

Louvain School of Management

Les effets de la quatrième révolution industrielle sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement

Auteur : Matéo Lagasse de Locht

Promoteur : Per Joakim Agrell

Année académique 2021-2022

Travail de fin d'études en vue d'obtenir le titre d'ingénieur de gestion

Master [120] : Ingénieur de Gestion, finalité spécialisée en Supply Chain
Management

Horaire de jour

Résumé :

Ce mémoire étudie les effets de la quatrième révolution industrielle sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement d'une organisation et sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement mondiale. Avec cet objectif en tête, une analyse approfondie de la littérature est effectuée et permet de constater que l'Industrie 4.0 facilite la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement flexible et reconfigurable, proposant des délais de livraison réduits et fabriquant des produits individualisés de qualité et à faibles coûts. Par conséquent, l'Industrie 4.0 augmente la compétitivité d'une organisation en répondant durablement aux nouvelles exigences de consommation, puisqu'en effet, l'intégration des systèmes, qui constitue l'un de ses concepts fondamentaux, permet de conserver un avantage concurrentiel à long terme. Dès lors, puisqu'un pays est compétitif lorsque ses entreprises le sont, les pays dont les entreprises optent pour l'implémentation des technologies qui caractérisent cette révolution vont voir leur compétitivité augmenter également. Ainsi, au vu des investissements réalisés par les pays d'Asie du Sud-Est dans le développement de l'Industrie 4.0, ces derniers pourraient bien être les superpuissances industrielles de demain.

Afin d'apporter un regard différent sur la question, une enquête qualitative ciblant des experts du domaine vient compléter cette analyse. Elle montre que cette révolution transforme l'organisation des entreprises et que les multiples possibilités qu'elle offre permettent à chacun de trouver un moyen de se différencier. D'autre part, l'adoption de ces technologies donne la possibilité de répondre aux demandes individuelles des clients en leur offrant ce qu'ils veulent, quand ils le veulent et où ils le veulent, de manière rentable, avec une efficacité et une efficience maximales. En outre, les pays qui profiteront le plus de cette révolution sont les pays développés. En effet, les entreprises occidentales sont encouragées à relocaliser leurs sites de production à proximité de leurs marchés de consommation et ces pays ont également la capacité d'éduquer et de former la prochaine génération afin qu'elle acquière les compétences nécessaires au développement et à l'utilisation des outils de l'Industrie 4.0. Cependant, même si cette révolution aura un impact sur tous les niveaux de la société, il y a encore beaucoup d'incertitudes sur la manière dont cela se produira et son développement pourrait prendre plus de temps que prévu.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Place des Doyens, 1 bte L2.01.01, 1348 Louvain-la-Neuve
Boulevard Emile Devreux 6, 6000 Charleroi, Belgique
Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique
www.uclouvain.be/lsm

Remerciements

Je souhaite avant tout remercier ma compagne Sarah, mes parents, ma famille et mes amis pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements tout au long de mes études.

Naturellement, je tiens à remercier, mon promoteur, le Doyen Per Agrell pour sa disponibilité et pour m'avoir guidé dans les différentes étapes de ce mémoire.

Je souhaite également remercier Joachim Hensch, Sean Culey et John Baruch pour avoir accepté de me consacrer un peu de leur temps et dont les avis enrichissent réellement le contenu de mon analyse.

Enfin, je tiens à remercier tous les professeurs de l'Université Catholique de Louvain, de la Louvain School of Management et de Reykjavik University qui ont contribué à mon développement et qui ont nourri ma réflexion sur bien des sujets.

Table des matières

Introduction	1
Motivations	1
Question de recherche.....	2
Limites	3
Revue de la littérature	4
1.1. Gestion de la chaîne d’approvisionnement.....	5
1.1.1. Approvisionnement	6
1.1.2. Production.....	6
1.1.3. Distribution.....	7
1.1.4. Transport.....	8
1.1.5. Stock	9
1.1.6. Retour et logistique inverse	10
1.1.7. Questions transversales.....	11
1.2. La quatrième révolution industrielle	12
1.2.1. Un peu d’histoire	13
1.2.1.1. Première révolution industrielle.....	13
1.2.1.2. Deuxième révolution industrielle.....	13
1.2.1.3. Troisième révolution industrielle	14
1.2.2. La quatrième révolution industrielle.....	14
1.2.2.1. Big data et méthodes analytiques.....	15
1.2.2.2. Cloud.....	15
1.2.2.3. Simulation	16
1.2.2.4. Internet des objets	16
1.2.2.5. Cybersécurité	17
1.2.2.6. Robotique autonome	18
1.2.2.7. Fabrication additive.....	18

1.2.2.8. Technologies immersives.....	19
1.2.3. Développement par région.....	19
1.3. Les effets de la quatrième révolution industrielle.....	22
1.3.1. Coût	23
1.3.2. Disponibilité	25
1.3.3. Délai de livraison.....	27
1.3.4. Qualité	29
1.3.5. Customisation et gamme de produits.....	30
1.3.6. Les effets de la quatrième révolution industrielle	32
<i>Enquêtes empiriques</i>	<i>33</i>
2.1. Méthodologie.....	34
2.1.1. Sources de données.....	34
2.2. Analyse exploratoire.....	36
2.2.1. La quatrième révolution industrielle.....	36
2.2.1.1. Technologies	37
2.2.2. Les effets de la quatrième révolution industrielle	39
2.2.2.1. La compétitivité de la chaîne d’approvisionnement	39
2.2.2.2. Comment l’Industrie 4.0 permet de retrouver cette compétitivité ?	40
2.2.3. Quels régions bénéficieront le plus de l’Industrie 4.0 ?	41
2.2.4. Quel avenir pour l’Industrie 4.0 ?.....	43
<i>Conclusion</i>	<i>46</i>
Contributions.....	47
Critiques	48
Recherches futures	48
<i>Bibliographie</i>	<i>50</i>
<i>Annexes.....</i>	<i>58</i>
A.1. Guide d’entretien	58
A.2. Entretien - Joachim Hensch.....	59

A.3. Entretien - Sean Culey 70

A.4. Entretien - John Baruch 76

Introduction

Motivations

Au cours des dernières décennies, le phénomène de la globalisation a donné naissance à des chaînes d'approvisionnement mondiales qui ont été développées dans un but de maximisation du profit et de minimisation des coûts. Ce modèle a mené les entreprises à s'approvisionner à l'étranger et à produire dans des pays peu coûteux, les éloignant ainsi de leurs marchés de consommation (Manavalan et Jayakrishna, 2018 ; Geissbauer, Wunderlin et Lehr, 2017).

Toutefois, dans un monde aussi dynamique et changeant que le nôtre, les organisations sont confrontées à des perturbations croissantes dans leurs activités, c'est pourquoi prédire la bonne demande devient un exercice extrêmement compliqué. En outre, le manque d'agilité des chaînes d'approvisionnement et l'entrée tardive des produits sur le marché les empêchent de s'adapter aux nouvelles exigences des consommateurs et entraînent de plus en plus de pénuries aux lourdes conséquences (Manavalan et Jayakrishna, 2018 ; Sweeney, 2022). Aussi, la multiplication des variants aux cycles de vie courts, causés par une concurrence internationale, plongent encore un peu plus les organisations dans l'incertitude (Ghadge, Kara, Moradlou et Goswami, 2020 ; Lidberg, Tehseen, Leif et Ng, 2020). À cela s'ajoute un environnement économique et commercial plus difficile, avec des événements tels que le Brexit et des enjeux climatiques où « le statu quo n'est tout simplement plus une option si nous voulons assurer un avenir durable » (Sweeney, 2022). Enfin, comme si tout cela ne suffisait pas, les chaînes d'approvisionnement sont une nouvelle fois mises à l'épreuve par la pandémie de COVID-19 et le conflit armé entre la Russie et l'Ukraine (Brown, 2020 ; Kilpatrick, 2022).

Face à ces événements et à l'évolution de la société, il est temps de reconsidérer la position des chaînes d'approvisionnement et de leur apporter certains changements. Désormais, il faut accepter qu'il ne soit plus possible de tout planifier et qu'il soit nécessaire de développer des compétences agiles pour rester compétitif (Mayor, 2022). En suivant cette philosophie et en intégrant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une organisation peut considérablement améliorer ses performances tout en étant bénéfique pour l'économie et la société (Sweeney, 2022). À cet égard, le concept d'Industrie 4.0, considéré comme la quatrième

révolution industrielle, a vu le jour il y a maintenant quelques années. Cette nouvelle ère industrielle redistribue les cartes de la concurrence et affecte la structure de l'industrie. De fait, en intégrant les différents processus de la chaîne d'approvisionnement et en adoptant les technologies émergentes, l'Industrie 4.0 permet aux organisations de gérer efficacement leur chaîne d'approvisionnement en proposant des solutions aux clients qui correspondent à leurs nouvelles exigences (Dalenogare, Benitez, Ayala et Frank, 2018). Selon Wang, Wan, Li et Zhang (2016), les effets de l'Industrie 4.0 ne se limiteront pas à l'industrie elle-même, mais amélioreront l'ensemble de notre société en affectant le mode de vie de tout un chacun.

Question de recherche

Cependant, bien que cette quatrième révolution industrielle soit présentée dans la littérature comme bénéfique aux organisations, la plupart des articles expliquent les concepts fondamentaux de l'Industrie 4.0 sans pour autant décrire en détails comment et pourquoi ceux-ci permettent aux organisations d'acquérir une force concurrentielle. Ainsi, au travers de ce mémoire, nous tentons de répondre à la question de recherche suivante : *quels sont les effets de la quatrième révolution industrielle sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement ?*

Pour cela, nous considérons la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement de deux manières. D'un côté, nous l'étudions d'un point de vue microéconomique en proposant une vue d'ensemble des effets de l'Industrie 4.0 sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement d'une organisation. D'un autre côté, nous l'étudions d'un point de vue macroéconomique puisque nous tentons d'identifier les pays qui bénéficieront le plus de cette révolution. En d'autres mots, nous nous demandons comment l'Industrie 4.0 influencera la compétitivité mondiale de la chaîne d'approvisionnement ?

Avec cet objectif en tête, la littérature est d'abord passée en revue et constitue le premier chapitre, lui-même divisé en trois sections. La première section décrit les principaux processus qui sont associés à la gestion de la chaîne d'approvisionnement et en fixent le cadre. La deuxième section introduit la quatrième révolution industrielle et permet de mieux comprendre l'histoire de l'industrie à travers les trois premières révolutions, mais aussi les technologies qui caractérisent cette nouvelle ère industrielle et le stade de développement par région. Enfin, la troisième section rassemble les effets de la quatrième révolution industrielle sur la compétitivité

des chaînes d'approvisionnement d'une organisation énoncés dans la littérature. Ensuite, le second et dernier chapitre vise à apporter des connaissances supplémentaires d'experts sur les différents thèmes abordés dans le premier chapitre, à évaluer les états actuels et futurs des développements ainsi qu'à identifier de potentielles contradictions avec la littérature.

Limites

Bien évidemment, la réalisation de ce mémoire a été limitée par certains facteurs. Tout d'abord, le concept d'Industrie 4.0 est relativement récent (moins de 10 ans) et les différents événements tels que le COVID-19 et la guerre en Ukraine ont freiné son développement au sein des organisations (Sweeney, 2022). Par conséquent, les applications des différentes technologies qui caractérisent cette révolution n'ont pas beaucoup évolué depuis le début de la pandémie et restent dans une phase initiale de développement. En outre, peu de personnes ayant une expérience dans ce domaine travaillent dans l'industrie, ce qui limite donc les possibilités d'étude.

En effet, étant donné la difficulté rencontrée à trouver des exemples d'implémentations réelles où des données fiables peuvent être analysées, il semble compliqué de s'éloigner d'un modèle théorique. Dès lors, l'idée initiale qui était de se concentrer sur le secteur automobile a dû être écartée et l'option alternative a été privilégiée. Cette option vise à proposer un aperçu général des effets de la quatrième révolution industrielle sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement. Bien évidemment, la fiabilité des conclusions tirées peut être remise en cause puisque ces dernières reposent sur des avis et des opinions.

Enfin, la dernière limite identifiée concerne le fait que les organisations qui ont le plus de connaissances dans ce domaine sont souvent des cabinets de conseil qui cherchent à vendre leurs solutions. Par conséquent, bien que nous ne devions certainement pas rejeter ce qu'ils ont à nous apprendre, il peut être difficile de discerner le vrai du faux et de recueillir des avis totalement objectifs sur les effets de cette révolution sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement.

Chapitre I

Revue de la littérature

1.1. Gestion de la chaîne d'approvisionnement

La gestion de la chaîne d'approvisionnement est un concept large qui a évolué au fil du temps et qui se définit de bien des manières. Pour Mentzer et al., elle représente :

La coordination systémique et stratégique des fonctions traditionnelles et des tactiques entre ces fonctions au sein d'une entreprise donnée et entre les entreprises de la chaîne d'approvisionnement, dans le but d'améliorer les performances à long terme des entreprises individuelles et de la chaîne d'approvisionnement dans son ensemble. (Mentzer et al., 2001, p.18)

Comme nous pouvons le lire dans la définition ci-dessus, l'accent est principalement mis sur la coordination au sein de l'entreprise et avec les différents partenaires de la chaîne (fournisseurs, clients, distributeurs, intermédiaires ou autres). Quant au Council of Supply Chain Professionals, outre inclure la collaboration et la coordination intra- et inter-organisationnelles, la gestion de la chaîne d'approvisionnement « englobe la planification et la gestion de toutes les activités liées au sourcing et à l'approvisionnement, à la conversion et à toutes les activités de gestion logistique. ». Cependant, quelle que soit la définition qui lui est donnée, la gestion de la chaîne d'approvisionnement est fondamentale. Dans de nombreux cas, elle constitue une part importante des coûts et est la principale responsable de l'impact des entreprises sur l'environnement (Le Moigne, 2017). En outre, elle peut être une source considérable d'avantage concurrentiel si elle est conçue et gérée de façon à satisfaire correctement les besoins et les attentes des clients en termes de prix, de délai de livraison, de disponibilité, de qualité, de gamme de produits et de customisation (Semal, 2017).

Les prochaines sections sont dédiées aux principaux processus qui caractérisent la chaîne d'approvisionnement et les différentes façons dont ces derniers peuvent être gérés au sein des organisations.

1.1.1. Approvisionnement

Le premier processus dont il est question est l'approvisionnement. Dans grand nombre d'industries, sa gestion ne varie que très peu. En effet, elle commence généralement avec la segmentation des catégories de produits à acheter et l'établissement d'une stratégie d'achat pour chacune d'entre elles. Sur cette base, il convient de sélectionner les fournisseurs avec lesquels l'organisation souhaite travailler (Le Moigne, 2017 ; Semal, 2017). Le choix du nombre de fournisseurs peut s'avérer compliqué, certaines théories suggèrent de le réduire au maximum pour favoriser les relations long terme et de qualité, tandis que d'autres préfèrent encourager l'approvisionnement multiple afin de minimiser les risques de pénurie. Selon Sajadieh et Thorstenson (2014), l'essentiel réside dans la capacité à se coordonner et à se partager l'information pour pouvoir proposer aux consommateurs des services et produits à coûts réduits. Une fois que les fournisseurs sont sélectionnés et les contrats établis, il est important d'entretenir la relation. Effectivement, une bonne relation facilite le développement conjoint de nouveaux produits et la gestion des stocks, des approvisionnements et du transport. En outre, il faut assurément suivre les indicateurs de performance de manière régulière pour s'assurer que la collaboration aille dans la bonne direction et soit en accord avec le pilotage opérationnel et stratégique de l'organisation (Le Moigne, 2017).

1.1.2. Production

Le second processus concerne la production dont les trois grands modèles d'organisation sont les modèles artisanal, en lignes, et fonctionnel. Dans le model artisanal, une seule et même personne réalise l'ensemble des tâches, du début à la fin de la fabrication d'un produit. Dans le modèle en lignes, chacune des personnes employées se concentre sur une seule tâche dans le processus de production de sorte que le produit suive un parcours séquentiel. En d'autres mots, la seconde opération ne peut pas être réalisée avant la première. Finalement, le modèle fonctionnel suit la même logique que le modèle en lignes à la différence que le produit ne doit pas forcément suivre un parcours séquentiel puisque les différentes opérations sont désynchronisées, la deuxième opération peut se faire avant la première et après la quatrième (Semal, 2017).

Maintenant que les modèles de production sont expliqués, il est intéressant de se pencher sur les différentes stratégies qui peuvent être mises en place au sein d'une organisation. Une première stratégie concerne la fabrication sur stock où l'ensemble du processus de production est piloté par les prédictions de ventes et non les commandes des clients. Ensuite, le conditionnement à la commande constitue la seconde stratégie de production. Dans ce cas, la production se fait toujours sur base des prédictions mais uniquement jusqu'au conditionnement, les produits sont donc conditionnés au moment de la commande. L'assemblage à la commande suit le même principe sauf que dans ce cas-ci, ce sont les différentes pièces qui sont produites sur base des prédictions et l'assemblage final se fait une fois la commande reçue. L'idée de ces deux dernières stratégies est d'avancer le plus longtemps possible sans différenciation et de bénéficier au maximum de l'agrégation pour réduire la variabilité. Cette différenciation retardée peut même avoir lieu au sein des plateformes logistiques afin d'attendre le dernier moment avant de personnaliser les marchandises. À l'opposé, il y a la fabrication sur commande où l'ensemble du processus de production se fait lorsque le client a passé sa commande. Finalement, il existe également la stratégie de conception à la commande (Le Moigne, 2017 ; Semal, 2017).

Selon Le Moigne (2017), la planification de la production est composée de quatre étapes. D'abord, l'établissement d'un plan industriel et commercial ayant pour but d'équilibrer l'offre à la demande. Ensuite, la mise en place d'un plan directeur définissant la production par produit et par période ainsi que les niveaux de stock à atteindre. La planification des besoins en matériel constitue la troisième étape et permet de déterminer la quantité des composants nécessaires à la fabrication des produits du plan directeur. Enfin, le contrôle de l'activité de production clôture le processus de planification.

1.1.3. Distribution

La distribution, qui constitue le prochain processus dont nous allons discuter, implique évidemment la mise en place d'un réseau de distribution et celui-ci peut fortement varier d'une organisation à l'autre. En effet, différents types de flux logistiques existent tels que la livraison directe où les marchandises vont directement du site de production aux clients, les plateformes de distribution où les marchandises sont stockées et triées dans un entrepôt avant d'être livrées aux clients, et finalement les plateformes de *cross-docking* où les marchandises ne font, cette

fois-ci, que transiter par un entrepôt et sont directement livrées aux clients après avoir été triées (Le Moigne, 2017 ; Semal, 2017). Les plateformes logistiques peuvent être centrales ou régionales. Dans le premier cas, chaque client est livré à partir d'un même site central, dans le second, il existe plusieurs sites qui livrent chacun les clients de leur région (Ribas, Lusa et Corominas, 2019). Il est évident qu'une organisation peut également opter pour un réseau de distribution multi-échelon qui combine les plateformes centrales et régionales. Ainsi, les marchandises peuvent être livrées du site de production à une plateforme centrale avant d'être envoyées aux plateformes régionales pour finalement arrivées aux clients (Le Moigne, 2017).

Bien que l'établissement du réseau de distribution constitue une décision stratégique et que sa modification serait longue et coûteuse, certaines raisons peuvent conduire une organisation à le transformer. Par exemples, « l'acquisition d'une autre entreprise, une augmentation des coûts de logistique et de transport, une évolution du réseau de production, une importante augmentation ou diminution de l'activité ou encore un changement de localisation des fournisseurs-clés » (Le Moigne, 2017, p. 37) font partie des raisons qui pourraient amener une transformation du réseau de distribution.

1.1.4. Transport

Ensuite, un autre processus important dans la conception de la chaîne d'approvisionnement est le transport. Il représente plus de 20% des émissions des gaz à effet de serre en Belgique (Climat.be, 2019) et peut être une source importante de coûts si celui-ci n'est pas bien pensé. Il existe évidemment plusieurs façons de transporter des marchandises d'un point A à un point B. Cela peut se faire par voie terrestre (transport routier, ferroviaire ou fluviale), par voie maritime ou par voie aérienne (Le Moigne, 2017). Il est également possible d'opter pour une option multimodale, qui selon Colicchia, Creazza et Dallari (2017), réduirait les émissions de CO_2 et optimiserait les coûts dans bien des cas. En outre, des nœuds de transport, comme les ports maritimes, fluviaux et secs, les aéroports et les plateformes logistiques, peuvent être sur la route des marchandises transportées.

