussions! Sociotechnical Challenges for Small and Medium Enterprises within Industry 4.0. In: Proceedings of 16th European Conference on Computer-Supported Cooperative Work - Exploratory Papers, Reports of the European Society for Socially Embedded Technologies (ISSN 2510-2591), DOI: 10.18420/ecscw2018\_15
- Mariani, J. Sniderman, B. and Harr, C. (2017), More real than reality: Transforming work through augmented reality, *Deloitte Review* 21, July 31, 2017.
- Melville, N., Kraemer, K., & Gurbaxani, V. (2004). Review: Information Technology and Organizational Performance: An Integrative Model of IT Business Value. *MIS Quarterly*, 28(2), 283-322.
- Mol, M. J., & Birkinshaw, J. (2009). The sources of management innovation: When firms introduce new management practices. *Journal of Business Research*, (62), 1269–1280.



- Mooney, J. G., Gurbaxani, V., & Kraemer, K. L. (1996). A process oriented framework for assessing the business value of information technology. *ACM SIGMIS Database*, 27(2), 68-81.
- Mukhopadhyay, T., Kekre, S., & Kalathur, S. (1995). Business Value of Information Technology: A Study of Electronic Data Interchange. *MIS Quarterly*, 19(2), 137- 156.
- Mussomeli, A., Gish, D., Laaper, S. (2016), *The rise of the digital supply network*, Deloitte's Center for Integrated Research.
- OECD. (1997). OSLO MANUAL - The Measurement of Scientific and Technological Activities Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data. Eurostat. doi:10.1787/9789264013100-en
- OECD/Eurostat (2005), Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition, The Measurement of Scientific and Technological Activities, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264013100-en>.
- Parrott, A. and Warshaw, L. (2017), *Industry 4.0 and the digital twin.*, Deloitte's Center for Integrated Research, Retrieved: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>
- Prange, C, Pinho, J. (2017), How personal and organizational drivers impact on SME international performance: The mediating role of organizational innovation, *International Business Review*, Volume 26, Issue 6.
- RAM, J.; CORKINDALE, D., TAGG, R., (2016), Empirical Validation Of A Performance-Based Innovation Process Model: A Case Of ERP. *Journal of Computer Information Systems*, v. 56, n. 2, p. 116-126. Retrieved: [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465\\_Digital-supply-network/DUP\\_Digital-supply-network.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465_Digital-supply-network/DUP_Digital-supply-network.pdf)
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of Innovations* (3rd ed.). New York: The Free Press. Retrieved from <http://www.google.pt/books?hl=en&lr=&id=v1ii4QsB7jIC&pgis=1>
- Schröder, C. (2017), *The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises, A good society –social democracy 2017*, THE FRIEDRICH-EBERT-STIFTUNG.
- Schwartz, J., Collins, L., Stockton, H., Wagner, D. and Walsh, F. (2017), *The future of work: The augmented workforce*, Deloitte University Press.
- Tellis, G. J., Prabhu, J. C., & Chandy, R. K. (2009). Radical Innovation Across Nations: The Preeminence of Corporate Culture. *Journal of Marketing*, 73(1), 3–23. doi:10.1509/jmkg.73.1.3
- Tung, C. (2018), Vertical integration for smart manufacturing-The dynamic capability perspective, *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, 4(2): 70-78.
- Van de Ven, A. H., & Rogers, E. M. (1988). Innovations and Organizations: Critical Perspectives. *Communication Research*, 15(5), 632–651. doi:10.1177/009365088015005007
- Zaltman, G., Duncan, R., & Holbek, J. (1973). *Innovations and organizations*. New York: Wiley.
- Zuboff, S. (1985). *Automate/informate: the two faces of intelligent technology*.