Le processus de gestion du transport commence par la planification, qui comprend, entre autres, la mise en place du plan de route. Ensuite, la préparation des marchandises et l'exécution du transport correspondent respectivement aux deuxième et troisième étapes. Finalement, la

clôture des ordres et le suivi des performances concluent le processus. Dépendant des organisations, les indicateurs de performance sont le taux de parcours à vide, le taux d'émissions de CO_2 , les coûts de transport qui dépendent du mode de transport utilisé, du taux de remplissage et de la distance, etc. (Le Moigne, 2017 ; Semal, 2017).

1.1.5. Stock

En ce qui concerne le stock, Goldratt et Cox le décrivent comme « tout l'argent que le système a investi dans l'achat de biens qu'il a l'intention de vendre » (2014, p. 61). Cela comprend les matières premières, les produits semi-finis, les produits finis, mais également les produits de maintenance, de réparation et de révision (Le Moigne, 2017). Nous retrouvons ce stock à bien des niveaux au sein d'une organisation et il est induit par différentes raisons. D'abord, les coûts fixes qui peuvent prendre une forme monétaire (coûts de transport, coûts du personnel, etc.) et une forme temporelle (temps de mise en route d'une machine, temps pour passer une commande, etc.). Cette première raison conduit les organisations à accumuler un stock dit cyclique afin de pouvoir commander et produire moins souvent. Le deuxième type de stock provient de l'incertitude. Une organisation ne peut pas être totalement sûre de sa capacité de production future, du prochain approvisionnement ou de la demande de demain. Elle va donc constituer un stock de sécurité qui sera là au cas où les choses ne se passeraient pas comme prévu. D'autre part, les événements futurs peuvent être connus, par exemple, une organisation sait qu'elle sera fermée pendant une certaine période et doit donc se constituer un stock pour répondre à la demande de cette période, il s'agit alors du stock anticipé. Enfin, la dernière raison est inévitable, elle vient du fait que les choses prennent du temps. Par conséquent, tous les produits en cours de traitement ou de transport (*work in progress*) sont également considérés comme du stock (Semal, 2017).

Ces différents stocks doivent inévitablement être gérés et les méthodes peuvent varier en fonction du type de stock et du type de produit. Dès lors, afin de mettre en place une segmentation adaptée, une organisation peut opter pour l'analyse ABC (segmentation des produits en fonction de la demande) ou l'analyse volume variabilité (segmentation des produits en fonction de la demande et de la variabilité). Sur cette base, une politique de réapprovisionnement des stocks peut être définie pour chaque segment de produit(s). Le système de point de commande où une commande est créée lorsque la quantité en stock passe en dessous d'une certaine limite, le système à intervalles fixes où la quantité commandée est destinée à

remplacer la quantité consommée pendant la période, et le calcul des besoins nets constituent les trois principales méthodes de réapprovisionnement des stocks (Le Moigne, 2017).

1.1.6. Retour et logistique inverse

Finalement les retours et la logistique inverse constituent le dernier principal processus de la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Un retour décrit une « action de retourner, de renvoyer quelque chose à un expéditeur » (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, s. d.). Par exemple, celui-ci peut survenir lorsqu'un client est mécontent du produit livré. Dans ce cas, le produit en question devra être acheminé du client vers un lieu déterminé au préalable. Bien que la gestion des retours est une composante importante dans la conception de la chaîne d'approvisionnement, elle est souvent négligée par les organisations. Il est nécessaire de savoir exactement quels sont les produits à récupérer et à livrer, quel moyen de transport est utilisé, quelle route empruntée, etc. (Croxton, Garcia-Dastugue, Lambert et Rogers, 2001 ; Semal, 2017).

Sans surprise, cette gestion représente un coût et éviter le nombre de retours est l'option à privilégier. Pour cela, une organisation peut opter pour la prévention en améliorant la qualité de leur produit ou en donnant des instructions claires aux clients sur la manière dont il faut les utiliser. Une autre option est de mettre en place un *gatekeeping* qui va filtrer les produits retournés pour s'assurer que seuls les retours justifiés soient acceptés. Cependant, si malgré les mesures mises en place, des retours persistent, il faut avoir déterminé en amont ce qu'il faut faire de la marchandise pour éviter qu'un stock de produits défectueux s'accumule. Il peut s'agir, entre autres, d'un retour au fournisseur, d'une revente sur un marché secondaire, d'une remise à neuf, d'un recyclage, d'un envoi en décharge (Croxton et al., 2001).

Dans la même logique que les retours, la logistique inverse correspond au processus d'enlèvement de marchandises du consommateur vers un lieu déterminé au préalable. Ici, l'objectif est de récupérer une partie de la valeur d'un produit et/ou de diminuer son impact environnemental en le recyclant. Dès lors, pour collecter et transporter ces produits de la manière la plus durable et la plus économique, il est possible de regrouper les flux inverses entre eux, de s'appuyer sur les flux aller ou encore d'utiliser des modes de transport massifiés comme le train ou la péniche (Le Moigne, 2017).

1.1.7. Questions transversales

L'approvisionnement, la production, la distribution, le transport, le stockage et les retours décrivent le parcours physique des produits et sont les six principaux processus dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Pour chacun d'entre eux, il convient de répondre à certaines questions transversales (Semal, 2017).

D'abord, nous pouvons nous demander quelles sont les personnes qui doivent être propriétaires et/ou responsables du processus. Une organisation pourrait par exemple choisir de s'occuper uniquement de la distribution et du transport et de travailler avec d'autres organisations pour les autres processus. La question de la localisation constitue la seconde question transversale. D'où faut-il s'approvisionner ? Où faut-il implanter les usines de fabrication et les plateformes logistiques ? Doivent-elles être proches des clients, proches des fournisseurs ? Doivent-elles être situées dans des pays à faible coût de main-d'œuvre (Le Moigne, 2017) ? Ensuite vient la question du *process trigger*, quel est l'élément ou l'évènement qui va enclencher le processus ? Une organisation peut, par exemple, décider de fonctionner sur base de prédictions ou d'attendre la commande du client pour déclencher le processus dont il est question. Finalement, la dernière question à se poser est celle des infrastructures et des technologies mises en place pour mener les opérations. Est-ce qu'il faut être à la pointe et investir dans le logiciel de gestion intégré le plus performant et les versions de robots intelligents les plus récentes ou un excel et une vieille génération de robots sont suffisants (Semal, 2017) ? Il semble évident que les technologies deviennent un élément de plus en plus important dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Ainsi, nous allons essayer de comprendre, au travers des prochaines sections, comment elles ont révolutionné, révolutionnent et révolutionneront nos industries.

1.2. La quatrième révolution industrielle

C'est en 2011 que le concept d'Industrie 4.0 voit le jour lorsqu'un groupe de travail se réunit pour discuter du futur de l'industrie allemande (Hermann, Pentek et Otto, 2016). L'idée est de transformer fondamentalement les processus industriels et d'augmenter leur productivité et leur efficacité en promouvant les décisions décentralisées, la transparence des informations, l'assistance technique des machines aux humains et l'intégration des systèmes (Hermann et al., 2016 ; Frank, Dalenogare, et Ayala, 2019). À cet égard, trois types d'intégration peuvent être combinés.

Le premier type d'intégration est dit vertical et permet la mise sur pieds de l'usine intelligente. Le but est de connecter les différents niveaux hiérarchiques d'une organisation pour créer un système autonome, flexible et reconfigurable, susceptible de répondre de manière plus précise aux besoins de la société (Wang et al., 2016). Pour cela, il est nécessaire que le monde physique et le monde numérique fusionnent afin que l'état réel du système cyber-physique soit connu de tous, y compris de l'ensemble des objets intelligents dans la chaîne de valeur (objets conscients de leur état passé, présent et futur et pouvant prendre une décision sans intervention humaine). Dès lors, grâce à l'internet des objets (IdO), ceux-ci peuvent échanger des informations et interagir afin d'atteindre leurs objectifs communs (Hermann et al., 2016 ; Lasi, Fettke, Kemper, Feld et Hoffmann, 2014). Ensuite, l'intégration horizontale promeut la collaboration et la coopération inter-organisationnelles afin de créer un système efficace où l'information est accessible en temps réel et circule librement. De cette façon, les ressources peuvent être partagées et les rôles bien définis pour que chacun puisse se concentrer sur son domaine d'expertise (Frank et al., 2019). Finalement, l'intégration de l'ingénierie de bout en bout se base sur les deux autres types d'intégration. Il faut que les étapes du cycle de vie d'un produit soient correctement intégrées, de la conception au recyclage en passant par la production, pour pouvoir proposer quelque chose de cohérent au client (Wang et al., 2016).

Pour mieux comprendre les contours de cette Industrie 4.0, il est important d'en connaître les bases. C'est pourquoi les prochaines sections mettent en contexte les trois premières révolutions industrielles qui ont façonné notre société.

1.2.1. Un peu d'histoire

1.2.1.1. Première révolution industrielle

La première révolution industrielle débute au XVIII^e siècle en Grande-Bretagne. À l'époque, la croissance démographique, le développement du rôle de l'État qui protège désormais la liberté d'entreprendre, les droits de propriété et les coûts importants de main-d'œuvre créent un contexte favorable et un besoin aux progrès techniques (Allen, 2009). Diverses inventions dans l'industrie du textile et de la métallurgie marquent la période (la *spinning jenny* de James Hargreaves, la *water frame* de Richard Arkwright, le haut-fourneau à coke de Abraham Darby, etc.), mais c'est bien la découverte de la vapeur comme source d'énergie qui fait basculer la société dans l'ère de la mécanisation. Désormais, l'activité est concentrée dans l'usine, autour de la machine à vapeur (Larousse, s. d.). Des gains de productivité importants sont enregistrés, les marchés connaissent une forte croissance et le secteur du transport rencontre une efficacité jusqu'alors jamais égalée (Agrell, 2020).

1.2.1.2. Deuxième révolution industrielle

Moins d'un siècle après le début de l'industrialisation, la seconde phase commence avec l'utilisation de nouvelles sources d'énergie telles que le gaz et le pétrole et la naissance de l'électricité (Debonneuil et Encaoua, 2014). Les exigences en matière d'aménagement et d'espace, l'efficacité entre hommes et machines et la division du travail ont poussé cette deuxième révolution à voir le jour (Agrell, 2020). Ainsi, de nombreuses industries se développent (sidérurgie, chimie, automobile, aéronautique, etc.) et la vie quotidienne de tout un chacun se transforme complètement (Larousse, s. d.). C'est également à cette époque que le Taylorisme et la production de masse se déploient. La nouvelle façon d'organiser l'espace dans les usines est pensée de sorte à suivre les étapes de fabrication (lignes de production), les produits sont standardisés et la division du travail atteint son apogée. L'objectif est bien entendu de maximiser l'efficacité du travail humain afin de diminuer les coûts de production (Hull, 1996).

1.2.1.3. Troisième révolution industrielle

Ensuite, la troisième révolution industrielle est amorcée dans le dernier tiers du XXe siècle, période où les plannings de production sont de plus en plus complexes, les exigences de rapidité et de qualité de plus en plus élevées et où l'amélioration des conditions de travail devient une priorité (Agrell, 2020). Ordinateurs, robots industriels, technologies de l'information et de la communication et Internet font parties des nombreuses innovations qui caractérisent cette révolution numérique (Debonneuil et Encaoua, 2014). Ces nouvelles technologies permettent d'automatiser l'exécution de certaines tâches effectuées par les employés, ainsi que les gestes répétitifs des ouvriers dans les chaînes de production (Porter et Heppelmann, 2014). Cela mène à une explosion de la productivité et des unités de gestion des stocks (Agrell, 2020), et l'essor d'Internet ouvre la porte à un marché global où il est désormais possible d'intégrer des chaînes d'approvisionnement réparties dans le monde entier et d'atteindre des clients qui étaient jusqu'alors hors de portée (Porter et Heppelmann, 2014).

1.2.2. La quatrième révolution industrielle

C'est sur les fondements de la troisième révolution industrielle que l'Industrie 4.0 et ses différentes technologies trouvent les bases de leur développement. Ainsi, la frontière entre ces deux périodes peut sembler floue et plusieurs personnes influentes considèrent plutôt la période actuelle comme un prolongement de la troisième révolution industrielle (Porter et Heppelmann, 2014). Cependant, selon Schwab (2016, p.11) « Le mot "révolution" désigne un changement brusque et radical. Des révolutions ont eu lieu tout au long de l'histoire lorsque de nouvelles technologies et de nouvelles façons de percevoir le monde déclenchent un changement profond des systèmes économiques et des structures sociales ». Ainsi, comme la majorité de la communauté scientifique le pense et compte tenu des transformations technologiques, organisationnelles et sociétales qu'implique et impliquera l'Industrie 4.0 (Lasi et al., 2014), il est raisonnable de penser que la quatrième révolution est bel et bien en marche.

Les sections suivantes permettent de mieux comprendre les principales technologies qui caractérisent cette nouvelle ère industrielle et qui entraînent une nouvelle évolution de la structure linéaire traditionnelle de la chaîne d'approvisionnement. En outre, une section est

également consacrée au développement de l'Industrie 4.0 dans les différentes régions du monde.

1.2.2.1. **Big data et méthodes analytiques**

Aujourd'hui, les données sont vues comme la matière première de cette nouvelle révolution. Frank, Roehrig et Pring (2017) les comparent au pétrole puisque celles-ci doivent être extraites, raffinées et distribuées. Cependant, contrairement à l'or noir, les données semblent infinies et proviennent d'une multitude de canaux : capteurs, satellites, médias sociaux, photos, vidéos, téléphones portables, signaux GPS... Elles sont considérées comme *big data* si des méthodes analytiques particulières sont utilisées pour les traiter ; cela se produit lorsque leur volume, leur vitesse ou leur variété est trop important (Wamba, Akter, Edwards, Chopin et Gnanzou, 2015).

En outre, grâce à l'utilisation de diverses techniques statistiques, mathématiques et autres, les données récoltées peuvent être facilement utilisées et comprises (LaValle, Lesser, Shockley, Hopkins et Kruschwitz, 2011). Ainsi, il est de plus en plus courant de recourir à ces techniques d'analyse lors des prises de décisions au sein des organisations, notamment les décisions qui touchent à l'approvisionnement, à la conception du réseau de la chaîne d'approvisionnement, à la conception et au développement des produits (Wang, Gunasekaran, Ngai et Papadopoulos, 2016).

1.2.2.2. **Cloud**

Pour pouvoir stocker et traiter toutes ces données, il est important qu'un système robuste et fiable existe. Ce système, c'est le *cloud* que Mell et Grance (2011) définissent comme un « modèle permettant un accès omniprésent, pratique et sur demande à un réseau composé d'un ensemble partagé de ressources informatiques configurables (par exemples, des réseaux, des serveurs, du stockage, des applications et des services) qui peuvent être rapidement approvisionnées et libérées avec un minimum d'efforts de gestion ou d'interaction avec le fournisseur de services. ». En d'autres mots, le *cloud* se caractérise par un service à la demande, une large accessibilité (téléphones, tablettes, ordinateurs, etc.), une mise à disposition des ressources informatiques du fournisseur pour les consommateurs, une capacité rapidement modulable en fonction du besoin et un service mesuré et optimisé. Cette technologie implique

la transformation des ressources et permet ensuite leur contrôle afin de gérer une organisation depuis l'Internet (He et Xu, 2015).

1.2.2.3. Simulation

De surcroît, l'utilisation du *cloud* donne, entre autres, la possibilité à des logiciels de simulation de fonctionner. Selon le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, la simulation se définit comme la « reproduction artificielle du fonctionnement d'un appareil, d'une machine, d'un système, d'un phénomène, à l'aide d'une maquette ou d'un programme informatique, à des fins d'étude, de démonstration ou d'explication ». Ainsi, lorsqu'un programme informatique est utilisé, c'est par le biais d'un modèle mathématique composé d'équations décrivant les relations au sein du système réel que la simulation va générer les résultats (Britannica, 2021).

Dans l'industrie, cette technologie est utilisée dans le but de produire le plus de scénarios possibles liés à la conception, au développement, à la production et à la chaîne d'approvisionnement d'un produit. Les résultats des simulations vont permettre à une organisation de prendre une décision avant même la mise en œuvre des changements dans le monde physique réel (Ghadge et al., 2020). En outre, cela permet également de tester rapidement une idée, d'augmenter la confiance et la robustesse d'une solution ou encore de réduire le risque de commettre des erreurs coûteuses qui pourraient entraîner la dégradation de l'image ou de la relation qu'une organisation a avec ses clients et ses fournisseurs (Lidberg et al., 2020 ; Reeves, Salha et Bokkerink, 2010).

1.2.2.4. Internet des objets

Si les données peuvent être stockées et analysées, c'est parce que ces dernières sont d'abord récoltées. L'IdO est une « technologie intuitive, robuste et évolutive qui permet la transformation numérique du monde connecté par l'internet et communique toutes les informations pertinentes en temps réel tout au long de la chaîne de valeur » (Manavalan et Jayakrishna, 2018). En d'autres mots, l'IdO permet la récolte des données et la connexion des nœuds d'un réseau, afin que ceux-ci, conscients de leur environnement, se transmettent les informations importantes. Pour que cela soit possible, il faut qu'un environnement physique,

composé d'humains et/ou d'objets non humains, existe. Mais également qu'un environnement technologique comprenant divers dispositifs sans fil, des applications de mise en réseau, une plateforme intégrée basée sur le *cloud*, un volume massif de données, etc. permette à ces objets de communiquer (Krotov, 2017).

Pour ce qui est de l'Industrie 4.0, nous parlons plutôt d'Internet Industriel des Objets (IIoO), qui est une sous-catégorie de l'IdO. Dans ce cas, l'idée s'appuie sur le fait que les machines intelligentes capturent, communiquent et stockent les informations avec plus de précision et de cohérence qu'un humain. Dès lors, les principaux objets physiques du réseau sont les produits, les infrastructures et les machines. Cette technologie donne, entre autres, un meilleur aperçu des opérations et de la qualité des produits, favorise les initiatives de fabrication écologique, permet d'optimiser les consommations énergétiques, de prédire plus facilement les services de maintenance...(Ghobakhloo, 2018). Pour Kiel, Arnold et Voigt (2017) et pour bien d'autres membres de la communauté scientifique, il s'agit d'un outil essentiel à la mise en place de l'usine intelligente.

1.2.2.5. Cybersécurité

En outre, dans ce contexte de quatrième révolution industrielle où de plus en plus d'informations sur les parties prenantes, les stratégies, les savoir-faire, etc. sont accessibles sur les réseaux et où humains, machines, et autres objets physiques sont connectés, la cybersécurité devient également une priorité absolue (Wang et al., 2016). En effet, selon Riel, Kreiner, Macher et Messnarz (2017), la cybersécurité permet la protection des réseaux informatiques contre les intrusions malveillantes. De surcroît, au-delà de cette protection, elle permet également d'assurer la sécurité des employés et de leur environnement, de maintenir la production au niveau souhaité, de protéger la marque et l'image de l'organisation, de minimiser les effets d'un accident éventuel en remettant rapidement sur pieds les opérations et la sécurité.

Par ailleurs, les cyberattaques peuvent être bien plus importantes qu'auparavant en termes d'intensité et de fréquence. C'est pourquoi adopter une approche sûre, vigilante et résiliente est nécessaire dans la stratégie de cybersécurité (Waslo, Lewis, Hajj et Carton, 2017). Enfin, il est évident que chaque organisation doit pouvoir déterminer ce qui lui convient en prenant en compte son écosystème industriel ainsi que ses besoins.

1.2.2.6. Robotique autonome

En ce qui concerne la robotique autonome, elle est caractérisée par l'intelligence décentralisée et l'intelligence artificielle qui permettent de prendre des décisions et d'agir sans intervention humaine. Par rapport à la robotique classique, les améliorations principales concernent la perception, l'intégrabilité, l'adaptabilité et la mobilité (Küpper et al., 2019).

L'utilisation de ces nouveaux robots permet aux travailleurs de réduire le nombre de tâches à faible valeur ajoutée qu'ils doivent réaliser (Frank et al., 2019). Par exemple, ils ne devront plus transporter les objets dans l'usine, ni préparer les commandes, ni charger et décharger les machines, ni inspecter la qualité des produits, etc. (Küpper et al., 2019). Toutefois, pour que cette collaboration homme-machine soit efficace, les robots doivent pouvoir interagir de manière fluide et intuitive avec leurs collègues humains (Hermann et al., 2016). Pour répondre à ce besoin, les dernières générations sont dotées de nombreux capteurs leur permettant d'identifier les risques de collision et d'adapter automatiquement leur trajectoire ou ralentir leur mouvement en cas de besoin. En outre, ils peuvent également réaliser des tâches de plus en plus différentes et se coordonnent de mieux en mieux entre eux (Tilley, 2017).

1.2.2.7. Fabrication additive

Une autre technologie qui caractérise cette révolution industrielle est la fabrication additive. Fondée en 1984 par Charles Hull, elle permet d'imprimer des objets tridimensionnels. La première étape de ce procédé de fabrication est la réalisation d'un dessin numérique à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (Grynol, s. d.). Ensuite, les données créées sont envoyées à une imprimante 3D qui peut imprimer en couches séquentielles l'objet souhaité sans avoir besoin d'outils ou de moules (Weller, Kleer et Piller, 2015). Cette technologie permet donc d'éviter de mouler chaque pièce séparément avant de les assembler pour obtenir le produit fini (D'Aveni, 2015).

Après avoir principalement servi à la production de prototypes, la fabrication additive se développe de plus en plus dans de nombreuses industries. Le nombre de matériaux imprimables ne cesse d'augmenter puisque tout matériau pouvant être liquéfié, fondu et resolidifié est susceptible d'être utilisé (D'Aveni, 2015 ; Weller et al., 2015). Dans certains cas, les propriétés matérielles du produit fini correspondent ou dépassent même leurs équivalents de fabrication

conventionnelle (Baumers, Dickens, Tuck et Hague, 2016 ; Bromberger, Ilg et Miranda, 2022). Finalement, les systèmes sont de plus en plus rapides et se combinent facilement à la conception générative qui utilise l'intelligence artificielle pour optimiser la géométrie des pièces (Bromberger et al., 2022).

1.2.2.8. Technologies immersives

Finalement, les dernières technologies discutées dans cette section sont les technologies immersives, dont la réalité augmentée (RA), la réalité virtuelle (RV) et la réalité mixte (RM) font partie. Ces dernières permettent de simuler la réalité en offrant un niveau d'immersion et d'expérience jamais vu auparavant (Hall et Takahashi, 2017). Alors que la RA enrichit le monde réel de superpositions virtuelles, la RV immerge l'utilisateur dans un environnement artificiel (Gorecky, 2015). Tout comme la RA, la RM combine le monde virtuel au monde réel mais permet aux objets physiques et numériques d'interagir entre eux (Moses, Garia et Devan, s. d.).

De plus en plus de possibilités pour ces technologies voient le jour tels que dans les secteurs de la logistique, de la fabrication, ou encore de la vente au détail (PwC, 2017). Il est désormais possible pour un concepteur de produits d'interférer directement avec son prototype sans même l'avoir physiquement entre les mains (Hall et Takahashi, 2017). Il est également possible de s'aider de ces technologies pour juger de la nécessité d'entretien d'une machine ou encore pour former de nouveaux employés à des tâches particulières (Elia, Gnoni et Lanzilotto, 2016).

1.2.3. Développement par région

Toutes ces technologies et la quatrième révolution industrielle intéressent évidemment le monde entier depuis maintenant plusieurs années. « Industrie 4.0 » (Allemagne), « Made in China 2025 » (Chine), « Advanced Manufacturing Partnership » (États-Unis) et « La Nouvelle France Industrielle » (France) font partie des rapports publiés par les gouvernements qui ont pour but d'explicitier les contours de cette révolution et les démarches prises pour en tirer profit. Liao, Loures, Deschamps, Brezinski et Venâncio (2017) les ont analysés et comparés et ont trouvé certaines similitudes qu'il est intéressant de mettre en avant. Tout d'abord, il n'est pas surprenant de découvrir que chaque gouvernement imagine s'appuyer sur l'innovation et la

technologie pour faire face à cette révolution. En ce sens, les avancées dans ces domaines sont une condition nécessaire pour qu'un pays puisse être à l'avant-garde. La deuxième similitude observée est la volonté d'améliorer la productivité des travailleurs. Pour y parvenir, il faut trouver un équilibre entre maintien du taux d'emploi et automatisation de la production par l'adoption de nouvelles technologies. Enfin, de façon plus étonnante, les gouvernements pensent investir au maximum 0,05% de leur PIB respectif dans le développement de cette nouvelle ère industrielle.

Cependant, malgré des similitudes théoriques entre ces rapports, certains pays ont mieux réussi que d'autres à se préparer au changement. En 2018, le World Economic Forum a tenté d'établir un classement des pays menant la course à la quatrième révolution industrielle. L'étude se base sur les technologies, l'innovation, le capital humain, le commerce, les investissements, le cadre institutionnel, la production durable et la demande de chacun des 100 pays représentant plus de 96% de la valeur ajoutée manufacturière mondiale et plus de 96% du PIB mondial. D'après les analyses, la première place serait occupée par le Japon. Cela s'explique, entre autres, par l'importance de son industrie, la forte activité de ses entreprises, la grande taille de son marché, son plan « Society 5.0 » qui vise à utiliser les nouvelles technologies pour entièrement transformer la société. La Corée du Sud, l'Allemagne, la Suisse et la Chine complètent le top 5 de ce classement.

Il est étonnant de noter que les États-Unis ne font pas partie de la tête de course. En effet, il ne fait aucun doute que le pays est l'une des plus grandes puissances mondiales, c'est également un des pays qui publie le plus sur la quatrième révolution industrielle et qui possède le plus grand nombre de brevets (Sirimanne, 2022). Cependant, son attractivité et la compétitivité de ses produits fabriqués localement ont été remises en question au cours des dernières décennies. Pour tenter de sortir de cette situation, les États-Unis font appel à leur capacité à innover, adoptent massivement les technologies émergentes et revoient leur système fiscal pour pousser les entreprises à transférer leur production sur leur territoire (World Economic Forum, 2018). Globalement, le pays n'est pas mal positionné pour l'avenir mais aimerait retrouver ses gloires d'antan. Pour cela, il devrait peut-être prendre exemple sur les pays asiatiques qui occupent trois des cinq premières places de ce classement.

Effectivement, les États membres de l'Association des Nations d'Asie du Sud-Est encouragent grandement l'implémentation des technologies qui caractérisent l'Industrie 4.0. Ils sont

convaincus que c'est le moyen de maximiser leur potentiel industriel, d'améliorer l'attractivité de leur région et d'attirer les investisseurs étrangers. Pour cela, ils ont établi une série de mesures visant à encourager les entreprises à innover et à utiliser ces nouvelles technologies. Ils ont également mis sur pieds de nombreuses installations industrielles dédiées au développement de l'Industrie 4.0 et ont établi des liens étroits entre les universités, les centres publics et les pôles d'innovation (UNCTAD, 2021). Si nous prenons le cas de la Chine, le pays voit ici l'occasion de devenir le premier État du monde et compte bien saisir cette opportunité. À cet égard, le gouvernement chinois investit massivement en recherche et développement, met en place des institutions et des politiques industrielles visant à soutenir la grandeur de leurs ambitions et la position centrale qu'ils occupent dans les chaînes d'approvisionnement mondiales pourrait bien les aider à atteindre leurs objectifs (Doshi, 2020).

À l'instar de leurs voisins asiatiques, certains pays du vieux continent, comme l'Allemagne, la Suède et l'Autriche, ont compris que l'avenir de l'industrie réside dans l'Industrie 4.0. Ces pays peuvent s'appuyer sur une base industrielle solide et sur des conditions commerciales et des technologies modernes. Cependant, il existe une grande disparité au sein des États membres sur les moyens mis en place pour faire rentrer l'industrie dans une nouvelle ère. Ainsi, alors que certains pays, comme la Hongrie et la Slovaquie, se reposent sur leurs importantes industries sans envisager de changer leurs méthodes de production traditionnelles, d'autres, comme l'Italie et l'Espagne, souffrent de problèmes financiers qui les empêchent d'investir dans le développement de ces nouvelles technologies. Finalement, des pays comme la Belgique et la France, dont les industries se sont affaiblies au cours des dernières années, ont un regard tourné vers l'avenir et un état d'esprit moderne et innovant. Ils doivent maintenant trouver le bon moyen d'exploiter leur potentiel (Berger, 2014).

1.3. Les effets de la quatrième révolution industrielle

Les raisons qui poussent les pays du monde entier à s'intéresser à la quatrième révolution industrielle et à ses différentes technologies sont nombreuses. En effet, sous l'impulsion de la croissance démographique, de l'omniprésence d'Internet, des exigences de plus en plus élevées des consommateurs et de l'organisation actuelle des industries, l'entrée dans une nouvelle ère industrielle semble inévitable (Agrell, 2020). De fait, nos systèmes de production, qui ont été imaginés afin de maximiser le profit et de minimiser les coûts, ne sont plus en mesure d'anticiper et de s'adapter à la demande. L'incertitude grandissante, la concurrence internationale, le manque de flexibilité et l'entrée tardive des produits sur les marchés font partie des facteurs qui les en empêchent (Manavalan et Jayakrishna, 2018). De surcroît, comme énoncé précédemment, des événements tels que le Brexit, le COVID-19 et la guerre en Ukraine n'ont fait qu'aggraver une situation déjà alarmante.

Ainsi, bien que la viabilité économique, qui passe par la minimisation des coûts, reste un attribut qu'il est primordial de considérer, une organisation se doit de tenir compte de toutes les exigences de ses clients pour rester compétitive, puisqu'en effet, c'est son niveau de compétitivité qui détermine son succès (Lidberg et al., 2020 ; Porter, 1985). Dès lors, pour réussir, une organisation est tenue de trouver une position, au sein de son industrie, qui lui permette d'établir une stratégie concurrentielle rentable et durable, c'est-à-dire, une stratégie qui lui permette de développer et de maintenir un avantage concurrentiel. Il existe deux types d'avantage concurrentiel : la domination par les coûts et la différenciation. Dans les deux cas, la valeur perçue qu'une organisation offre à ses clients est supérieure au coût de création de cette valeur (Porter, 1985). Bien évidemment, la compétition ne se limite pas aux organisations, elle peut exister entre des nations. Ainsi, la compétitivité d'un pays dépend de sa capacité « à fournir un environnement propice à la prospérité de ses entreprises » (Bhawsar et Chattopadhyay, 2015). De cette manière, de la valeur est créée sur le territoire, des bénéfices sont générés et la prospérité nationale est renforcée. Nous nous rendons compte que ces deux niveaux de compétitivité sont liés l'un à l'autre. En effet, la valeur créée l'est par des organisations qui, par conséquent, contribuent à la compétitivité nationale (Bhawsar et Chattopadhyay, 2015). Dès lors, pour qu'un pays soit compétitif, il faut que ses entreprises le soient aussi et pour cela, elles doivent être en mesure de répondre aux besoins de leurs clients tout en réalisant des bénéfices (Chikan, 2008). Nous le disions, ces besoins ont évolué, et au-

delà du prix, les délais de livraison, la disponibilité et la qualité des produits, la gamme des produits et la possibilité de customisation sont des attributs qu'il est désormais primordial de prendre en considération (Semal, 2017).

Pour relever ce défi, il est nécessaire de mettre en place de nouveaux systèmes dont l'Industrie 4.0 fait partie. Dès lors, au travers des prochaines sections, nous allons tenter de comprendre comment et pourquoi les technologies qui caractérisent la quatrième révolution industrielle permettent la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement pouvant répondre à ces nouveaux besoins.

1.3.1. Coût

Dans un premier temps, il est intéressant d'interroger la manière dont ces technologies permettent à une organisation de réduire ses coûts. Ainsi, selon une étude réalisée par Frank et al. en 2017, une organisation qui utilise et analyse les big data qu'elle collecte plus efficacement que ses concurrents profite en moyenne d'une réduction des coûts d'environ 8%. Effectivement, en analysant correctement les données, il est possible de déterminer avec précision les besoins des consommateurs et d'adapter et d'optimiser l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement en fonction de leurs attentes (Wamba et al., 2017). Si nous nous penchons sur le processus d'approvisionnement, l'analyse des big data permet d'élaborer une stratégie de minimisation des coûts et des risques en évaluant les différents fournisseurs et les différents marchés. Couplé à des logiciels de simulation puissants, cela permet également la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement optimale qui prend en considération la demande, les capacités des usines, les coûts d'expédition par unité, les coûts fixes des emplacements potentiels, le routage, etc. En outre, l'analyse des données peut indiquer des améliorations nécessaires sur les machines, aider à la bonne allocation des ressources, planifier la production, et tout cela dans un but de maximisation de la productivité (Wang et al., 2016 ; Lidberg et al., 2020).

En ce qui concerne la gestion des stocks, l'analyse des big data, l'IIdO et le *cloud* permettent à une organisation d'améliorer considérablement ses niveaux de stocks et de réduire les coûts qui y sont liés grâce au partage constant d'informations sur l'ensemble de la chaîne de valeur. En effet, la transparence du système annule l'effet coup de fouet (*bullwhip effect*) et ses différentes conséquences. Au niveau de l'approvisionnement, la facilité d'accès aux informations pousse

les fournisseurs à baisser leur prix. En outre, l'entreposage et la manutention des produits est d'autant plus efficace puisqu'un suivi précis, rapide, sûr et prévoyant est désormais possible (Willems, 2018). Le transport est également impacté. Effectivement, la flotte étant localisable en continu, les trajets peuvent être établis en temps réel de façon à choisir l'itinéraire le moins coûteux (Barreto, Amaral et Pereira, 2017). En plus de cela, l'IIdO présente un grand potentiel d'optimisation énergétique et d'optimisation de la conception où l'utilisation des ressources temporelles (minimisation des temps d'arrêts), matérielles (minimisation des erreurs de production) et humaines est minimisée (Ghobakhloo, 2018 ; Kiel et al., 2017). Ce dernier point sera d'autant plus pris en compte au vu de la disponibilité des données sur la pollution et sur les déchets produits (Beier, Niehoff et Xue, 2018). Cependant, Kiel et al. (2017) mettent également en garde contre la constante évolution des investissements liés aux infrastructures informatiques qui doivent être réalisés pour poursuivre le mouvement de l'IIdO.

Ensuite, les nouvelles générations de robots autonomes permettent de produire de faibles volumes et une grande variété de produits de manière efficace et rentable. Effectivement, étant donné leur flexibilité mais surtout leur rapidité et leur facilité de programmation et de reconfiguration, il n'est plus nécessaire de répéter une tâche donnée une multitude de fois pour justifier le coût de sa mise en service. De plus, le fait de pouvoir faire travailler humains et robots ensemble et en toute sécurité augmente la productivité puisqu'il est désormais plus simple d'adapter les lignes de productions aux fluctuations de la demande, ce qui entraîne une baisse des coûts de production (Tilley, 2017). Selon Küpper et al. (2019), vu l'investissement nécessaire pour se procurer des robots avancés, ceux-ci doivent certes pouvoir assister les humains mais également prendre en charge une grande partie des tâches auparavant manuelles pour être économiquement viables. C'est cette automatisation des tâches manuelles telles que le transport et le chargement, les opérations de prélèvement et d'emballage, le tri, la manutention des palettes, etc. qui entraîne une augmentation de la productivité et de l'efficacité (Ghadge et al., 2020).

Tout comme les nouvelles générations de robots, la fabrication additive permet également de réduire les coûts de production. Effectivement, les pièces qui étaient auparavant moulées séparément puis assemblées peuvent être produites en une seule fois. D'Aveni (2015) donne l'exemple de GE Aviation pour illustrer ce dernier point. L'entreprise a décidé d'imprimer les buses de carburant de certains moteurs qui étaient composées de 20 pièces différentes, ce qui a permis de réduire le coût de fabrication de 75%. Cette technologie permet également de

produire à la demande n'importe quelle pièce sans pénalité de fabrication. Ainsi, le besoin de stocks de pièces détachées diminue, tout comme les coûts qui y sont liés (Bromberger et al., 2022). En outre, la limitation du travail manuel a pour conséquence de réduire les lots défectueux qui représentent, eux aussi, un coût pour les organisations (Weller et al., 2015). Cependant, Baumers et al. (2016) mettent en avant la lenteur du processus qui implique une impossibilité de produire de grandes quantités et les économies d'échelle deviennent donc illusoires (Grynol, s. d.). De plus, les imprimantes actuelles ne garantissent souvent pas la même qualité que les procédés conventionnels, les exigences en matière de contrôle post-traitement sont donc plus importantes et plus coûteuses (Baumers et al., 2016). En ce qui concerne les matières premières, elles sont généralement plus chères lorsqu'elles sont fournies sous une forme adaptée au traitement d'impression 3D (Bromberger et al., 2022).

Enfin, les technologies immersives peuvent également participer à la réduction des coûts de production d'un produit de différentes manières. Effectivement, celles-ci s'avèrent être très efficaces dans le processus d'assemblage. D'abord en aidant les opérateurs à se former, et une fois au travail, en leur donnant des instructions et des informations de manière continue afin de réduire au maximum les erreurs humaines, les lots défectueux et donc les coûts de production (Elia et al., 2016). Une autre application de ces technologies réside dans le processus de conception. D'après Hall et Takahashi (2017), « les technologies immersives promettent une plus grande précision dans la conception et, par conséquent, un produit final de meilleure qualité à un coût potentiellement inférieur à celui des technologies de prototypage traditionnelles ». Finalement, une étude de PWC (2017) met en avant la possibilité d'utiliser la réalité augmentée dans l'ensemble du processus de gestion des entrepôts afin d'en améliorer son efficacité. DHL a opté pour cette solution en fournissant à ses employés des lunettes intelligentes dotées de la réalité augmentée et a pu améliorer l'efficacité de leur entrepôt de 25%.

1.3.2. Disponibilité

Dans un second temps, il est intéressant de se pencher sur le concept de disponibilité. Ainsi, étant donné que les big data et les différentes méthodes d'analyse et de simulation vont aider les décideurs à répondre de manière plus précise à la demande et faire face à ses variations, les ruptures de stocks vont naturellement diminuer (Ghobakhloo, 2018). Mais pour cela, il est

primordial de traduire les prévisions en capacités et de planifier correctement l'ensemble des opérations de la chaîne (Chen et Blue, 2010). Au niveau de l'approvisionnement, les données sur la disponibilité des matériaux sont désormais facilement accessibles, ce qui permet de choisir les fournisseurs les plus fiables et les plus rapides. De plus, les différentes techniques de prévision statistique et de simulation peuvent déterminer les besoins en stocks nécessaires pour répondre aux demandes changeantes des clients. La bonne utilisation des big data peut également améliorer la planification logistique, qui concerne la distribution depuis les points d'approvisionnement jusqu'aux points de demande. En effet, couplée à des méthodes de simulation, elle permet d'optimiser le routage en prenant en compte les distances entre chaque nœud, le trafic attendu, les créneaux de livraison, etc. (Li, Tian et Leung, 2010 ; Lidberg et al., 2020).

En outre, le fait que toutes ces données soient accessibles sans interruption sur le *cloud* permet de répondre dans l'urgence à une demande imprévue. De fait, le *cloud* offre un accès direct à des informations précises qui se mettent à jour en temps réel et fournit aux décideurs une meilleure visibilité - primordiale pour la prise de décision (Wamba et al., 2015). Selon une étude réalisée par Ghadge et al. (2020), le *cloud* et l'IIdO améliorent grandement l'efficacité d'une chaîne d'approvisionnement mais également son adaptabilité, son agilité et sa flexibilité. De plus, les innombrables possibilités qu'offre l'IIdO telles que la surveillance à distance et en temps réel des véhicules, de l'état des produits périssables via des capteurs de température, de l'état et des performances des machines, etc., favorise la collaboration entre les parties prenantes et permet d'automatiser et d'intégrer entièrement les chaînes de valeur, améliorant ainsi la capacité des organisations à répondre aux besoins de leurs clients. Kiel et al. (2017) mettent également en avant le fait que l'IIdO permet une plus grande fiabilité de la chaîne et une minimisation des problèmes d'approvisionnement. En effet, le système cyber-physique peut anticiper et garantir en permanence la disponibilité des produits car il connaît le moment et la quantité de marchandises à commander, à produire, à transporter et à livrer.

Enfin, l'utilisation des systèmes d'impression 3D donne la possibilité de répondre aux demandes des marchés de niche en fabriquant des produits uniques qu'il était auparavant impossible de produire avec les méthodes traditionnelles (Grynol, s. d.). Toutefois, il serait aujourd'hui compliqué d'imaginer une production à plus grande échelle soutenue uniquement par cette technologie. Effectivement, la faible vitesse du processus et le fait que ces systèmes soient souvent difficiles à intégrer dans les flux de production ne permettraient pas à une

organisation de tenir le rythme des commandes et la disponibilité des produits se verrait donc limitée (Baumers et al., 2016).