## 8.5 Chapter 5 - Innovation et nouveaux modèles d'affaires

- Arnold, C., Kiel, D., and Voigt, K.-I. 2016. "How Industry 4.0 Changes Business Models in Different Manufacturing Industries," in Proceedings of XXVII ISPIM Conferences, K. Huizingh, S. Conn, M. Torkkeli and I. Bitran (eds.). Porto, Portugal: ISPIM, pp. 1-20.
- Baden-Fuller, C. and Haefliger, S. (2013) Business Models and Technological Innovation. Long Range Planning, 46, 419-426. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lrp.2013.08.023>
- Burmeister, C., Lüttgens, D., and Piller, F. T. 2016. "Business Model Innovation for Industrie 4.0: Why the Industrial Internet Mandates a New Perspective on Innovation," Die Unternehmung (70:2), pp. 124-152.
- Chesbrough, H. (2010), Business model innovation opportunities and barriers. 2010, Vol. 43, pp. 354-363.
- Chesbrough, H. e Rosenbloom, R. (2002), The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. 3, 2002, Vol. 11, pp. 529-555.
- Deloitte (2017), Forces of change: Industry 4.0, in <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/overview.html>
- Dimension Data, (2018), Retrieved: <https://www.dimensiondata.com/en/microsites/digital-workplace-report>
- E.W. Fleisch, Markus; Wortmann, Felix, Geschäftsmodelle (2014) im Internet der Dinge. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. 51(6) 812- 826.
- Gudiksen, S., Poulsen, S. B. & Buur, J., (2014), 'Making business models', International Journal of CoCreation in Design and the Arts, 10 (1), pp.15-30, Taylor & Francis, Denmark.
- Ibarra, D., Ganzarain, J., Igartua, J. (2018), Business model innovation through Industry 4.0: A review, Procedia Manufacturing, Volume 22, Pages 4-10, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.002>.
- IHS Automotive (2018). 2018 CES – A confluence of technologies to drive automotive innovation Retrieved from <https://ihsmarkit.com/research-analysis/2018-ces-a-confluence-of-technologies-to-drive-automotive-innovation.html>
- Johnson, M. (2010), Seizing the White Space: Business Model Innovation for Growth and Renewal. 1. s.l. : Harvard Business Press, 2010.
- Johnson, W. M (2010) The time has come for business model innovation. 2010.
- Johnson, W. M., Christensen, C. e Kagermann, H. (2008), Reinventing your business model. 12, Dec. de 2008, Vol. 86, pp. 50-59.
- Kagermann, H., Wahlster, W., and Helbig, J. (2013), Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group," acatech.
- Kim, A. S., DiPlacido, M. P., Kerns, M. C., & Darnley, R. E. (2018). Industry 4.0: Digitization in Danish Industry. Retrieved from <https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all/5185>