1.3.3. Délai de livraison

Dans un troisième temps, penchons-nous sur les délais de livraison. La collecte de données qui représente la base de la méthode proposée par Goldratt et Cox (2014, p. 301) rend possible l'acheminement des marchandises aux clients en un temps réduit. La première étape de ce modèle est la collecte de données qui sert à identifier les *bottlenecks* du système. Ensuite, un plan d'actions doit être mis en place pour que ces *bottlenecks* soient toujours en état de marche et que le reste soit subordonné au rythme qu'ils imposent. Enfin, il faut trouver des solutions pour améliorer les *bottlenecks* du système et la méthode peut alors se répéter. Wang et al. (2016) donnent l'exemple de la planification logistique pour illustrer comment les données générées permettent d'optimiser l'acheminement des marchandises. Dans un premier temps, des informations sur l'emplacement et la vitesse du véhicule, le trafic, etc. sont collectées afin de trouver, dans un deuxième temps, le chemin qui minimisera le temps passé sur les routes (Wang et al., 2016). Ceci est réalisé en temps réel à l'aide d'outils qui simulent et calculent tous les chemins possibles et identifient celui qui offre le meilleur résultat. Au-delà de cet exemple, les modèles de simulation et d'optimisation virtuelles sont largement utilisés dans l'ensemble des processus de la chaîne d'approvisionnement. Le fait de pouvoir tester un grand nombre de scénarios avant la mise en œuvre effective donne aux décideurs la possibilité de choisir l'option qui minimise les délais de livraison (Ghadge et al., 2020 ; Lidberg et al., 2020).

De surcroît, la visibilité et la transparence des informations, qu'offrent l'IldO et le *cloud*, poussent les acteurs de la chaîne à s'aligner et à coopérer. De cette façon, le niveau de confiance entre l'acheteur et le vendeur peut grandir (Hoejmoose, Brammer et Millington, 2013) et la vitesse de réaction à la commande d'un client devient un réel avantage concurrentiel (Kiel et al., 2017). En outre, les produits sont conscients de leur état et peuvent d'eux-mêmes décider les étapes du système par lesquelles ils doivent passer avant d'être livrés aux clients. Ainsi, étant donné que la majorité d'entre eux ne doivent pas passer par l'ensemble des étapes, un raccourcissement des temps de production est attendu (Barreto et al., 2017). En ce qui concerne le stockage et la manutention des produits, les nouvelles méthodes de gestion des stocks avec les rayonnages et les palettes intelligentes rendent ce processus d'autant plus efficace et

permettent de gagner beaucoup de temps. Par exemple, l'espace de stockage peut être libéré automatiquement en fonction des spécificités de la livraison et les bons types d'équipement pour la manutention peuvent également être préparés sans intervention humaine (Barreto et al., 2017). Comme expliqué ci-dessus, la modularité offerte par l'IIoD permet des gains de temps importants de bien des manières. Ainsi, les organisations sont encouragées à se rapprocher de leurs clients puisqu'il serait insensé de perdre tout ce qui a été gagné dans l'acheminement de marchandises jusqu'aux clients (Willems, 2018).

Ensuite, si nous nous intéressons aux comportements des robots avancés, comme expliqué précédemment, leur perception, leur intégrabilité, leur adaptabilité et leur mobilité sont supérieures aux robots conventionnels. Dès lors, ils sont installés, mis en service et reconfigurés plus rapidement. En outre, ils prennent désormais en charge des tâches auparavant manuelles, telles que l'assemblage de pièces flexibles. En effet, les nouvelles générations sont capables de s'adapter de manière autonome à l'évolution des paramètres du processus, éliminant ainsi les micro-arrêts. Enfin, l'intelligence artificielle dont ils sont dotés les aide à apprendre et à effectuer de nouvelles tâches de plus en plus vite, ce qui est utile lorsque des ajustements fréquents - dus à des changements de produits ou à des demandes de personnalisation - sont nécessaires. Grâce à eux, le temps de production est réduit et les clients peuvent être livrés plus rapidement (Küpper et al., 2019). Une étude réalisée au Japon a montré que les robots réduisent de 40% le temps de récolte des fraises en utilisant un système d'imagerie qui leur permet d'identifier l'emplacement du fruit et son degré de maturité (Tilley, 2017).

En ce qui concerne les méthodes de fabrication additive, bien que leur débit de production soit relativement faible comparativement aux processus plus traditionnels, le temps total de traitement des commandes serait dans bien des cas réduit selon Weller et al. (2015). De fait, le temps gagné en assemblage compenserait amplement le temps perdu en production. Si nous prenons l'exemple de la fusée Ariane 6, nous nous rendons bien compte de cette amélioration. Alors qu'une tête d'injecteur de carburant était jusqu'alors composé de 248 pièces usinées individuellement et soudées les unes aux autres, il est maintenant possible de fabriquer cette même tête en une seule pièce (Bromberger et al., 2022).

Enfin, les technologies immersives sont de plus en plus répandues dans les industries. Toujours dans un but d'optimiser la gestion de la chaîne d'approvisionnement et de minimiser les délais de livraison, il est possible de les utiliser à différents niveaux au sein d'une organisation (Elia

et al., 2016). Par exemple, elles permettent d'améliorer les séquences d'assemblage en générant des instructions. Boeing a mené une expérience dans laquelle une réalité augmentée aidait les ouvriers dans l'assemblage de l'aile d'avion. Les résultats ont montré une réduction de 30% du temps nécessaire (PwC, 2017). Dans le domaine de la conception de produits, les technologies immersives sont également utilisées pour rendre le processus plus rapide et plus efficace. En effet, elles permettent de réduire le nombre de prototypes nécessaires et donc de diminuer significativement le délai entre le design, la production et la commercialisation d'un produit (Hall et Takahashi, 2017).

1.3.4. Qualité

Avant de terminer cette section avec l'étude de la customisation et des gammes de produits, il nous faut explorer les effets qu'ont ces technologies sur la qualité. Ainsi, grâce à l'IIdO, une organisation peut désormais collecter des informations sur la qualité de leurs produits tout au long de leur durée de vie. De l'approvisionnement chez le fournisseur à la consommation chez le client, les données sont collectées et analysées afin d'améliorer les différents processus de la chaîne (Ghobakhloo, 2018). Il est désormais possible de vérifier la qualité des matières premières avant même que celles-ci ne soient livrées (Wang et al., 2016), de surveiller en temps réel les conditions de transport et de stockage des produits finis et de contrôler, par exemple, l'état de conservation des denrées alimentaires (Manavalan et Jayakrishna, 2018), ou encore d'anticiper une panne éventuelle chez le client et de leur proposer un service de maintenance préventif (Ghobakhloo, 2018). En outre, toutes ces données stockées sur le *cloud* alimentent des modèles de simulation qui analysent les différents scénarios possibles et aident à améliorer les processus tel que le contrôle de qualité (Ghadge et al., 2020).

De surcroît, l'utilisation de nouvelles générations de robots autonomes augmente également la qualité des produits finis. En effet, des robots de plus en plus performants surpassent les humains dans l'exécution de certaines tâches (Küpper et al., 2019). L'absence de fatigue de nos homologues leur permet d'offrir une fiabilité et une précision constantes, minimisant ainsi le nombre d'erreurs. Ils peuvent désormais adapter leur force en fonction des pièces qu'ils manipulent, assembler des pièces de différentes tailles pour obtenir les dimensions attendues, analyser et résoudre les éventuelles erreurs de production et effectuer des tâches complexes qui

nécessitent une grande précision puisque certains robots peuvent contrôler leurs mouvements jusqu'à 0,02 mm (Tilley, 2017).

Concernant les imprimantes 3D, D'aveni (2015) pointe leur capacité à concevoir des architectures complexes, des géométries auparavant trop fines pour être usinées et de nombreux détails intérieurs. Au contraire, Baumann et al. (2016) et Bromberger et al. (2022) soulignent les limites de cette technologie en matière de qualité. En effet, les imprimantes 3D connaîtraient un retard sur les procédés conventionnels à plusieurs niveaux. Premièrement, en ce qui concerne la précision dimensionnelle, l'état des surfaces et les problèmes de prévisibilité et de répétabilité des processus (Baumann et al., 2016). Deuxièmement, ces équipements reposent souvent sur des processus de contrôle particuliers qui limitent leur intégration dans la chaîne de production et pour lesquels un savoir-faire spécifique est nécessaire pour obtenir une qualité constante (Bromberger et al., 2022).

Finalement, les différentes technologies immersives visent aussi à améliorer la qualité et la précision des processus pour obtenir un produit final de meilleure qualité (Hall et Takahashi, 2017). Ainsi, si nous prenons l'exemple des applications de ces technologies dans le processus d'assemblage, ces dernières vont aider à concevoir et planifier l'assemblage du produit mais également l'aménagement du lieu de travail. Les résultats montrent que l'utilisation de ces technologies permettent d'augmenter la fiabilité du processus. Le fait d'avoir « manipulé » des prototypes virtuels dans un lieu de travail réel va aider à minimiser les erreurs futures et ainsi, améliorer la qualité du produit fini (Elia et al., 2016). Si nous reprenons l'exemple de Boeing repris précédemment, le fait d'avoir utilisé une réalité augmentée dans l'assemblage de l'aile d'un avion a permis une diminution du nombre d'erreurs de 90% (PwC, 2017).

1.3.5. Customisation et gamme de produits

Cette dernière partie traite de l'influence des technologies sur la possibilité de customisation et sur la gamme de produits. Pour commencer et comme expliqué précédemment, l'analyse et l'exploitation des big data ont une grande influence sur la prédiction de la demande. Ainsi, cela permet de segmenter plus précisément la population et de proposer des produits et services adaptés aux besoins du segment ciblé (Wamba et al., 2015). Divers exemples montrent comment l'utilisation des big data peut aider une organisation à personnaliser ses actions en

fonction de ses clients, comme notamment Amazon qui utilise les données pour générer des recommandations d'achat individualisées (représentant 35 % des ventes de l'entreprise) ou Target Corporation qui exploite les données récoltées via son programme de fidélité pour suivre les comportements de ses clients, prédire leurs futurs achats et proposer des services personnalisés (Wamba et al., 2017).

Ensuite, grâce à l'IIdO, il est possible de continuer à récolter des données après la vente d'un produit. Cela fournit à une organisation des informations précieuses sur la façon dont le produit est utilisé par le client et permet donc de lui proposer quelque chose qui correspond d'autant plus à ce qu'il recherche et d'adapter la gamme de produits en fonction des résultats (Ghobakhloo, 2018). Désormais, les clients sont placés au début de la chaîne de valeur et sont de réels partenaires de collaboration avec lesquels il est possible de créer de nouveaux produits, de nouveaux services et de nouveaux besoins (Kiel et al., 2017). L'IIdO permet ainsi à une organisation de fabriquer des produits variés mais similaires et d'accélérer la transition d'une production de masse à une customisation de masse (Willems, 2018).

En outre, les progrès de l'intelligence artificielle augmentent le degré de variabilité auquel un robot peut faire face. Ses actions peuvent désormais s'accorder aux changements dans son environnement, créant de nombreuses opportunités de customisation et permettant à une organisation d'élargir sa gamme de produits (Ghadge et al., 2020). Effectivement, le fait que le robot communique directement avec les pièces qu'il fabrique lui donne la possibilité de s'adapter en fonction des besoins, par exemple en changeant d'outil si nécessaire et sans instruction au préalable. Cette agilité est susceptible de modifier la façon de produire dans de nombreuses industries, passant d'une production continue à une production discrète (Küpper et al., 2019).

Enfin, un des avantages de la technologie d'impression 3D est sa capacité à fabriquer des produits hautement customisés sans pénalité de temps (Weller et al., 2015). Désormais, les entreprises peuvent produire à la demande de petites quantités, pouvant aller jusqu'à une seule unité (Baumers et al., 2016). De fait, puisque les coûts liés à l'outillage et au changement d'équipement sont presque inexistants, il est possible d'ajuster le processus pour répondre aux besoins uniques du client. Ainsi, l'acheteur peut choisir parmi une infinité de formes, de tailles et de couleurs (D'Aveni, 2015). Cependant, les matières premières nécessaires à la fabrication de certains produits ne sont pas toujours disponibles, limitant le nombre de possibilités de customisation (Weller et al., 2015).

1.3.6. Les effets de la quatrième révolution industrielle

Désormais, nous avons une bonne compréhension de la manière dont les nouvelles technologies qui caractérisent la quatrième révolution industrielle devraient influencer la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement d'une organisation. En effet, elles permettraient la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement flexible et reconfigurable, proposant des délais de livraison réduits et fabriquant des produits individualisés de qualité et à faibles coûts (Frank et al., 2019). En d'autres mots, ces technologies rendraient une organisation compétitive en répondant aux nouvelles exigences de consommation. Cependant, Porter (1985) insiste sur la durabilité de la stratégie pour qu'elle soit considérée comme compétitive. Il est donc légitime de se demander si l'Industrie 4.0 permet cette durabilité. Là encore, la réponse semble être positive puisque l'un de ses concepts fondamentaux est l'intégration des systèmes, qui repose sur la connexion des différents niveaux hiérarchiques d'une organisation et sur la collaboration et la coopération inter-organisationnelles. Ainsi, étant donné qu'une stratégie durable implique que « les activités d'une entreprise interagissent et se renforcent mutuellement » (Porter, 1996), il est raisonnable de penser que l'Industrie 4.0 permet cette durabilité.

De plus, comme nous l'avons vu, pour qu'un pays soit compétitif, ses entreprises doivent l'être aussi. Ainsi, étant donné que les technologies qui caractérisent cette révolution rendraient une organisation compétitive, les pays dont les organisations optent pour leurs implémentations le seraient également. Dès lors, au vu des investissements réalisés par les pays d'Asie du Sud-Est dans le développement de l'Industrie 4.0, ces derniers pourraient bien être les superpuissances industrielles de demain.

Sur base des différentes informations recueillies, les effets de la quatrième révolution industrielle sur la compétitivité des chaînes d'approvisionnement semblent être assez clairs. Cependant, peu d'exemples concrets d'applications ont été trouvés dans la littérature. Effectivement, les effets mis en avant sont trop souvent théoriques et basés sur différents modèles. Ainsi, afin de mieux répondre à la question de recherche, le chapitre suivant a pour objectif d'apporter des connaissances supplémentaires provenant d'experts travaillant ou ayant travaillé dans le domaine. Ces derniers pourront nous donner un avis plus objectif compte tenu de leur expérience de terrain, nous aider à identifier des potentielles contradictions avec la littérature et à évaluer les états actuels et futurs des développements.

Chapitre II

Enquêtes empiriques

2.1. Méthodologie

Bien que l'Industrie 4.0 soit un concept qui attire beaucoup d'attention depuis maintenant plusieurs années, les implémentations dans l'industrie sont encore relativement peu nombreuses et récentes. Ainsi, il semble compliqué de mener une analyse quantitative sur cette question compte tenu du manque d'informations et du peu de recul qu'ont les organisations sur les données existantes. Dès lors, il a été décidé de baser ce deuxième chapitre sur une analyse qualitative.

Pour mener à bien cette analyse, des entretiens individuels ont été réalisés par visioconférence. Les personnes interrogées sont considérées comme des experts en Industrie 4.0, c'est-à-dire des personnes qui travaillent ou qui ont travaillé dans le domaine. En outre, afin de récolter divers opinions, les trois répondants ont des parcours de vie bien différents. L'idée étant d'obtenir le plus d'hétérogénéité dans les réponses pour avoir un avis complet sur les questions posées.

Ainsi, la première partie de l'entretien vise à définir la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement, le concept d'Industrie 4.0 et à identifier les technologies qui la caractérisent. Sur cette base, les effets actuels et futurs de cette révolution sont discutés, ainsi que les potentiels points de convergence et de divergence avec la littérature. Ensuite, sont recueillis l'avis et les commentaires de chaque répondant à propos des pays qui bénéficieront le plus de cette révolution. Enfin, la dernière partie de l'entretien consiste à comprendre comment cette révolution va continuer à se développer dans nos sociétés au cours des prochaines années.

Afin de garder une trace de ce qui a été dit au cours de nos discussions et de faciliter l'utilisation des informations par la suite, chaque entretien a été enregistré et leur retranscription respective est reprise en annexes, tout comme le questionnaire utilisé (voir la section « Annexes »).

2.1.1. Sources de données

Avant d'entamer l'analyse des résultats, penchons-nous sur la présentation de chacun des experts interrogés.

Le premier répondant s'appelle Joachim Hensch (JH), il dirige une entreprise de conseil en numérisation, stratégie et Industrie 4.0. Il débute sa carrière en tant que tailleur avant de passer dans le monde de l'industrie où il travaille dans le développement et la production de produits. En 1995, JH rejoint Hugo Boss en tant que *team leader* et suit des études dans une école de commerce en parallèle. Après quelques années dans l'entreprise, il devient directeur général d'une usine de production comptant plus de 4000 employés en Turquie. C'est à ce moment-là qu'il commence à s'intéresser à l'Industrie 4.0 et à appliquer ses concepts à l'usine qu'il dirige. Cette expérience le pousse à se mettre à son compte en lançant sa propre entreprise de conseil.

Le second répondant s'appelle Sean Culey (SC), il est expert et leader d'opinion dans le domaine de la transformation de la chaîne d'approvisionnement. Il est également professeur invité à l'université de Cranfield où il enseigne la gestion de la chaîne d'approvisionnement et anime des sessions sur la transformation numérique et les impacts de la vague des technologies actuelles sur la chaîne d'approvisionnement. Son livre « Transition Point », écrit en 2018, traite de la nature du changement technologique et des types de changement technologique actuels. Tout au long de sa carrière, SC travaille avec des entreprises comme SAP, écrit de nombreux articles et donne des conférences dans le monde entier sur les technologies perturbatrices.

Finalement, le troisième et dernier répondant s'appelle John Baruch (JB), il est connu pour avoir construit l'un des premiers robots autonomes au monde et organisé le premier atelier international sur l'enseignement de la quatrième révolution industrielle en Chine. En effet, après avoir obtenu un doctorat en astrophysique, JB commence à construire des télescopes robotisés pour assurer le suivi des observations par satellite. Ce travail le conduit à créer une société e4i4 (Education for the 4th Industrial Revolution) dont l'objectif est de développer l'éducation pour l'innovation technologique et la créativité. Ainsi, en collaboration avec des universités chinoises, il lance le premier atelier international sur l'éducation de la quatrième révolution industrielle à Pékin. JB contribue également à l'enquête du comité scientifique parlementaire britannique sur les besoins éducatifs de la quatrième révolution industrielle. En outre, il a travaillé dans l'industrie automobile où il a apporté ses connaissances en matière d'intégration de l'autonomie dans les véhicules. Enfin, il est professeur invité à l'université de Leeds, dans deux universités chinoises et dans une université en Tanzanie.

2.2. Analyse exploratoire

Cette section est divisée en quatre parties auxquelles les différents experts ont apporté de précieuses connaissances.

2.2.1. La quatrième révolution industrielle

La première partie vise à comprendre quelles sont leur perception de cette révolution et des technologies qui la caractérisent. Dès lors, selon JH, les bases de cette révolution reposent sur quatre concepts qu'il est primordial de comprendre et de mettre en place pour pouvoir pleinement exploiter les opportunités qu'elle offre. Le premier concept est fondé sur la connexion de l'ensemble des objets physiques (personnes, machines et produits) d'une organisation afin d'en créer une copie numérique. En conséquence, deux organisations existent, l'une peut être touchée et regardée tandis que l'autre est invisible. Vient ensuite le second concept qui concerne la collecte de données. Le taux de production, le temps de mise en place de l'organisation, les compétences et les capacités des machines et des humains, les erreurs de production, etc. sont des informations précieuses pour une organisation, c'est pourquoi il est important et nécessaire de les collecter. Bien entendu, cela semble inutile si rien n'en est fait par la suite. C'est la raison pour laquelle le troisième concept intervient. L'objectif est de traiter les données en passant par leur transformation, leur compréhension et leur exploitation. Finalement, le dernier concept consiste à se projeter dans l'avenir et à faire des prédictions sur base des données traitées.

Cependant, cette façon de voir les choses constitue « la fin des gens » selon JB. La quatrième révolution industrielle est une façon de tout robotiser, de tout automatiser et peut même représenter une menace puisque le savoir est confié aux ordinateurs. D'un autre côté, SC la perçoit plutôt comme une vague de technologies disruptives qui permet aux organisations de repenser leur mode de fonctionnement et la manière dont leur chaîne d'approvisionnement est structurée.

2.2.1.1. Technologies

Dès lors, si nous nous penchons sur les différentes technologies qui caractérisent cette révolution, JH et SC préfèrent utiliser des classes pour les décrire plutôt que de les énumérer une par une comme cela a été fait dans la revue de la littérature. Ainsi, les quatre concepts que JH a choisis pour représenter l'Industrie 4.0, à savoir connecter, collecter, traiter et prévoir, sont également retenus comme méthode de classification. Dans la classe « connecter », nous retrouvons les technologies qui permettent au monde cyber-physique de communiquer. Nous avons évidemment l'IIdO avec ses étiquettes RFID, ses capteurs GPS et ses caméras mais également la 5G et le WIFI 6. L'objectif est de créer des connexions multiples entre humains, entre machines et des connexions humains-machines. Ensuite, nous avons la classe « collecter » qui, comme son nom l'indique, regroupe les technologies qui permettent de collecter des données. Étant donné que nous entrons de plus en plus dans un monde sans fil où les câbles deviennent superflus, cela se fait principalement par l'utilisation de capteurs. Ces capteurs peuvent être paramétrés de bien des manières pour recueillir les informations dont une organisation a besoin. En effet, ces derniers peuvent être des capteurs haute fréquence, basse fréquence, certains peuvent fournir des données en quelques secondes, d'autres en quelques minutes ou en quelques heures. Toutes les données collectées sont ensuite sauvegardées, traitées et interprétées dans le *cloud*, cette technologie représente donc la classe « traiter ». Finalement, la dernière classe correspond à l'étape de prédiction où nous retrouvons les technologies qui ont la capacité d'apprendre telles que l'intelligence artificielle, le *machine learning* ou encore les logiciels intelligents.

Sur cette base, nous constatons que certaines des technologies décrites dans la revue de la littérature ne sont pas mentionnées dans cette classification. Premièrement, les technologies immersives qui permettent, d'une part, de connecter les humains aux machines en les immergeant dans un monde virtuel et, d'autre part, de collecter des données. Ensuite, la fabrication additive, qui traite les informations qui lui sont fournies pour les transformer en un objet physique. Troisièmement, les robots autonomes qui collectent de l'information, la traitent, agissent en fonction et prédisent même les prochaines actions qu'ils devront effectuer. Finalement, la cybersécurité et le big data qu'il semble compliqué de classer puisqu'ils représentent plutôt la condition nécessaire au bon fonctionnement des différentes classes. En effet, la cybersécurité garantit aux technologies un environnement sécurisé et comme le disait

Debonneuil et Encaoua (2014), le big data est le pétrole de cette révolution, c'est la matière première qui permet au système de fonctionner.

Par ailleurs, tout comme JH, SC pense qu'il est plus judicieux de décrire les technologies qui caractérisent cette révolution sous forme de classes qu'il nomme *whammy*. Ainsi, le premier *whammy* correspond à l'automatisation des muscles ou à l'ensemble des technologies qui permettent de remplacer le travail physique des humains. Il y a donc les robots intelligents et les véhicules autonomes tels que les voitures, les tracteurs, les navires, les drones. Ce sont d'ailleurs ces mêmes véhicules autonomes qui, selon JB, auront le plus grand impact perçu par la société. En effet, leur impact sera directement visible de tous puisque nous pourrions désormais nous déplacer sans avoir à effectuer une seule action. En outre, l'utilisation de ces véhicules garantira également une plus grande sécurité étant donné que les accidents causés par les humains pourront être évités. Si nous revenons maintenant à notre classification, nous pouvons également placer la fabrication additive, dont nous avons discuté dans la revue de la littérature, dans ce premier *whammy*. De fait, cette technologie peut fabriquer entièrement une pièce sans qu'il soit nécessaire de recourir à un travail mécanique de la part d'humains. Ensuite, le second *whammy* comprend les technologies qui automatisent les actions des travailleurs du savoir. Il peut être comparé à la classe de prédiction de JH où nous retrouvons les différents types d'apprentissages autonomes, les intelligences artificielles et les outils de simulation. Bien entendu, pour que le premier *whammy* fonctionne, le second *whammy* doit lui procurer son niveau d'intelligence, ils doivent donc être totalement liés. C'est ici que le troisième *whammy* intervient. Celui-ci va permettre la communication entre les objets du système, il va les connecter les uns aux autres comme le font les technologies de la classe « connecter » de JH. Nous parlons de la 5G, de la 6G, de l'IdO et de toutes les technologies qui permettent cette connexion. L'idée est de lier l'ensemble des unités dans la chaîne de valeur, des composantes industrielles aux consommateurs, afin de créer un jumeau numérique du monde réel. De cette façon, des technologies immersives peuvent, par exemple, être utilisées.

Ainsi, pour conclure, il faut voir ces trois *whammy* comme une série de cellules technologiques qui travaillent ensemble, se connectent les unes aux autres, créent une quantité énorme de données et conduisent d'autres technologies à voir le jour. Il ne s'agit donc pas d'une seule technologie, mais de multiples technologies. Certaines sont physiques, d'autres sont basées sur l'apprentissage autonome, mais toutes fusionnent pour mener cette quatrième révolution industrielle.

2.2.2. Les effets de la quatrième révolution industrielle

L'implémentation de ces technologies au sein des organisations a évidemment un impact sur leur chaîne d'approvisionnement. À travers la littérature, nous avons constaté que cet impact était positif puisque ces multiples technologies permettent à une chaîne d'approvisionnement d'augmenter sa compétitivité en réduisant les coûts et les délais de livraison, en offrant une gamme plus large de produits personnalisables et de qualité aux clients ainsi qu'en assurant leur disponibilité sur le marché. Afin de compléter cette analyse, des avis d'experts ont été recueillis dans cette deuxième partie qui a ainsi pour objectif de les expliquer et de les comparer avec ce qui a été découvert précédemment.

2.2.2.1. La compétitivité de la chaîne d'approvisionnement

Il est dès lors intéressant de se pencher sur la question de la compétitivité pour commencer. Pour JH, une chaîne d'approvisionnement est considérée comme compétitive si elle fournit un produit ou un service que ses concurrents n'arrivent pas à offrir. Lorsque ce n'est plus le cas, le seul attribut qui devient important est le prix, enclenchant ainsi une spirale descendante puisqu'il sera toujours possible de trouver une usine moins chère, un distributeur moins cher, un transporteur moins cher et/ou un pays moins cher. Par conséquent, si une organisation est en mesure d'offrir une meilleure qualité, des délais de livraison plus courts ou une plus grande disponibilité sur le marché, elle doit tout faire pour conserver cet avantage. Pour illustrer cela, prenons l'exemple de Tesla. Lorsque la pénurie de composants électroniques a frappé le secteur automobile, la plupart des constructeurs ont évidemment dû réduire le nombre de voitures produites. Toutefois, Tesla a adapté ses logiciels aux composantes électroniques qui étaient encore disponibles sur le marché et a pu maintenir sa production à niveau. Un autre exemple est celui de Rolls-Royce, qui fabrique des moteurs pour Boeing et Airbus. Ces moteurs nécessitent un entretien quasi permanent et c'est pourquoi les avions peuvent voler pendant 30 ans sans arrêt (ou presque). Cette maintenance est effectuée par Rolls-Royce et les pièces de rechange qu'ils utilisent sont fabriquées sur base des données qu'ils collectent. Ils savent donc ce qui se passe avec chaque moteur dans le monde. Cependant, ils ne connaissent pas les plans de vol des compagnies aériennes, c'est-à-dire qu'ils savent où se trouve l'avion aujourd'hui mais ne savent pas où il se trouvera demain. Ainsi, à l'aide de logiciels de simulation et de prédiction, ils sont en mesure d'anticiper avec une précision de 98 % quand le moteur devra

être révisé, où il devra être révisé et quelles pièces devront être changées. Ces deux exemples nous montrent que la compétitivité d'une chaîne d'approvisionnement se caractérise par la capacité à faire quelque chose de différent de telle manière que même les propres clients d'une organisation ne savent pas comment elle le fait.

Cette vision ne s'oppose pas forcément à ce qui a été mobilisé dans la revue de littérature, au contraire. Porter (1985) le disait, pour être compétitive, une organisation se doit de mettre en place une stratégie qui lui permette de développer et de maintenir un avantage concurrentiel. Dès lors, cet avantage peut effectivement correspondre à de faibles coûts, à de courts délais de livraison, à une grande gamme de produits personnalisables et de qualité ou à une disponibilité constante sur le marché, mais il doit également permettre à une organisation de se différencier de la concurrence de manière rentable et durable.

D'autre part, SC considère la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement comme la capacité à fournir ce que le client veut, quand il le veut, où il le veut, de manière rentable, avec une efficacité et une efficience maximales. Il importe donc peu que l'offre diffère de celle de la concurrence, l'essentiel réside dans la capacité de répondre aux besoins du client. À cet égard, une organisation doit donc déterminer les besoins auxquels elle souhaite répondre et adapter sa stratégie en fonction. Comme nous l'avons vu dans la littérature, les besoins ont changé et les stratégies en place ne sont plus adaptées. En effet, la révolution numérique a modifié notre façon de consommer, nous voulons pouvoir tout avoir, à tout moment et en tout lieu. Cependant, les chaînes d'approvisionnement, qui ont été conçues pour minimiser les coûts, ne sont ni réactives ni agiles mais fragiles et peu compétitives.

2.2.2.2. Comment l'Industrie 4.0 permet de retrouver cette compétitivité ?

Selon SC, afin de répondre aux nouvelles exigences de la société, les organisations se doivent de repenser l'organisations de leur chaîne d'approvisionnement en adoptant les technologies de l'Industrie 4.0. D'abord, parce que celles-ci permettent d'identifier les problèmes avant même qu'ils ne deviennent majeurs. Comme nous l'enseignent Goldratt et Cox (2014), un *bottleneck* doit toujours fonctionner parce qu'une fois à l'arrêt, toute la chaîne doit s'arrêter. Ainsi, l'utilisation de logiciels d'analyse permet d'éviter ce problème. Puisqu'il est désormais possible de prévoir qu'une machine va tomber en panne, il est désormais possible d'effectuer le service de maintenance en dehors des heures de travail. Ensuite, les outils de simulation et la copie

numérique de l'organisation physique permettent de modéliser les décisions avant qu'elles ne soient réellement prises. Dès lors, il est par exemple possible d'optimiser l'équilibrage des lignes en testant les combinaisons les plus efficaces. De plus, les technologies de l'Industrie 4.0 peuvent également être utilisées pour optimiser les niveaux de stock avec, par exemple, le système Kanban, qui ordonne automatiquement le réapprovisionnement des matières premières s'il détecte une quelconque pénurie.

Au travers de ces quelques exemples, nous constatons que cette révolution a des effets sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement et il existe tellement de possibilités d'implémentations qu'il est impossible de toutes les énumérer. Ce qu'il est important de retenir c'est que ces technologies amènent une organisation à réduire les délais de sa chaîne d'approvisionnement, à fabriquer à des coûts réduits, à atteindre des niveaux d'efficacité jamais égalés auparavant, à mieux prévoir les écarts entre l'offre et la demande, à produire à proximité des consommateurs et surtout à devenir plus agile en s'éloignant d'un modèle rigide conçu pour la production de masse. En effet, l'Industrie 4.0 rend possible le fait de répondre aux demandes individuelles des clients, nous parlons ainsi d'hyper personnalisation. À cause de la complexité et du manque de rentabilité qu'engendrent les opérations des modèles actuels, il est inconcevable de traiter 100 000 produits identiques de la même manière que 100 fois 1000 produits différents. Au contraire, la copie numérique, qui représente l'organisation physique, peut le faire grâce aux différentes technologies qui caractérisent cette révolution.

Pour conclure, tout comme la revue de la littérature nous l'a montré, il semble que les différents répondants s'alignent pour dire que l'Industrie 4.0 permet aux organisations de (re)trouver leur compétitivité. D'un côté, cette révolution transforme la façon dont les entreprises sont organisées et les multiples possibilités qu'elle offre permettent à chacun de trouver une façon de se différencier. D'un autre côté, l'adoption de ces technologies permet de répondre aux nouvelles exigences de consommation de la société de manière rentable, avec une efficacité et une efficience maximales.

2.2.3. Quels régions bénéficieront le plus de l'Industrie 4.0 ?

Bien évidemment, tout le monde ne pourra pas bénéficier des opportunités et des avantages qu'offre l'Industrie 4.0. L'objectif de cette troisième partie est donc d'identifier les régions qui

tireront profit de cette nouvelle révolution en mettant en parallèle les informations trouvées dans la littérature avec les opinions des experts interrogés.

Ainsi, pour JB, les pays qui bénéficieront le plus de cette révolution sont ceux dont les organisations impliquent les employés dans le développement de ces nouvelles technologies. De cette façon, l'employé n'a pas l'impression d'être remplacé par un robot et ne s'oppose pas à leur implémentation. Par exemple, une organisation peut pousser son personnel à introduire et suggérer de nouvelles technologies et, si celles-ci améliorent l'efficacité du système, le temps de travail peut être réduit et/ou le salaire augmenté. En outre, cette méthode permet d'identifier les technologies qui sont réellement nécessaires puisqu'elles sont proposées par des personnes qui sont directement sur le terrain. En suivant cette logique, l'Allemagne est un exemple à suivre, puisqu'en effet, les syndicats et les travailleurs sont particulièrement représentés dans les conseils d'administration. Il y a donc une ouverture d'esprit et une réelle implication de la main-d'œuvre dans l'innovation et la créativité. Par conséquent, cela va tout à fait dans le sens de ce que nous avons trouvé dans la littérature, puisque l'Allemagne est en haut du classement du World Economic Forum (2018) qui classe les pays en fonction de leur état de préparation à la quatrième révolution industrielle. À l'opposé, la Grande-Bretagne, qui possède également une bonne position dans ce classement, doit se faire du souci puisque, selon JB, les organisations du pays ne prennent pas suffisamment en compte l'avis de leurs employés.

Pour JH et SC, les pays qui bénéficieront le plus de cette révolution sont les pays développés. D'un côté, les entreprises occidentales sont encouragées à relocaliser leurs sites de production dans des pays proches de leurs marchés de consommation. Effectivement, c'est de cette façon qu'elles peuvent être agiles et répondre facilement aux contraintes de temps, à la complexité croissante et aux problèmes de la chaîne d'approvisionnement mondiale. En outre, l'automatisation des opérations supprime le problème des salaires qui était l'une des principales raisons de la délocalisation des sites de production. D'un autre côté, la capacité à éduquer et à former la prochaine génération pour qu'elle dispose des compétences nécessaires au développement et à l'utilisation des outils de l'Industrie 4.0 est également très importante, ce qui, là encore, concerne les pays développés. Ainsi, selon SC, la Chine, les États-Unis et l'Europe occidentale jouent un rôle central dans ce domaine puisqu'ils disposent à la fois d'innovateurs et de consommateurs suffisamment riches pour justifier cet investissement. En outre, la Chine a un avantage particulier, car son système politique n'exige pas de demander la permission à ses citoyens avant d'agir. Ils peuvent donc simplement fournir l'investissement

nécessaire pour que cela se produise, sans se soucier de l'impact sur les entreprises existantes. Cependant, ils risquent de gaspiller beaucoup d'argent en faisant de gros paris au mauvais moment ou sur les mauvaises technologies. Quant aux États-Unis et à l'Europe occidentale, ils sont en mesure de jouer un rôle central s'ils parviennent à surmonter les résistances internes et à faire en sorte que la transition fasse plus de gagnants que de perdants.

Enfin, s'ils s'accordent à dire que ce sont les pays développés qui vont bénéficier de cette révolution, JH et SC ne voient pas le sort des pays en développement de la même manière. JH estime que ces pays ont la capacité de se moderniser et de rendre leur production plus flexible en améliorant les compétences de leur main-d'œuvre. En outre, compte tenu de la baisse des prix de la robotique, l'automatisation devient également intéressante pour eux. Dans un autre ordre d'idées, SC estime que la majorité des pays émergents n'ont pas la capacité de s'engager dans le développement de ces technologies. Par ailleurs, le fait que les pays occidentaux et la Chine tentent d'éliminer leur dépendance à l'égard des humains minimise le besoin de la main-d'œuvre à faible coût sur laquelle ces pays s'appuient aujourd'hui.

2.2.4. Quel avenir pour l'Industrie 4.0 ?

Finalement, la dernière partie de cette section traite de l'avenir de l'Industrie 4.0. Ainsi, pour l'ensemble des répondants, l'Industrie 4.0 va continuer de se répandre à tous les niveaux de la société jusqu'à la dominer complètement. Toutefois, la façon dont cela va se passer est encore très incertaine et son développement pourrait prendre plus de temps que prévu.

En effet, comme nous l'apprend SC, les différentes technologies évoluent à un rythme que la plupart des gens ne comprennent pas. Jour après jour, les progrès en intelligence artificielle permettent de faire de meilleures prédictions, de voir plus précisément les tendances du marché, d'imiter les capacités des humains en parlant, en pensant, en faisant preuve de bon sens, etc. Cependant, les gens ne croient que ce qui est visible et tangible et ne comprennent, selon JH, que les trois premiers concepts de cette révolution qui sont la connexion, la collecte de données et leur traitement. Cela se complique lorsque le concept de prédiction est abordé. Comment pouvons-nous concevoir de voir l'avenir et d'éviter des coûts et des erreurs qui n'arriveront jamais ? Si un logiciel de simulation prédit qu'une machine va commettre une erreur demain et qu'un mécanisme est mis en place pour éviter que cette erreur soit commise, comment mesurer

le fait que cette erreur se serait produite sans le logiciel de simulation ? Et par conséquent, comment mesurer la fiabilité et l'utilité de ce logiciel ? Cette incompréhension qui accompagne cette évolution amène la peur et la peur mène au refus, un refus de repenser la façon d'organiser la société. Selon SC, c'est ce dernier point qui constitue le plus grand défi. En effet, le plus compliqué n'est pas d'apprendre aux organisations d'utiliser le nouveau modèle mais c'est de faire oublier l'ancien. Dans bien des cas, les entreprises adoptent les technologies de l'Industrie 4.0 mais conservent les méthodes de l'Industrie 3.0, ce qui ne permet pas d'exploiter pleinement les avantages de cette révolution. Ainsi, avant une implémentation plus massive de ces technologies dans les organisations, il faudra des pionniers qui auront un tel succès que même les personnes qui ne les comprennent pas sauront qu'elles fonctionnent et les mettront en œuvre.

À partir de ce moment-là, comme nous l'apprend SC, les chaînes d'approvisionnement deviendront des *power supply chain*. C'est-à-dire des chaînes d'approvisionnement personnelles, automatisées et locales. En outre, ces dernières seront plus durables et circulaires puisque toutes ces technologies nous permettront de fabriquer des produits conçus pour être recyclés et réutilisés et de fabriquer uniquement ce dont nous aurons besoin, quand nous en aurons besoin et où nous en aurons besoin. Par ailleurs, JB met en garde contre l'urgence de la situation. Selon lui, il est impératif d'implémenter rapidement les différentes technologies qui caractérisent cette révolution industrielle afin de répondre au grand enjeu de notre société qui est le réchauffement climatique.

Selon JH, ces *power supply chain* représentent l'Industrie 5.0. L'objectif ne sera plus de créer de la valeur pour les seuls actionnaires mais pour l'ensemble des parties prenantes. Ainsi, les technologies qui caractérisent la quatrième révolution industrielle ne seront plus utilisées pour améliorer uniquement la productivité et l'efficacité des processus industriels, mais pour améliorer les conditions de vie des humains. Cependant, il est raisonnable de s'interroger sur l'existence même de cette cinquième révolution. Effectivement, selon JH, cette dernière reposerait sur les technologies de la quatrième révolution, or, comme Schwab (2016, p.11) nous l'apprend, « des révolutions ont eu lieu tout au long de l'histoire lorsque de nouvelles technologies et de nouvelles façons de percevoir le monde déclenchent un changement profond des systèmes économiques et des structures sociales ». Par conséquent, l'Industrie 5.0 pourrait simplement être considérée comme un prolongement de cette quatrième révolution industrielle. En outre, même s'il est clair que nous ne pouvons pas tirer sur notre planète indéfiniment, JH pense que les gens ne sont pas encore prêts à transiter vers un modèle qui considère pleinement

l'ensemble des parties prenantes. Dès lors, il faudra encore au minimum une dizaine d'années avant que l'Industrie 4.0 domine complètement notre société et que les mentalités évoluent vers quelque chose de plus écologique, éthique et durable.

Conclusion

Il semble de plus en plus évident que le modèle actuel, fondé sur une chaîne d'approvisionnement mondiale avec des sites de production éloignés des marchés de consommation et où la minimisation des coûts et la maximisation du profit représentent les objectifs absolus, est complètement dépassé. En effet, le manque de flexibilité de ce modèle, l'évolution des exigences des consommateurs, la concurrence internationale, l'entrée tardive des produits sur le marché et la multiplication des événements tels que le Brexit, la pandémie de COVID-19, le conflit armé entre la Russie et l'Ukraine sont autant de facteurs qui empêchent les organisations de prévoir et de s'adapter à la demande. Ainsi, il devient urgent de transformer les processus industriels afin de permettre aux organisations de répondre aux nouvelles attentes des consommateurs et de (re)trouver leur productivité, leur efficacité et leur compétitivité.