- M.M.A. Iivari, Petri; Komi, Marjaana; Tihinen, Maarit; Valtanen, Kristiina, (2016) Toward Ecosystemic Business Models in the Context of Industrial Internet. *Journal of Business Models*. 4(2) 42-59.
- Machine Sense (2018), Industry 4.0 Using MachineSense Industrial IoT Platform, retrieved 1, march 2019.
- Magretta, J. (2002), Why business models matter. [ed.] *Harvard Business Review*. 80, May de 2002, Vol. 5, pp. 86-92.
- McClellan, M. (1997). *Applying Manufacturing Execution Systems*. Boca Raton, FL: St. Lucie/APICS. ISBN 1574441353.
- McKinsey Digital (2015), "Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector," Available: ISSN: 2414-4592
- Meira, S., (2013), *Negócios Inovadores De Crescimento Empreendedor No Brasil*, Casa de Palavra, Rio de Janeiro, Brazil.
- Oracle (2018), 22 Big Data Use Cases You Want to Know, Oracle Corporation, CA 94065 USA., retrieved 31 October 2018.
- Osterwalder, A. e Pigneur, Y., (2010). *Business Model Generation*. s.l. : John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- PwC (2016), Indústria 4.0 Construir a empresa digital, retrieved: <https://www.pwc.pt/pt/temas-actuais/2016/pwc-industria-40.pdf>
- Schröder, C. (2017). *The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises*. Friedrich-Ebert-Stiftung, 28.
- Schwarzkopf (2016), *An Evaluation of the Business Model Canvas By Technology-Oriented Startups In Brazil: A qualitative study about the usage of the tool by Brazilian entrepreneurs*, Master's thesis presented to Corporate International Master's program, Escola Brasileira de Administração Pública, Fundação Getulio Vargas.
- Shafer, M. S, Smith, H. J e Linder, C. J. (2005), The power of business models. 48, 2005, pp. 199-207.
- Sniukas, M. (2012), *Making Business Model Innovation Happen*. Applied Innovation Management. s.l.: Innovation Management, 2012. p. 27, Guide.
- Staehler, P. (2001), *Business models in the digital economy*. 2001.PhD Thesis.
- Stähler, P. (2002), *Business models as an unit of analysis for strategizing*. 2002.
- Tukker, A. (2004). *Eight Types of Product–Service System: Eight Ways to Sustainability? Experiences from Suspronet*, *Business strategy and the environment* (13:4), pp. 246-260.
- Van Ostaeyen, Joris (2014). *Analysis of the Business Potential of Product-Service Systems for Investment Goods*. PhD thesis, KU Leuven. p. 2. ISBN 978-94-6018-805-3.
- Weking, J., Stöcker, M., Kowalkiewicz, M.; Böhm, M. and Krcmar, H., (2018), *Archetypes for industry 4.0 business model innovations*, in Presented at the Twenty-fourth Americas Conference on Information Systems, New Orleans, LA.
- Zott, C. e Amit, R. (2007), *Business Model Design and the Performance of Entrepreneurial Firms*. 2, March-April de 2007, Vol. 18, pp. 181-199.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, 6(4), 239.

## 8.6 Chapitre 6 – Impacts sur les PME

Bauernhansl, Thomas (2014), Die Vierte industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma, in: Bauernhansl, Thomas/ Hompel, Michael ten/ Vogel-Heuser, Birgit (2014), Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer Vieweg, Wiesbaden.

Curtarelli, M., Gualtieri V., Jannati M. S., Donlevy V. (2017). ICT for work: Digital skills in the workplace, European Commission, Doi:10.2759/498467. Retrieved from <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ict-work-digital-skills-workplace>

David, Rodreck; Ngulube, Patrick; Dube, Adock (2013). "A cost–benefit analysis of document management strategies used at a financial institution in Zimbabwe: A case study". SA Journal of Information Management. 15 (2). doi:10.4102/sajim.v15i2.540

Design Conference, Bochum, Germany. Retrieved from: <https://www.springer.com/gp/book/9783642308161>

King, A. (2018), Industry 4.0 and SMEs, RMIT University. Retrieved from: <https://www.rmit.edu.au/industry/develop-your-workforce/tailored-workforce-solutions/c4de/articles/industry-and-smes>

Lorenz, M., Küpper D., Rübmann M., Heidemann A., Bause A., (2016). Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0 The Boston Consulting Group, Inc. Retrieved from: [http://www.metalonia.com/w/documents/BCG-Time-to-Accelerate-in-the-Race-Toward-Industry-4.0-May-2016\\_tcm80-209674.pdf](http://www.metalonia.com/w/documents/BCG-Time-to-Accelerate-in-the-Race-Toward-Industry-4.0-May-2016_tcm80-209674.pdf)

Maresova, P., Soukal I., Svobodova, L., Hedvicakova, M., Javanmardi, E., Selamat, A., Krejcar, O. (2018). Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics, Economies 2018, 6, 46; doi:10.3390/economies6030046. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/326943099\\_Consequences\\_of\\_Industry\\_40\\_in\\_Business\\_and\\_Economics](https://www.researchgate.net/publication/326943099_Consequences_of_Industry_40_in_Business_and_Economics)

Müller, J.M., Kiel, D., Voigt, K. (2018). What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability, Open Access Journal, vol. 10(1), 1-24. Retrieved from <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v10y2018i1p247-d127650.html>