À cet égard, une grande majorité de la communauté scientifique s'accorde à dire qu'une nouvelle révolution industrielle est en cours et que celle-ci va permettre à notre société et à nos industries de relever les défis auxquels elles sont confrontées. Cette Industrie 4.0 repose sur les principes d'intégration des systèmes, de décentralisation des décisions, de transparence de l'information et d'assistance technique des machines aux humains. Ce dernier point fait particulièrement sens au vue de la vague de technologies disruptives qui caractérisent cette révolution. En effet, ces technologies, qui comprennent l'IdO, les méthodes d'analyse et de simulation, la robotique autonome, la fabrication additive et les technologies immersives, permettent de créer un système cyber-physique qui connecte les objets d'une organisation entre eux, traite les données collectées et prédit certains éléments tels que la demande future.

Cette révolution transforme l'ensemble des processus qui caractérisent la gestion de la chaîne d'approvisionnement et l'analyse exploratoire semble rejoindre la littérature pour dire que l'Industrie 4.0 permet aux organisations d'augmenter leur compétitivité. En effet, si peu d'exemples réels ont été mobilisés, il ressort néanmoins des entretiens que les multiples possibilités qu'offre l'Industrie 4.0 permettent à chaque organisation de se différencier de ses concurrents. De plus, elle rend possible le fait de répondre aux demandes individuelles des clients en leur offrant ce qu'ils veulent, quand ils le veulent et où ils le veulent, de manière rentable, avec une efficacité et une efficience maximales. Effectivement, comme le montre la littérature, les technologies qui caractérisent la quatrième révolution industrielle permettent la

mise en place d'une chaîne d'approvisionnement flexible et reconfigurable, proposant des délais de livraison réduits et fabriquant des produits personnalisés de qualité et à faibles coûts.

En outre, il ressort également de l'analyse exploratoire qu'une fois cette nouvelle façon d'organiser le mode de fonctionnement des organisations complètement répandue, nous pourrions pleinement exploiter le potentiel de l'Industrie 4.0 et les chaînes d'approvisionnement deviendront personnelles, automatisées, locales et circulaires. Partant de ce constat, les pays du monde entier investissent dans ces technologies et mettent en place des plans d'actions qui leur permettront de bénéficier des avantages qu'offrent l'Industrie 4.0. À cet égard, les deux chapitres s'alignent pour dire que les pays asiatiques tels que le Japon, la Corée du Sud et la Chine mènent la course et que ceux-ci pourraient bien être les superpuissances industrielles de demain. Cependant, les pays occidentaux, bien que légèrement en retard sur leurs homologues, sont également en mesure de profiter de cette révolution s'ils parviennent à surmonter les résistances internes et à faire en sorte que la transition fasse plus de gagnants que de perdants. Dès lors, ce sont les pays en développement qui pourraient, à nouveau, être les grands perdants de cette révolution d'après les experts interrogés. À moins qu'ils ne parviennent à se moderniser et à rendre leur production plus flexible en améliorant les compétences de leur main-d'œuvre.

En définitive, les effets de la quatrième révolution industrielle sont nombreux, ainsi, les organisations et les pays qui mettront en place les bonnes méthodes pour bénéficier des avantages qu'elle offre devraient développer un net avantage concurrentiel qui leur permettrait de (re)trouver leur compétitivité.

Contributions

Les contributions de ce mémoire sont multiples. Tout d'abord, sa lecture permet d'aider les gestionnaires, les entrepreneurs et les décideurs à comprendre ce qu'est la quatrième révolution industrielle et leur donne une vue d'ensemble des effets qu'elle a et qu'elle aura sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement de leur organisation. Ensuite, cette même lecture met en garde nos gouvernements et nos politiques sur l'état d'urgence de la situation. Il est impératif de continuer à investir dans ces nouvelles technologies et à soutenir les organisations qui le font pour redevenir une région attractive et compétitive et limiter la dépendance que nous avons vis-à-vis des autres pays. En outre, ce mémoire sert de base de

recherche pour tout académicien souhaitant approfondir le sujet. En effet, comme expliqué précédemment, l'approche utilisée vise à donner un aperçu général des effets de cette révolution sur la compétitivité de la chaîne d'approvisionnement sans application spécifique à une industrie. Par conséquent, les conclusions tirées peuvent servir de point de départ pour toute étude ayant pour objectif de comparer les effets attendus aux effets réels dans une industrie en particulier. Enfin, ce mémoire contribue un peu plus au développement de cette nouvelle ère industrielle. Effectivement, c'est en continuant à écrire sur le sujet, à en parler et à en discuter que de plus en plus de personnes prendront conscience qu'une nouvelle révolution est en marche. Nous l'avons dit, le concept d'Industrie 4.0 n'en est qu'à ses débuts et si nous voulons bénéficier des avantages qu'il offre, il doit se développer à plus grande échelle.

Critiques

Toutefois, bien que les contributions de ce mémoire soient multiples, plusieurs critiques peuvent également être formulées. Parmi elles, le manque de données de terrain. En effet, malgré les efforts fournis et les nombreuses tentatives, seulement trois experts ont répondu favorablement aux demandes d'entretien. Dès lors, bien que les informations récoltées apportent une valeur ajoutée au contenu de ce mémoire, la diversité des opinions est relativement limitée et il est donc difficile de se faire un avis objectif sur la question. En outre, l'approche générale qui a été choisie, tant dans la littérature que dans la partie empirique, ne fournit pas suffisamment d'exemples concrets pouvant supporter les conclusions tirées, de sorte que la fiabilité de ces dernières peut facilement être mise en doute.

Recherches futures

En conclusion, il est intéressant de mettre en avant les nombreuses possibilités de recherches ultérieures qui sont ressorties de ce mémoire. Premièrement, l'application d'une analyse similaire dans un secteur particulier donnerait de la crédibilité aux résultats. En effet, nous pourrions prendre l'exemple du secteur des produits de grande consommation qui a dû se transformer rapidement au vu de l'évolution des exigences de consommation suite à la révolution numérique. De fait, comme discuté lors du second entretien, nous voulons désormais les choses immédiatement, nous voulons pouvoir les commander à n'importe quel moment et être livrés à n'importe quel endroit. En conséquence, la complexité de la chaîne

d'approvisionnement s'est considérablement accrue et le volume des produits a explosé, obligeant le secteur à s'adapter. Deuxièmement, chaque processus qui caractérise la gestion de la chaîne d'approvisionnement pourrait faire l'objet d'un travail distinct et il serait intéressant d'étudier plus en profondeur les effets de cette révolution sur la compétitivité de chacun d'entre eux. Troisièmement, il a souvent été mentionné que l'Industrie 4.0 pourrait aider notre société à devenir plus durable. Ainsi, comme nous le dit JB, il faudrait accorder plus d'attention aux effets réels que cette révolution a sur le réchauffement climatique et à la manière dont elle peut être utilisée pour atteindre les objectifs fixés par les gouvernements dans ce domaine. Enfin, si l'Industrie 4.0 est loin d'être totalement mise en œuvre dans notre société, JH parlait déjà de l'Industrie 5.0 qui remettrait l'être humain au centre du processus industriel en créant de la valeur pour l'ensemble des parties prenantes. Cependant, certaines questions subsistent à ce sujet. D'une part, faut-il considérer l'Industrie 5.0 comme une révolution industrielle à part entière ou simplement le résultat de la quatrième révolution ? Et d'autre part, au vu de l'intérêt croissant dans le domaine, faut-il forcément passer par une domination de l'Industrie 4.0 dans notre société avant de connaître l'Industrie 5.0 ? Nous laissons ainsi à d'autres le soin d'approfondir ces questionnements.

Bibliographie

- Agrell, P. J. (2020). *Supply Chains and Industry 4.0: How the fourth industrial revolution will affect the supply chain* [PowerPoint slides]. En ligne sur le site web de Université Catholique de Louvain, Supply Chain Coordination and Sourcing <https://moodle.uclouvain.be/>
- Allen, R. C. (2009). The industrial revolution in miniature: The spinning jenny in britain, france, and india. *The Journal of Economic History*, 69(4), 901-927. doi: <https://doi.org/10.1017/S0022050709001326>
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252. doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.045
- Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C., & Hague, R. (2016). The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological Forecasting & Social Change*, 102(1), 193-201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.02.015>
- Beier, G., Niehoff, S., & Xue, B. (2018). More Sustainability in Industry through Industrial Internet of Things?. *Applied Sciences*, 8(2), 219-230. doi: 10.3390/app8020219
- Berger, R. (2014). *Industry 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed*. En ligne sur le site web de Iberglobal https://www.berglobal.com/files/Roland_Berger_Industry.pdf, consulté le 19 juillet 2022.
- Bhawsar, P., & Chattopadhyay, U. (2015). Competitiveness: Review, reflections and directions. *Global Business Review*, 16(4), 665-679. doi: <https://doi.org/10.1177/0972150915581115>
- Britannica. (2021). *Computer Simulation*. En ligne <https://www.britannica.com/technology/computer-simulation>, consulté le 24 mai 2022.
- Bromberger, J., Ilg, J., & Miranda A. M. (2022). *The mainstreaming of additive manufacturing*. En ligne sur le site web de McKinsey & Company <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-mainstreaming-of-additive-manufacturing>, consulté le 19 mai 2022.

- Brown, S. (2020). *6 steps to handle supply chain disruption*. En ligne sur le site web de MIT Management Sloan School <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/6-steps-to-handle-supply-chain-disruption>, consulté le 25 juillet 2022.
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (s. d.). *Retour*. En ligne <https://www.cnrtl.fr/definition/retour>, consulté le 2 juin 2022.
- Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (s. d.). *Simulation*. En ligne <https://www.cnrtl.fr/definition/simulation>, consulté le 24 mai 2022.
- Chen, A., Blue, J. (2010). Performance analysis of demand planning approaches for aggregating, forecasting and disaggregating interrelated demands. *International Journal of Production Economics*, 128(2), 586-602. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.07.006
- Chikán, A. (2008). National and firm competitiveness: a general research model. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 18(1), 20-28. doi: <https://doi.org/10.1108/10595420810874583>
- Climat.be. (2019). *Émissions par secteur*. En ligne <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur>, consulté le 3 juin 2022.
- Colicchia, C., Creazza, A., & Dallari, F. (2017). Lean and green supply chain management through intermodal transport: insights from the fast moving consumer goods industry. *Production Planning & Control*, 28(4), 321-334. doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1282642>
- Council of Supply Chain Management Professionals. (s. d.). SCM Definitions and Glossary of Terms. En ligne https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921, consulté le 7 juin 2022.
- Croxton, K. L., Garcia-Dastugue, S. J., Lambert, D. M., & Rogers, D. S. (2001). The supply chain management processes. *The international journal of logistics management*, 12(2), 13-36. doi: <https://doi.org/10.1108/09574090110806271>
- D'Aveni, R. (2015). The 3-D printing revolution. *Harvard Business Review*, 93(5), 40-48. En ligne <https://hbr.org/2015/05/the-3-d-printing-revolution> consulté le 17 mai 2022.

- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Debonneuil, M., & Encaoua, D. (2014). Innovations contemporaines : contre-performances ou étape transitoire ?. *Revue française d'économie*, 2(2), 43-101. doi: <https://doi-org.proxy.bib.ucl.ac.be/2443/10.3917/rfe.142.0043>
- Doshi, R. (2020). *The United States, China, and the contest for the Fourth Industrial Revolution*. En ligne sur le site web de Brookings <https://www.brookings.edu/testimonies/the-united-states-china-and-the-contest-for-the-fourth-industrial-revolution/>, consulté le 19 juillet 2022.
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Lanzilotto, A. (2016). Evaluating the application of augmented reality devices in manufacturing from a process point of view: An AHP based model. *Expert systems with applications*, 63, 187-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.07.006>
- Frank, A.G., Dalenogare, L.S., & Ayala, N.F. (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Frank, M., Roehrig, P., & Pring, B. (2017). Your New Raw Materials: Data Is Better Than Oil. *Global Business and Organizational Excellence*, 36(3), 64-72. doi: <https://doi.org/10.1002/joe.21782>
- Geissbauer, R., Wunderlin, J., & Lehr, J. (2017). *The future of spare parts is 3D & A look at the challenges and opportunities of 3D printing*. En ligne sur le site web de PwC <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2017/the-future-spare-parts-3d/the-future-of-spare-parts-is-3d.pdf>, consulté le 25 juillet 2022.
- Ghadge, A., Kara, M. E., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of industry 4.0 implementation on supply chains: IMS. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669-686. doi: <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0368>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward industry 4.0: IMS. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936. doi: <http://dx.doi.org.proxy.bib.ucl.ac.be/10.1108/JMTM-02-2018-0057>

- Goldratt, E. M., & Cox, J. (2014). *The Goal: A Process Of Ongoing Improvement* (4e éd.). Great Barrington, États-Unis: The North River Press.
- Gorecky, D., Khamis, M., & Mura, K. (2015). Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(1), 182-190. doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1067918>
- Grynol, B. (s. d.). *Disruptive manufacturing the effects of 3D printing*. En ligne sur le site web de Deloitte <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/insights-and-issues/ca-en-insights-issues-disruptive-manufacturing.pdf>, consulté le 19 mai 2022.
- Hall, S., & Takahashi, R. (2017). *Augmented and virtual reality: The promise and peril of immersive technologies*. En ligne sur le site web de McKinsey & Company <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/augmented-and-virtual-reality-the-promise-and-peril-of-immersive-technologies>, consulté le 20 mai 2022.
- He, W. and Xu, L. (2015). A state-of-the-art survey of cloud manufacturing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(3), 239-250. doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2013.874595>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928-3937). IEEE
- Hoejmoose, S., Brammer, S., & Millington, A. (2013). An empirical examination of the relationship between business strategy and socially responsible supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(5), 589-621. doi: 10.1108/01443571311322733
- Hull, J. P. (1996). From rostow to chandler to you: How revolutionary was the second industrial revolution?. *Journal of European Economic History*, 25(1), 191. En ligne <https://www.proquest.com/scholarly-journals/rostow-chandler-you-how-revolutionary-was-second/docview/1292854970/se-2?accountid=12156>
- Kiel, D., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2017). The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies - A business level perspective. *Technovation*, 68, 4-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2017.09.003>

- Kilpatrick, J. (2022). *Supply chain implications of the Russia-Ukraine conflict*. En ligne sur le site web de Deloitte <https://www2.deloitte.com/xe/en/insights/focus/supply-chain/supply-chain-war-russia-ukraine.html>, consulté le 25 juillet 2022.
- Krotov, V. (2017). The Internet of Things and new business opportunities. *Business Horizons*, 60(6), 831-841. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.07.009>
- Küpper, D, Lorenz, M., Knizek, C., Kuhlmann, K., Maue, A., Lässig, R., & Buchner, T. (2019). *Advanced Robotics in the Factory of the Future*. En ligne sur le site web de Boston Consulting Group <https://www.bcg.com/publications/2019/advanced-robotics-factory-future>, consulté le 25 mai 2022.
- Larousse. (s. d.). *Révolution industrielle*. En ligne https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/r%C3%A9volution_industrielle/61047, consulté le 18 mai 2022.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242. doi: 10.1007/s12599-014-0334-4
- LaValle, S., Lesser, E., Shockley, R., Hopkins, M.S., & Kruschwitz, N. (2011). Big data, analytics and the path from insights to value. *MIT Sloan Management Review*, 52(2), 21-32. En ligne <https://www.proquest.com/abicomplete/docview/845235605/3A622204C092459EPQ/1?accountid=12156>, consulté le 25 mai 2022.
- Le Moigne, R. (2017). *Supply Chain Management: achat, production, logistique, transport, vente* (2e éd.). En ligne <https://ils.bib.uclouvain.be/uclouvain/documents/3243186>
- Li, X., Tian, P., Leung, S.C.H., 2010. Vehicle routing problems with time windows and stochastic travel and service times: Models and algorithm. *International Journal of Production Economics*, 125(1), 137-145. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.01.013
- Liao, Y., Loures, E. R., Deschamps, F., Brezinski, G., & Venâncio, A. (2018). The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. *Production*, 28. doi: 10.1590/0103-6513.20180061
- Lidberg, S., Tehseen, A., Leif, P., & Ng, A. H. C. (2020). Optimizing real-world factory flows using aggregated discrete event simulation modelling. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 32(4), 888-912. doi: <https://doi.org/10.1007/s10696-019-09362-7>

- Manavalan, E. and Jayakrishna, K. (2018). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers and Industrial Engineering*, 127, 925-953. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>
- Mayor, T. (2022). *Impacts from the conflict are forcing companies to recalibrate and, in some cases, wholly reconsider their long-standing supply chain and partner ecosystems*. En ligne sur le site web de MIT Sloan Management School <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/ripple-effects-russia-ukraine-war-test-global-economies#:~:text=The%20Russia%2DUkraine%20war%20is,MIT%20Center%20for%20Transportation%20and>, consulté le 25 juillet 2022.
- Mell, P. & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing (800-145). National Institute of Standards and Technology (NIST)
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25. doi: <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Moses, R., Garia, N., & Devan, P. (s. d.). *Digital reality A technical primer*. En ligne sur le site web de Deloitte https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4426_Digital-reality-primer/DI_Digital%20Reality_Primer.pdf, consulté le 20 mai 2022.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. New York, États-Unis: The Free Press.
- Porter, M. E. (1996). *What is Strategy?*. En ligne sur le site web de Harvard Business Review <https://hbr.org/1996/11/what-is-strategy>, consulté le 30 juillet 2022.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard business review*, 92(11), 64-88.
- PwC. (2017). *The Evolution of Augmented Reality*. En ligne <https://www.pwc.be/en/news-publications/insights/2017/the-evolution-of-augmented-reality.html>, consulté le 20 mai 2022.

- Reeves, M., Salha, H., & Bokkerink, M. (2010). *Simulation advantage*. En ligne sur le site web de Boston Consulting Group <https://www.bcg.com/publications/2010/business-unit-strategy-simulation-strategy>, consulté le 24 mai 2022.
- Ribas, I., Lusa, A., & Corominas, A. (2019). A framework for designing a supply chain distribution network. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2104-2116, doi: 10.1080/00207543.2018.1530477
- Riel, A., Kreiner, C., Macher, G., & Messnarz, R. (2017). Integrated design for tackling safety and security challenges of smart products and digital manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66, 177-180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.037>
- Sajadieh, M. S., & Thorstenson, A. (2014). Comparing sourcing strategies in two-echelon supply chains. *Computers & Operations Research*, 45, 108-115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.12.006>
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Genève, Suisse: World Economic Forum.
- Semal, P. (2017). *Supply Chain Management: A Decision-Making Framework* [Cours en ligne]. En ligne <https://www.edx.org/course/supply-chain-management-a-decision-making-framework?index=product&queryID=f271fea6b700d08dcefa11585c9461ab&position=1>, consulté le 2 juin 2022.
- Sirimanne, S. (2022). *What is 'Industry 4.0' and what will it mean for developing countries?*. En ligne sur le site web de World Economic Forum <https://www.weforum.org/agenda/2022/04/what-is-industry-4-0-and-could-developing-countries-get-left-behind/>, consulté le 19 juillet 2022.
- Sweeney, E. (2022). *The big challenges for supply chains in 2022*. En ligne sur le site web de World Economic Forum <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/challenges-supply-chains-covid19-2022>, consulté le 25 juillet 2022.
- Tilley, J. (2017). *Automation, robotics, and the factory of the future*. En ligne sur le site web de McKinsey & Company <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future>, consulté le 25 mai 2022.
- United Nations Conference on Trade and Development. (2021). *ASEAN Investment Report 2021*. En ligne <https://unctad.org/webflyer/asean-investment-report-2021>, consulté le 18 juillet 2022.

- Wamba, S. F., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2015). How 'big data' can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics*, 165, 234-246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.031>
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E.W., & Papadopoulos, T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176(1), 98-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014>
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International journal of distributed sensor networks*, 12(1), 3159805. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
- Waslo, R., Lewis, T., Hajj, R., & Carton, R. (2017). *Industry 4.0 and cybersecurity*. En ligne sur le site web de Deloitte <https://www2.deloitte.com/global/en/insights/focus/industry-4-0/cybersecurity-managing-risk-in-age-of-connected-production.html>, consulté le 27 mai 2022.
- Weller, C., Kleer, R., & Piller, F. T. (2015). Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics*, 164, 43-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.020>
- Willems, Lionel. *On the Supply Chain in the Fourth Industrial Revolution*. Louvain School of Management, Université catholique de Louvain, 2018. Prom. : Agrell, Per Joakim ; Lejeune, Christophe. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:16307>
- World Economic Forum. (2018). *Readiness for the Future of Production Report 2018*. En ligne https://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf, consulté le 18 juillet 2022.

Annexes

A.1. Guide d'entretien

- Can you introduce yourself in a few words? Please refer to your educational and professional background.
- What is your experience with Industry 4.0?
- What do you understand by Industry 4.0?
- What are the current impacts of Industry 4.0?
- If you had to define supply chain competitiveness, what would you say?
- What are the main attributes that make the supply chain of an organization competitive and why?
- What are the current impacts of Industry 4.0 on the supply chain competitiveness? Based on the attributes discussed earlier.
- What are the different technologies that characterize Industry 4.0 and what are their features?
- For each technology, what are their current impacts on supply chain competitiveness? Again, based on the attributes discussed earlier
- Which countries are most and least likely to benefit from Industry 4.0? And why?
- Where do China, the US and Europe stand in relation to this?
- How do you see the future of Industry 4.0?

- What will be the future impacts of industry 4.0 on the supply chain competitiveness if any?
- Do you have anything to add or ask?

A.2. Entretien - Joachim Hensch

Matéo: Do you have anything to ask before we start the interview?

Joachim: The only thing I would like you to add here is the European Union's concept paper on Industry 5.0. And the reason is that Industry 4.0 was invented by the German government in 2011 something like this, by a group of scientists who were thinking about Germany's competitiveness against China. So, they invented this idea of Industry 4.0 as a concept paper and since then they have fallen in love with this terminology. China has also launched a counter-initiative called "made in China 2025". So, what I suggest you really think about is that you are writing about a specific moment in time. That means that in order to create the future, you have to understand the past, which means that if you think of Industry 4.0 as a transition from Industry 3.0 to current contemporary technologies, you should certainly already be aware of what is in preparation for the next wave of changes, so that you have an idea of what is likely to be fully implemented and what are the components of this project in this Industry 4.0 that are likely to be bypassed by Industry 5.0. That's something I'm just saying because you should understand that. You're on a moving boat on a river and everything you do as a search, everything you find on the internet, it's just something that represents a moment in time and so you should put that in perspective. Where you are today, where the industry is likely to be and where it was, so that you have a better understanding of why things are happening.

Matéo: It's a good idea but that was one of my questions. I wanted to ask you how you see the future of Industry 4.0 and your answer is, I guess Industry 5.0.

Joachim: Yes, and there is a very simple reason for that. The first and second revolutions, the third and fourth were triggered by technology. We are now coming to a point that I call the idea of Industry 5.0, where humans are taking their place again. This is the center of it all, when we

talk about the human, we talk about the worker but also the employer, the society, we talk about the country, we talk about the human on this planet in terms of sustainability and so on. So, all these technologies have another purpose, the purpose is not necessarily shareholder value anymore, which is more related to Industry 3.0, but rather stakeholder value. And stakeholder value is a bit like what we had in the first industrial revolution. Because the first industrial revolution started as a technological improvement, but it had a significant impact on society and the economy because it changed people's lives. Technology gave people the ability to produce and earn more money than before and to produce more things that they could then buy. In fact, it took away craft jobs and added a lot of industrial jobs, but at the same time it made people richer, not rich, but they could afford more things and started buying things. It's like the regular workers had a different life from their farming ancestors. And this is something that was kind of forgotten in the second industrial revolution. It's an idea that was kind of forgotten in the second industrial revolution: "OK, let's divide up the operations, let's start with serious production, let's optimize what we're doing with this idea of dividing everything up and adapting everything, like Taylorism. The third industrial revolution saw machines again optimizing production and not the living conditions of workers. Now they think that the fourth industrial revolution is essentially a continuation of the third one which gives another layer of technology, the digital layer of technology. So, this impulse is still not in the overall idea behind that we improve the conditions of people but by improving production. Now, the fifth one goes back to the first one for me because it says that we can't just endlessly get more from this planet. We also must think about the consequences of it all. It's a good point that you've written about Industry 4.0 and that you know what's going to happen in the next 10 to 20 years.

Matéo: Thank you for this good synthesis about the history of the revolutions! I have planned to write about what could be the further research at the end of my thesis, I will probably mention the industry 5.0. But if you're ready we can maybe start the interview?

Joachim: Yeah sure!

Matéo: So, the first question is just: can you introduce yourself in a few words? And yeah, please refer to your educational and professional background.

Joachim: Yes, my name is Joachim and I am a CEO because I run my own business. I run a mentoring and consulting company. I was an employee for 38 years, so for me to do something

as an entrepreneur is quite new. I do very similar things to what you do, I do research, I think about my life, what I'm going to do in the next 10 years, what my growth rate is, how I can improve what I do every day... So, it's very funny that I'm starting again after almost 40 years in the industry. I am 58 years old. I have two children and I am happily married. I have a house, a car and everything else. I started my professional career as a tailor, but I wanted to become a fashion designer and I wanted to study fashion design. But there was no way at that time to find a place to study. So I started as a tailor because I really wanted to understand fashion, you know, from the ground up. I started as an apprentice tailor and I fell in love with tailoring. I finished this tailor training with a master, a master tailor training in Germany and I wanted to open my own business. But someone pushed me to go into the industry. Yes, I had a lot of mentors in my life who made me go there and there, and they were good voluntary mentors. So I went into industry, I fell in love with industry, mass production, large scale creativity. I stayed there for a few years in product development and production. Then, around 1995, I started working for Hugo Boss. I started working as a team leader, and then I fell in love with leadership, because leadership means that you don't create products, but you are creative in the organisation. For me, being a leader was always a creative job. I didn't see it from an economic perspective. However, if I work with my clients today, I see it more as a creative task to optimise an organisation in the best possible way and the result is money. But I don't look for the money in the first place, I look for the organisation to make it successful and the result is naturally money, or well-being or whatever. So yes, I went to business school in Switzerland and after that I became in 2015 the general manager of a Hugo Boss factory with more than 4000 people. And that's where I implemented the Smart factory concept that I had heard about a year before (I had attended a masterclass on leading the factory of the future). So I turned this whole factory with a fantastic team into a real smart factory. And then in 2020 they called me back to the head office, I didn't want to do it because it's too political for me and I was too independent at the time. So I decided to leave and start my own practice around this industry 4.0, industry 5.0 in manufacturing. Now I help organisations to do it.

Matéo: Okay, it's a very long journey with a lot of experiences! My second question is completely different. So if you were to define supply chain competitiveness, what would you say?

Joachim: You mean like, what makes a supply chain competitive?

Matéo: Yes exactly.

Joachim: Okay so first of all, I recommend you to watch a one-hour presentation by Peter Field, from Stanford University. The title is "competitions for losers". And the reason why competition is for losers is that you are betting on something that is about to become a commodity. Which means that, like the competition in the supply chain, I think the biggest competition in the supply chain or the challenge of supply chains is that you always have to fight not to become a commodity. When you do something great, then you outperform your competitors. When you make something as a commodity, you are always fighting for price. Price is always a downward spiral, there's no end to it, there's always a cheaper country and there's always a cheaper factory and there's always a cheaper distributor and a transport organisation and a container transport and so on. So if you think your idea of staying in the game is to always be the cheapest, then that's the road to hell. So the biggest competition I see is that you're doing something that a lot of other people can also do. And then it's all about price, it's a dead game. The supply chain faces a lot of challenges, even today, with globalisation versus localisation, and we have a lot of political issues, health issues, etc. There are many reasons why today's supply chains have collapsed and faltered. But for me, the most important question for staying in business is whether I am doing something that others can't do, or doing it in a way that others can't easily copy. An example, when shortages hit the car industry. Volkswagen, Toyota and the others started producing fewer cars. Tesla looked at what was available on the market and it took their software engineers three weeks to adapt the software to the chipsets they could get. So they turned that challenge into an opportunity by saying, "OK, because we have the know-how of our cars, we may not be able to get the optimal chipset for this production, but we can look at the market and say, OK, what's available here and we can get, I don't know, a million chipsets out of this part and then it's fine, it's good, it's pretty close. So let's change the software, rewrite it for this chipset by this chipset and install it and keep producing cars. And that's very different from all the others. It's also the supply chain and that's why I say if you do something extraordinary, which is not easy to copy, then that's a big advantage over the others.

Matéo: Yes, of course, it's a big advantage. And what do you mean by Industry 4.0? You mentioned it, but maybe you can tell us a bit more about it.

Joachim: Industry 4.0 enables organisations to manage individual expectations on a large scale and to make profits. Today we are talking about hyper-customisation. So we are talking about the customer, a customer landscape that demands more and more complexity in terms of product, product range, services and so on. I want to be treated as an individual customer and individuality is against mass production. So if I want to produce individual demands at scale and remain profitable. Then I can't run faster, I can't do the same thing running faster. I can't process 100,000 T-shirts in the same way as $100 * 1000$ T-shirts. I will exhaust my profits because of the complexity. Industry 4.0 creates a digital twin of the physical organisation that allows me to manage complexity at scale and make a profit.

Matéo: Okay and what are the current impacts of this?

Joachim: There are actually four steps to implementing Industry 4.0 in organisations. They are called connect, collect, process, predict. So the first part of the journey is to connect your physical organisation, whatever you think of that physical organisation, to the digital expression, the digital twin. You create an absolute copy, as absolute as possible, you create a digital copy of your physical organisation. This means that you connect people, you connect machines, you connect processes and you connect products. These four layers can be connected to the digital twin of the organisation, so that you build a digital copy, you literally manage two organisations, one that you can touch and look at and the other, invisible, which is the digital expert. So that's the first part of this journey which is called Connect. You connect everything you can see, think and feel about this digital twin. The second part is called Collect. You start collecting information about your physical organisation, throughput, time, organisation set-up, skill levels, efficiency, failures, mistakes, results, etc. There are millions of interactions and information. Now comes the process part. The process allows you to reason, to transform the lake of data into information. For example, I start to collect data on the interactions between the machine and the human and, after a while, I understand how the machine and the human work together. This gives me ideas that can be turned into management actions. The fourth part, the predictive part, is when I have done the previous three parts, I can look into the future and make predictions saying to myself that if in the last six months people, machines, products and processes were working in this way, then probably if I change this part or that part, I can do a simulation and predict the future results. I can start optimising my organisation, my physical organisation with my digital twin and I can predict what will happen. Or I can predict what should not happen, when it comes to, for example, failures and mistakes. I don't know if you

know *Minority Report*, the movie *Minority Report*. But it is really important to understand what I am saying here. *Minority Report* is a science fiction film with Tom Cruise who is a police officer and there is a police organisation that can predict crime. And Tom Cruise is the protagonist who works in this organisation. But the basic idea is that since I can predict what's going to happen, I can prevent it from happening. So the process is to give me a glimpse of the future so that I can take countermeasures before it happens. For example, if I know from historical data that every Tuesday at three o'clock you make a mistake. Then I can make sure that every Tuesday in the future at three o'clock someone is watching you. And you won't make that mistake again. Thanks to my simulations, I can predict what will happen and I can take countermeasures, i.e. improve, for example, the quality of the results, the downtimes, etc. Now you ask me about value. There are several touch points with Industry 4.0 today. One of them is maintenance management, which is about avoiding downtime during working hours, for example. If I measure the data of a machine and every time it is down, the temperature in the machine rises by 2 degrees. If I see that on Thursday, I won't wait for it to break down, but I will tell the mechanics at the weekend: you are going to maintain this machine. So that's also the pre-crime story. You measure the data, the interaction between the physical and digital twin of your organisation to make predictive maintenance decisions. And the reason you do that is because you want to have zero downtime during working hours. Because when everyone around you is waiting, it's terrible. Imagine you're in a line of 30 people, your machine breaks down and you're the second machine in the line. The 28 people behind you are going to be fired because their efficiency goes down too, bonuses go down, output goes down, and a lot of other financial things because your machine is down. If I can understand the machine before, it will never break down during working time. It can break down on Saturday night, and I'll service it on Sunday. So that's one part. Another part is optimization. Optimising the interaction of machines and people in the sequence, you know, if I understand how people work with machines, then I can also measure people against each other and I can optimise your work to your best skills and the skills available. And I can do that at scale as a group leader, I can do that with my 20 people. I look at the data and I can do it, but if I have a factory of 2000 people, I can't know what 2000 people are doing. But a digital twin can. So intelligent line balancing, for example, turns those four layers into one algorithm and optimises line balancing. Okay, Mateo is not in the right space, he should be working in this space and I know he needs training for that, so we're going to put him for a fortnight in the training centre and then he's going to work there because it optimises the overall production of this company. That's something that Industry 4.0 can do that traditional management can't do, because you don't have enough data

and connections to do it yourself. You also have an automatic kanban system. You never run out of raw materials because the shelf knows, thanks to sensors, that I am running out of raw materials, and it automatically orders the replenishment of raw materials. But of course there are many other examples.

Matéo: Okay and if we think about the impacts of Industry 4.0 on supply chain competitiveness, what would they be?

Joachim: The competitiveness of the supply chain is based on availability costs and on-time delivery. So if I have enough sensors in my trucks, in my containers, in my products, and if I have enough access to information about ships, boats, trains and so on, I can optimise my flow. I can optimise the loading of the trucks, I can optimise my timing, I can optimise my on-time deliveries and my availability, I can build a Kanban system, I can avoid downtime of my transport fleet. If I am directly connected to my customer, I know exactly what he needs, where and when, and I can then optimise it. These are all levels of supply chain optimisation and competitiveness. I give you a very practical example and you can read it. You should read it on the website. You should look it up. It is about Rolls-Royce aerospace. I was recently invited to speak at the Rolls-Royce aerospace global developers' conference. They were talking about Industry 4.0 and all of those aspects, how they impact their organisation. You probably know that Boeing and Airbus buy a lot of Rolls-Royce engines. And these engines need constant maintenance, right. That's why the planes run for 30 years without stopping, they just need an hour on the ground, so they run constantly. Now, what they do is make sure that these engines are always working, so the maintenance of the engines is done by the Rolls Royce people. And the spare parts for these engines are made on the basis of the data they collect during the flights of the engines. They know what's going on with the engine on every aircraft, all over the world, at every moment. But what they don't know is that they don't know the airline's flight plan. So, for example, if you have an aircraft whose engine needs servicing, and today that aircraft is in New York, you don't know whether you have to deliver those spare parts to the Canary Islands or to Shanghai. You don't know because you don't have the flight plan for that plane. But this airline expects you to service this engine once, in the right place. So it's an incredible challenge for them to think about who's going to fly where and when and how do I make sure I have enough spare parts for maintenance when it's needed. They're already 98% of the way there and they're still not happy. They do a lot of predictions and they have processed terabytes of data, but they are still aiming for 99%. And that's what makes a supply chain successful, if

you deliver something to your customers in such a way that they can't even think about how you're doing it, you'll always stay in business. And that is only possible with information. No one could ever predict what is going on without that information.

Matéo: Nice example! But now if we go further into Industry 4.0, what are the different technologies that characterise this revolution in your opinion and what are the characteristics of all these technologies?

Joachim: Yes. So, again, going back to the basics connect, collect, process and predict. Connecting is the first element, the IoT, the Industrial Internet of Things. We talk about sensors, we talk about sensor boxes, we talk about cameras. We talk about all kinds of information gathering devices. We are connecting people by interacting with tablets, we are connecting parts with RFID tags, for example, which go to automatic readers. We connect containers and ships with GPS sensors that report where I am, who I am, what I am doing, where I am, etc. It's also about including the new means of connection which could be for example 5G. We talk about enterprise 5G, I buy frequencies, I have my own 5G. We talk about edge computing, we talk about Wi-Fi 6 connecting factories and devices and connecting people and processes. So that's the connection part. The Collection part, as I just said, is mostly about transport. So we are increasingly entering a wireless world. This means that more and more cables are becoming superfluous. We are talking more about sensors. And here we have high-frequency sensors, low-frequency sensors, some provide data in seconds, some in minutes or hours, some collect information and only send it after a few hours, some are always on... So this is the collection part. We collect a lot of information with the appropriate devices, then we save it either on the tram, on site, or we process it in the edge computing, then we send it for prediction to the cloud. And this is all part of data processing, which is now very often done in the cloud. The reason for this is very simple, it's because the cloud allows you to move data in and out as you go. It's much easier for you, you don't buy hardware, you just buy capacity. The cloud gives you a lot of opportunities in terms of optimising your costs against your processing needs. And then we get into the predictive part. This is all about machine learning and AI. So you have intelligent software, MES systems, ERP systems, PLM systems, supply chain tracking systems, a global tracking system. The whole world of AI and software.

Matéo: OK, that's clear. The next question is perhaps too difficult to answer, as there are many possibilities, but let's check it out. For each technology, what are the current impacts on supply chain competitiveness?

Joachim: The thing is, few people really understand the value of data. They think that as long as I can see where my container is, I'm happy. But the interest is not whether the container is there, the interest is actually to optimise the transport costs, which means I want that container to be as fast as possible, as full as possible. So the collection and pick-up part is something that people can understand. They invest in technology and GPS sensors and so on, but the processing part allows them to manage their daily lives. It's also something that people understand, you know, how to run my truck. But the forecasting part is not really understood. The value of seeing the future, doing simulations and avoiding costs that will never appear is also very difficult for financiers to understand. I had many discussions at Hugo Boss with my colleague in finance, because when we were doing a project on quality, for example, we wanted to avoid mistakes by predicting what would happen. Now, if I predict that you are going to make mistakes next Wednesday and I run a simulation so that you don't make mistakes, how can I measure that you would have made a mistake next Wednesday.

Matéo: Good question.

Joachim: Do you understand me? If you talk to the financiers, they want to see numbers on the mistakes that are happening. Now, go to this pre Crime Story of this minority report thing, if you're avoiding something that's going to happen, there's no proof. So for example, I asked my colleagues at Fiances, I need 100,000 euros for this software to avoid errors and he said on what basis? and I said because we want to avoid errors. So he looked at the data, the historical data, because finance people always look once and he was like, yeah, you're constantly reducing errors by 3-5% a year, now you're reducing them by 5% a year. How can you tell me that was caused by the software and not because people paid more attention? So that prediction part, like working with something that has an impact in the future and justifying that, understanding the value of that, is really complicated. We see a fly in the sky, then 2 flies, then many flies, hundreds of flies. How could this happen? There is a reason for this, because they are constantly reproducing new flies and it explodes. The same thing applies in our thoughts, we can't look at it that way. We can't see it, but the simulations can. So Industry 4.0 is both an opportunity and a burden, because you get so much information that people don't trust it. They

used to say, "Can you look into the future? Yes, in a way, yes. There is a good film you can watch, which also emphasises this point. It's called The Short Story and it's about someone who predicted the downfall of the financial crisis. It really shows that if someone can see this and start to dive into this data and say, wait a minute, if we put this and this and this together, this would be the result, not this one. And nobody believed him, you know. Nobody. They wanted to fire him. And then he became the Superstar, made hundreds of millions of dollars.

Matéo: There are a lot of films I need to watch! Now, if we take another look at the issue, which countries are most and least likely to benefit from Industry 4.0? And why?

Joachim : I guess the countries that will benefit the most of industry 4.0 will be the developed countries. And the reason for this is simply because they have outsourced a lot of manufacturing capacity to lower wage countries. But because of time constraints and rising complexity and the problems of the global supply chain, for a couple of years now there is a discussion about near shoring. But if you go for production in developed countries then the wages are critical, so the more you can automate the lesser this is a cost issue. Next in line will be developing countries that want to upgrade their production and flexibilize their production. They will upskill the people and be able to handle more complex products in the same low cost price range. Robotics on getting ever cheaper and also software becomes a commodity. With these price decreases automation is also interesting for lower wage countries.

Matéo: And where do China, the US and Europe stand in relation to this?

Joachim: The connection between the US and China is symptomatic for this. Even Tesla is investing more in the US and not in China anymore. And also other brands are doing the same. So China production will probably be more for domestic use and they will follow the same path.

Matéo: So yes, the next question is how do you see the future of Industry 4.0?

Joachim: The future of Industry 4.0 is certainly 5.0, but it will take at least another ten years for people to deeply understand 4.0. And the reason is, as we said before, people can see visible things, they can recognise sensors, you know, they can see that my phone has a sensor, my phone is a navigation system, it's connected somehow. So people can understand something

tangible, but they can hardly understand something intangible and it will take a few pioneers to be so successful that even the majority of latecomers will say they don't understand it, but they know it works. At that point they will also be part of that dynamic and they will install and implement something that they don't understand, but somehow it works for them and that's good. That's going to be the next point for version 5.0, I mean people are already working on that right now. So over the next year we'll have this transformation of people still running on optimization and others already thinking about how we can save our planet, how we can be more circular, how we can avoid waste, how we can be more circular in our product range and reuse, recycle, reuse, etc.

Matéo: Okay and the last question is: what will be the future impacts of Industry 4.0 on the competitiveness of the supply chain?