Popova, M, Ovcharova, Zh., Margenov, S., Todorov, G., Kamberov, K., Slavkov, V., Kostov, L. (2018), Industry 4.0 - Challenges and consequences for the economic and social development of Bulgaria, Friedrich-Ebert-Stiftung, ISBN 978-954-2979-32-6. Retrieved from <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/sofia/14601.pdf>

Schröder. C., Philipps, R. (2016). The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises, Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/305789672\\_The\\_Challenges\\_of\\_Industry\\_40\\_for\\_Small\\_and\\_Medium-sized\\_Enterprises](https://www.researchgate.net/publication/305789672_The_Challenges_of_Industry_40_for_Small_and_Medium-sized_Enterprises)

- SMEUnited (2019). The EU Craft and SME Barometer, Brussels, Belgium. Retrieved from <https://smeunited.eu/admin/storage/smeunited/190308-barometer-19h1.pdf>
- Smit J., Kreutzer S., Moeller C., Carlberg M., (2016). Industry 4.0, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, European Union. Retrieved from: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL\\_STU\(2016\)570007\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf)
- Türkes, M., Oncioiu, I., Aslam, H., Marin-Pantelescu, A., Topor, D., Capusneanu, S. (2019). Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania, Processes 2019, 7, 153; doi:10.3390/pr7030153. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2227-9717/7/3/153/pdf>
- Young, A.; M. Yung (1996). Cryptovirology: extortion-based security threats and countermeasures. IEEE Symposium on Security and Privacy. pp. 129–140. doi:10.1109/SECPRI.1996.502676. ISBN 0-8186-7417-2

## 8.7 Glossaire

- Conti M., Passarella A., (2017) Internet of People (IoP) - An inter-disciplinary approach to Networking in a human-centric NGI, <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/internet-people-iop-inter-disciplinary-approach-networking-human-centric-ngi>
- David, Rodreck; Ngulube, Patrick; Dube, Adock (2013). "A cost–benefit analysis of document management strategies used at a financial institution in Zimbabwe: A case study". SA Journal of Information Management. 15 (2). doi:10.4102/sajim.v15i2.540
- Davis, S. (1996), *Future Perfect*, Addison-Wesley, Boston, MA.
- Grievies, M., "Origins of the Digital Twin Concept", (2016). doi: 10.13140/RG.2.2.26367.61609, Florida Institute of Technology / NASA, DOI:10.13140/RG.2.2.26367.61609
- ITU-T Y.2060, (2012) SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models - Overview of the Internet of things, <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11559&lang=en>
- McClellan, M. (1997). Applying Manufacturing Execution Systems. Boca Raton, FL: St. Lucie/APICS. ISBN 1574441353.
- OECD/Eurostat (2005), Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition, The Measurement of Scientific and Technological Activities, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264013100-en>.
- Osterwalder, A. & Pigneur Y., (2010). Business Model Generation, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- Popova, M, Ovcharova, Zh., Margenov, S., Todorov, G., Kamberov, K., Slavkov, V., Kostov, L. (2018), Industry 4.0 - Challenges and consequences for the economic and social development of Bulgaria,

Friedrich-Ebert-Stiftung, ISBN 978-954-2979-32-6. Retrieved from <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/sofia/14601.pdf>

Porter, Michael E., (1985) "Competitive Advantage", The Free Press, New York, pp. 11-15.

Schallmo, D.R.A., Williams, C.A. (2018). Digital Transformation Now!, Springer, Wiesbaden.

T.S. Baines, H.W. Lightfoot, O. Benedettini, J.M. Kay, (2009) "The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges", Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 20 Issue: 5, pp.547-567, <https://doi.org/10.1108/17410380910960984>

Young, A.; M. Yung (1996). Cryptovirology: extortion-based security threats and countermeasures. IEEE Symposium on Security and Privacy. pp. 129–140. doi:10.1109/SECPRI.1996.502676. ISBN 0-8186-7417-2.