Joachim: That's what I just said, I mean, when more people start understanding the forecasting part, then it will be much easier. I would say that we have 70-80% of the information available today and we have no idea what to do with it. And when we start to have clues that will definitely improve the supply chain, it will turn into a globally optimised supply chain. I give you the example of Toyota. Toyota was a just-in-time fanatic because of operational excellence. Toyota's lean principles are famous, and everyone wants to avoid the seven wastes, one of which is of course inventory. So they were desperate to get everything just in time. Then Fukushima happened in 2011 and everything fell apart, you know 60% of Toyota's production was shut down in 10 years. Just-in-time was over, there was no more just-in-time because the factories were, I mean, things weren't working. That turned into a total change in their inventory management behaviour. First of all, what they did was they generalised and standardised the products. Everything that is invisible has to be standardised so that I can get it from anywhere on this planet. I don't care if that battery casing or whatever comes from the United States, Mexico, China or South Africa, because it's so standardised that I can use it literally anywhere. I then set up a minimum inventory that will also save me downtime and production losses. It has changed the way they work with information and it has changed the way their supply chains work. Everyone in the supply chain has realised that this just-in-time and stripping to the max is a dangerous game. Because our world is not stable.

Matéo: Okay, that's the end of this interview. Thank you very much for all this information. I don't know if you have anything to add?

Joachim: No, I mean like I just said, you should try to find your way through history with the past, present and future, try to find what is worth digging deeper and what is maybe not worth digging anymore because you can just bypass it because it will change anyway. There's a saying "don't invest in tomorrow's museum", which means that if you know something is going to disappear in two years, don't start the project now.

A.3. Entretien - Sean Culey

Matéo: So the first question is very classical, can you introduce yourself in a few words and in terms of your professional and educational background ?

Sean: Yes, of course. My name is Sean Culey, I'm an expert in supply chain transformation and I'm also a recognized thought leader in the field of business transformation, specifically in supply chain technologies and disruptive technologies. I'm the author of *Transition Point*, which is quite a big book. It's about why are we going through such a period of disruption at this particular time? It's an investigation into the nature of technological change, its causes and the types of technological change in this particular wave. I'm an schoolmaster instructor and also a member of Cranfield University where I teach supply chains, focusing mainly on, I guess, Industry 4.0. I'm also, you know, an advisor to various supply chain executives. I sort of guide them through their digital supply chain transformation programmes. I've worked with companies like SAP, for example, and I spent more time working with SAP in the 90s and 2000s. I've also been a marketing manager for a supply chain and analytics software company. So yes, a variety of different roles for a variety of different things. I write a lot of articles and I'm also, I guess, best known now, probably because of my book, for being a top speaker. I give talks around the world, as I have for the last ten years, on disruptive technologies and the nature of change.

Matéo: What is your experience with Industry 4.0?

Sean: I have been speaking and writing about what is known as Industry 4.0 for about ten years and I am used as an advisor to a number of companies on this topic, including the UN. I have

also worked for a Silicon Valley company at the forefront of one of the areas of Industry 4.0 which is decision intelligence.

Matéo: Thank you. Thank you very much for all this. You have an impressive career, and I can't wait to start the real interview. So, what do you mean by Industry 4.0? If you have to give a definition.

Sean: Well, Industry 4.0, the fourth industrial revolution and so on, is a sort of catch-all phrase used to represent the new wave of disruptive technologies. So it's a set of technologies and tools that allow organisations to rethink the way their supply chain is structured and rethink the way it works.

Matéo: OK, that's clear. And so, yes, you talked about the different technologies, the disruptive technologies, what are the different technologies that characterise Industry 4.0?

Sean: When I wrote my book, I described the different technologies in terms of what I called the triple whammy. The first whammy is the ability of tools to replace human labour, physical labour, it's the automation of muscle. So there's a whole range of technologies, from collaborative robots to autonomous vehicles, to drones. You know, even agricultural robotics, these kinds of things that effectively replace the use of people's hands. They've been used all along the supply chain. There are autonomous vehicles, which are not just autonomous cars, but autonomous tractors, autonomous ships, sometimes aeroplanes, autonomous drones. You know, when we talk about robotics, it's not just robotics in the factory, it's robotics in the field, it's robotics in the warehouse. You know, there's a whole range of different technologies coming back, making machines smarter and more flexible. The second whammy is the automation of knowledge workers. It's actually machine learning, different types of artificial intelligence. And this combines with the first whammy because it gives them this level of intelligence. And it's sort of automating a lot of the knowledge work. So it involves things like robot automation of processes. It involves things like blockchain, digital assistants like chat bots. It involves things like machine learning, planning systems and advanced planning systems. It involves digital intelligence, decision intelligence, all these kinds of internal functions. And in the third whammy, the hands and brains of the machines are expected to be totally united, which involves a whole range of different things. First of all, it's a method of communication that allows you to connect. You talk about 5G and 6G technologies that enable

the Internet of Things. It's about the number of smart devices in all areas, from industrial to consumer components, that can start to communicate with each other, enabling the creation of what are called digital twins. We are able to create a future representation of the physical world that allows people to use tools like mixed reality and virtual reality to create virtual representations of physical objects. There are also other tools coming up, such as quantum computing, which is a very advanced computing technology. So there's a whole series of technology cells working together, connecting to each other, creating huge baseline data and leading to other technologies like massive data analytics and those kinds of things that make it all possible. So it's not just one technology, it's multiple technologies, some of them are physical, some of them are based on machine learning, algorithmic, and all of them are merging to create this revolution, this 4th industrial revolution.

Matéo: It's like a big connected world.

Sean: Yes, exactly. I've written a few articles about it if you want to have a look.

Matéo: Okay, okay. Yeah, sure. Maybe we can discuss this later to continue the interview. So the next question which is not directly related to Industry 4.0 but rather to the supply chain is: what are the key attributes that make an organisation's supply chain competitive? So, for example, cost, lead time, availability, etc.

Sean: I think there is one. It's the ability to deliver what the customer wants, when they want it, where they want it, in a cost-effective way, with maximum efficiency and effectiveness. In some cases that may require a very lean supply chain strategy. If you have a very commoditised product, you are looking for a very lean supply chain strategy. If you have a very volatile product, you might need a very agile strategy. You know, if you go agile, that means you're probably going to have a lot of inventory, so the ability to manage inventory very efficiently and have it in the right place at the right time is going to be a very crucial competitiveness. So yes, it is absolutely crucial to define competitiveness in terms of the strategy in place. This is an area where most businesses struggle. They generally have a one-size-fits-all sorted model, they tried to be everything to everyone and they, you know, they pulled different strategic levers at different points in time. Everybody was streamlining their supply chains, coupling their costs, outsourcing and offshoring to places like China to Vietnam, places where the labour was very cheap to try and minimise the cost of the supply chain, which created a low cost supply chain

and they were saying it was competitive because it was cheap. But the reality is that it's not very responsive, not very agile and very fragile. And now, suddenly, when the global demand is very uncertain, that lack of agility and fragility has become very bad for these organisations, making them very uncompetitive. So what they used to think of as competitiveness is suddenly not competitive anymore because the market has changed. So I would define supply chain competitiveness as the ability to meet the needs of customers in the market conditions they are in.

Matéo: And so what are the current impacts of Industry 4.0 technologies on supply chain competitiveness?

Sean: I think it allows them to better predict demand deviations. It burns through all the deviations provided by the inspector, which allows them to model the implications of decisions before they are made. It allows companies to spot problems before they become major ones. It allows them to look for patterns in large amounts of unstructured data, which they were not able to do before. It allows them to use automation to free up, do things like outsource manufacturing close to where the consumers are to reduce supply chain delays. It allows them to manufacture at lower costs than they used to produce around the world using human labour. It allows them to do a whole range of different things. The challenge for most companies is that they don't yet know what they want to do. Because they are not clear on their strategy, and that's where I spend a lot of time. One of the challenges for companies is that they are using Industry 4.0 technologies and applying them to the old Industry 3.0 model. No change where it is a real thing, there should be a transformation in the way they think in the way they act, not just a transformation in the process. They are still using it to be more efficient, not necessarily to be more effective.

Matéo: Okay ! Now, if we take another look at the issue, which countries are most and least likely to benefit from Industry 4.0? And why?

I would say that the countries most likely to benefit from industry 4.0 are those involved in the development of it, and whose citizens can benefit from the jobs and industries it creates. Another thing is the ability to educate and train the next generation to have the skills needed to develop and utilise industry 4.0 tools which is also very important, which again leads towards the industrialised nations. And the least likely to benefit are probably those who are most likely

to be disrupted by it - emerging nations without the capacity to be involved in its development, but finding that western and Chinese companies use these tools to remove the reliance on humans, which minimises the need for their low-cost labour that these countries are relying on (i.e. data entry replaced by RPA / blockchain, manufacturing by automation / collaborative robots etc.)

Matéo: You've mentioned China but where the US stand in relation to this?

China, the US and Europe obviously play pivotal roles in this, having both innovators capable of working with them, and consumers wealthy enough to warrant that investment. China has a particular advantage because its political system doesn't require asking its citizens for permission before proceeding, not worrying about the impact on existing businesses. They can just provide the investment needed to make it happen. However, there is the risk that they may waste a lot of money by making big bets at the wrong time or on the wrong technology. US and Western Europe are placed to play pivotal parts if they can overcome internal resistance and ensure that there are more winners than losses from the transition.

Matéo: What do you think of the level of implementation of Industry 4.0 in Europe and the UK, for example?

Sean: Very bad. I mean, if you look at robotics, for example. I think Britain is 24th in the world. It's the fifth largest economy in the world, but it's 24th in terms of robot adoption. South Korea is by far the most advanced nation in this area. Germany is significantly ahead of the UK, China is trying to catch up significantly. They are, currently 10th in the world, but they are able to be the most advanced in terms of robotics, in terms of how companies use digital tools. I think everyone has a digital transformation project, but most people don't know what they want to transform into. Which is a big challenge, so I think there's a huge room for improvement.

Matéo: Okay, and on that basis, how do you see the future of Industry 4.0?

Sean: Well, I think the future is more adoption, more adoption and obviously more progress in the tools. One of the scary things that most people realise after my talks is that these tools are progressing at a rate that most people don't understand. Once we invented the self-driving car, the self-driving car didn't really change. No. You still have the same thing. But these machines

used in artificial intelligence are progressing significantly, so they're able to make better and better predictions, they're able to see trends in more and more precise volumes, they're able to get smarter, and they're also able to do something that we've never seen before. That is to replace not only human jobs, but almost all human capabilities, i.e. they can see, hear, speak, translate, show as well as being able to think, they show things like common sense, you know, that kind of thing. The future of the supply chain is what I call the power supply chain. It's going to be personal, it's going to be automated and it's going to be local. And all of that is true. And I think the power supply chain is also a much better sustainable supply chain. You will use these tools to make only what you need, when you need it, using only the materials you need, and increasingly those materials will be sustainable. And the supply chain will be increasingly circular. Products will be designed to be reused and not thrown away at the end. So I think the energy supply chain will become more and more sustainable.

Matéo: Oh yeah, just a last question, do you have any examples of industries in which industry 4.0 are well implemented?

Sean: I'm thinking of fast-moving consumer goods. Specifically in terms of thinking differently about how they run their business. Organisations like Unilever, for example, are realising that they can change not just the efficiency of their process, but even change the whole process of the business, and they are realising that they have to be, for example, much more agile and they can use these tools to be much more agile. Whereas before, they were spending a lot of money trying to improve the accuracy of forecasts, for example, to try and be more accurate. They realised that every dollar spent on agility gives them ten times more than every dollar spent on accuracy. So the results are very interesting. So I think the FMCG sector is more because the digital revolution has changed the way we consume products and the expectations of customers. We want things now almost the same day. We want to be able to order when we want. We want to be delivered to different locations, not even just to the retail shop, but to our home, maybe in a smart locker, maybe in the trunk of our car. So the complexity of this supply chain has increased dramatically. The volume of products is huge, so you know they've had to adapt. All organisations have struggled, I think, the car industry for example. I think they are struggling with Industry 4.0. Some of the older, more traditional ones are really struggling to unlearn their own ways of working, so some industries are, you know, the challenges are not learning the new way, but actually learning the old way. Some of the older companies are struggling to do that.

Matéo: OK. Thank you very much. I think I've answered all my questions. The interview was really clear and useful. I don't know if you have anything to add or ask.

Sean: Yes, I would like to add something about what makes a supply chain competitive. It is the ability to predict and respond to changing needs in order to make optimal choices for them. Don't you have to react to deviations in demand or supply in a way that is not profitable, not desirable? That's one of the things that. Industry 4.0 allows them to make more and better choices.

A.4. Entretien - John Baruch

Matéo: Can you introduce yourself in terms of your educational and professional background?

John: My name is John Baruch. I graduated from the University of London many years ago in astrophysics. I did a PhD in astrophysics studying the impact of cosmic rays on the hydron collider. My work on cosmic rays involved predicting what would happen to the Large Hydron Collider when it came on board. I then continued my research in these areas and slowly moved into more traditional astronomy, studying variable stars. I then transferred from Leeds, where I spent nearly 25 years doing all this. Then I transferred to Bradford to lead a team building robotic telescopes, and we built the world's first autonomous robot. That job had 160,000 users a year and the telescope operated in the Canarian Islands, 3000 km from our base, for many years, 20 years. So I was head of department. This work with the robotic telescope led me to education and research on how we can provide education to 160,000 school children. The original idea of the robotic telescope was to complement all the satellite measurements that were being done to give another way in, but once we did that, a lot of people started doing the same thing, so there are a lot of robotic telescopes. The whole point was to allow children to use and learn astronomy, to get them into innovation, creativity and to get them into science. So I did that for a long time and then I retired and I was hired as a visiting professor at the University of Leeds and at two Chinese universities. And I'm also working with a university in Tanzania, where I'm doing parcel work. So, after retirement, I am still extremely busy. Physics, writing papers and that sort of thing.

Matéo: What is your experience with industry 4.0?

John: The way I approached the fourth industrial revolution was actually the challenges that the Chinese and others were asking themselves. Industrialists around the world were asking what kind of education we needed for the fourth industrial revolution. That's what got me working on this issue and we organised the first international workshop on education for the fourth industrial revolution in Beijing two or three years ago. And we are going to organise another one in Britain with the Parliament's scientific committee. Also, I was involved with the automotive industry because they were particularly interested in autonomous vehicles and how you can build autonomy into vehicles that actually work by themselves. We have a lot of experience with the Canary Islands robot on how to make it safe and make it autonomous. You need to know what's wrong, so that you can multiply things and get rid of the failure points. So that's me. Yes, I'm retired now.

Matéo: What do you understand by industry 4.0?

John: Well, the fourth industrial revolution is essentially the end of people. We're robotizing more and more now, we're taking control of how people process information and turning it over to computers, so that people are no longer information processes of any kind. So the question is how we are going to see it. In good ways and bad ways, we see it with people like Amazon and a lot of employers who are setting up computer-driven work processes where they expect human beings to move according to what they tell them to do, whether it's Amazon or Uber. They're very focused on intelligence, intelligence in quotes, taking the management operations out of what's going on. So that's one thing we're seeing. And I think the big thing that will strike people the most is self-driving vehicles. We already have trucks driving on the highway from coast to coast in the US. People can pick them up, they can go and lie down in the autonomous truck. We're really talking about self-driving cars, buses, trains and planes. I mean, we could actually drive the planes autonomously these days but the plane operators really don't want to do that. You put the pilots in a hangar somewhere in the world and let them run the planes from there. You've had a number of plane crashes where pilots have gone mad, things have happened with the mental state of the pilots and we've lost a number of people like that. There's only one where you wonder if an automatic system would have been more effective. That was the flight to New York, which landed on the river because it hit a flock of geese, the engines stopped and the pilot landed the plane. This is the only case that is unclear,

as the robot would probably have acted faster than the pilot. Anyway, autonomous vehicles are a very important phenomenon that I think will have an impact and raise all sorts of questions about how we move around. We already have a number of self-driving buses in different countries around the world, including China. And that's because buses go back and forth on the same route all the time. So I think these are the big questions.

Matéo: My next question is what are the different technologies that characterise industry 4.0 and what are their features?

John: Well, the main thing is this ability to learn what people have done in the past, it's called artificial intelligence. I mean, we said we can teach you how to play chess but showing that it's a reasonably simple thing becomes very, very difficult. When you call companies these days, most of the time you're talking to bots, a lot of websites allow you to talk to bots. And these bots are clearly very limited in what they're able to do, but they're getting better all the time. So one of the challenges of Industry 4.0, a really big challenge, is that many managers don't know how to use it properly. They use it as a management tool to control workers. It's really a dead end and there's no way out. A much better way, which we see some companies adopting, is to use workers to develop new technologies and use staff to bring in and suggest new technologies. In fact, they have an agreement with them that the benefits are shared. So you just tell the staff that if you bring in a new technology, it will reduce your hours with the same pay. The alternative is that the staff are fundamentally opposed to the new technology. The only people who can really do anything about it are the people at the top. So we see companies going over the edge basically because management is totally unable to see what needs to be done. There are quite a few companies that are basically stuck in the tram lines, unable to talk to their employees or make agreements with them. And so they end up going over the cliff.

Matéo: OK. OK. I don't know if you're familiar with supply chain management. Are you a little bit?

John: Not familiar in terms of actually doing things with it. But of course I'm aware of it. What they do, they put things together. And so the supply chain organisations are extremely important. And so that's really a point. There are two things happening with vehicles: they're going electric, which changes the supply chain a lot in all sorts of ways. They're also becoming autonomous and the technology is evolving so that you'll have a network around the vehicle,

so that everything from lights to indicators is just a position on the network and you won't have wires or switches on the dashboard to do anything. All these things will be connected to the network, which will make building cars very different. Also, 3D printing is becoming more and more usable, especially for vehicle maintenance. In terms of the supply chain, well, it goes back to the work we were saying before, I mean you have more and more autonomous vehicles that will provide the different components for the supply chain. The manufacturing of the components will again benefit from companies that really involve their staff in what they are doing and make sure that the workforce benefits from their suggestions for the development of new technologies. Because companies that do this will take over from those that don't. Because the fourth industrial revolution is very powerful, probably even more powerful than the first. So the amount of work and hours that people have to put in will be reduced by being innovative and creative.

Matéo: The reason I ask about the supply chain is because one of my questions and the subject of my thesis is about supply chain competitiveness. So if we assume that the attributes that make a supply chain competitive are cost, lead time, which is the time between the customer order and the delivery of the goods. Thirdly, the quality of the product of course, and the customisation power, does the customer have the possibility to customise the product? And finally, the availability, is the product available in the shop? Based on this, I would like to know what would be the impacts of Industry 4.0 on these attributes?

John: In general, many things will happen across the sector. New technologies will use new computers, new materials, new tools and new methods. The challenge for most of these companies is the intelligence of the supply chain to respond to these technologies. And this brings us back to what I was saying earlier about their attitude and staff involvement. Those who say that all their employees are a team to produce what they are trying to produce will start to outperform those who don't because they will be able to introduce new technologies more effectively, on a much broader basis than those who are just waiting for the CEO to notice what's going on in the new technologies. There are so many of them that the directors alone are not going to be able to do it.

Matéo: Ok, so how do you see the future of industry 4.0?

John: It will completely dominate society and what we do. People will see it. In terms of transport, especially cars and buses, trains and planes. On the other hand, countries that have embraced it positively and where governments are involved, their workforce will work fewer hours and be much happier, more innovative and creative, unlike those who take the Amazon approach (using technology as a management tool to make people run faster).

Matéo: Do you think that Britain and Europe have a good level of Industry 4.0 implementation compared to other countries?

John: Well. China is basically following what others are doing. I have visited universities and they work very hard there. In Germany, trade unions and workers are represented on the board of directors, which is very good. And that means that they are open. They have a door that can be opened to involve the workforce more in innovation and creativity. The big issue is innovation and creativity, especially within the workforce, because people who work from the outside don't really know the problems of the company. So Germany is strong and in a good position to do that. So is Belgium, so are the Dutch, so are some of the Scandinavian companies and France, but Britain is not. I mean Britain is doing it wrong. They think that the board knows what is best for the company. But the reality of Industry 4.0 is that what's most valuable is the creativity, the innovation of your people, because they know what you're doing, they know exactly how things work, which many boards don't. So I think if I look at the countries, we see efforts in that direction in Singapore, in Japan, in South Korea where they are working very hard and also in China. In China, I have the impression that they are trying to establish links with the universities, but they are not sure what to do with the unions.

Matéo: Okay, thank you. So yes, that's the end of the interview, I don't know if you have anything to add or ask. Feel free to say anything you want.

John: The most dangerous things in technology are what is happening in Ukraine. The increase of war situations using robots, that's not right. And then the other urgent thing is really to start using new technologies to observe the climate and how to get much more information. For example, what countries are doing to decarbonise the atmosphere. Ukraine is a bad thing, but what we are talking about is decarbonisation, which can have a much bigger effect in terms of refugees, poverty and hungry people, how countries are able to feed their populations. And I think Industry 4.0 can have a huge impact by using data, by taking into account what's going

on, where the carbon is coming from, by involving people and telling them what they can do, it's really, really important for your generation and your children.