

L'Innovation par les outils Industrie 4.0 : Analyse et Mesure de performance

[Innovation By Industry 4.0 : Analysis and performance review]

Mehdi EL HASNAOUI and Naima EL HAOU

ISO (Ingénierie Scientifique des Organisations), Ecole Nationale de Commerce et de Gestion, Université Hassan II, Casablanca, Maroc

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Companies in the digital age are facing multiple challenges to meet the need for growth and production becoming more and more specific and personalized [Caroll and Booth, 2015]. Currently, industrialization is marked by the transition to fourth industrial revolution, called Industry 4.0. This development offers enormous opportunities for both companies and consumers, with unique and original production processes and customer experiences. This article will introduce the concept of industry 4.0 based on recent developments in research and practice, then we will do a summary analysis of the perception of 4.0 among companies, and finally examine whether companies that focus on innovation by Industry 4.0 tools show better performance in terms of productivity, by building a quantitative model of analysis, through the use of survey data on global investments in technology information and the transition to industry 4.0 from 32 major multinational companies listed on the stock market. Our findings link innovation through the use of 4.0 tools and business performance.

KEYWORDS: Industry 4.0, Innovation, Performance, Productivity.

RÉSUMÉ: Les entreprises à l'ère du digitale, sont confrontées à une multitude de défis afin de répondre au besoin de croissance et de production devenant de plus en plus spécifique et personnalisé [Caroll and Booth, 2015]. Actuellement, l'industrialisation est marquée par le passage à la quatrième révolution industrielle, appelée Industrie 4.0. Ce développement offre d'énormes possibilités aussi bien pour les entreprises que pour les consommateurs, avec des procédés de production et des expériences clients uniques et originales. Cet article introduira le concept d'industrie 4.0 basé sur les développements récents en matière de recherche et de pratique, ensuite nous ferons une analyse sommaire de la perception du 4.0 chez les entreprises, et enfin examinerons si les entreprises qui mettent l'accent sur l'innovation par les outils de l'industrie 4.0 affichent des meilleures performances en terme de productivité, cela par la construction d'un modèle quantitatif d'analyse, à travers l'utilisation des données d'enquête sur les investissements globaux dans les technologies de l'information et le passage à l'industrie 4.0 de 32 grandes entreprises multinationales cotées en bourse. Nos résultats d'établir un lien entre l'innovation par l'utilisation des outils 4.0 et la performance de l'entreprise.

MOTS-CLEFS: Industrie 4.0, Innovation, Performance, Productivité.

1 INTRODUCTION

La conjoncture actuelle marquée par une mondialisation accrue de plus en plus complexe, mais surtout en constante mutation, a poussé les entreprises à innover d'avantage, à produire plus rapidement, de façon plus personnalisée et à moindre coûts, tout cela en opérant une optimisation des flux et des stocks afin de pouvoir rester compétitive. Dans ce contexte, la création de valeur industrielle dans les pays industrialisés est actuellement marquée par le passage au quatrième stade de l'industrialisation, connue sous le nom de l'Industrie 4.0. Cette évolution (ou révolution) faisant suite à la troisième révolution

industrielle amorcée au début des années 70, qui se basait principalement sur l'électronique et les technologies de l'information ce qui a permis de réaliser des niveaux très élevés d'automatisation de la fabrication [1] donnant comme résultat une production de masse, et des coûts de production en baisse.

Actuellement, l'évolution vers l'industrie 4.0 a eu une influence considérable sur l'industrie de manière générale. Ce concept reposant essentiellement sur la mise en place d'usines intelligentes, de produits intelligents et de services intelligents intégrés dans un Internet des objets et de services (Iot), basé sur l'investissement en infrastructures informatiques, également appelé Internet industriel [2], formant la base de toute évolution vers le 4.0. De plus, il est à noter que de nouveaux modèles commerciaux sont apparus causant une perturbation structurelle quant aux modèles classiques de création de valeurs au sein des structures industrielles évoluant vers les concepts 4.0 [3].

D'autre part, La théorie de l'information [4] et de traitement informatique des organisations [5] suggèrent qu'une information plus précise devrait faciliter une plus grande utilisation de l'information dans la prise de décision et de ce fait, un meilleur rendement des entreprises. Il y a de plus en plus de preuves que cette relation est bien vraie, au moins dans des situations spécifiques [6]; [7] Dans ce cadre, la donnée ou la Data, occupe désormais une place particulièrement centrale dans ces nouveaux modèles de production 4.0. En effet, les possibilités de collecte de données en dehors des systèmes opérationnels ont considérablement augmenté. Les smart phones, les véhicules, les systèmes d'automatisation d'usine et d'autres dispositifs sont couramment instrumentés pour générer des flux de données sur leurs activités, rendant ainsi possible un domaine émergent de « l'extraction de la réalité » [8]. Les fabricants et les détaillants utilisent des étiquettes RFID par exemple pour suivre les articles individuels tout au long de leur parcours dans la chaîne d'approvisionnement. Ils utilisent également les données fournies pour optimiser et réinventer leurs processus métier. De même, les recherches par mot-clé et les données par clic collectées sur les sites Web génèrent une multitude de données, rendant visibles le comportement du client et les interactions client-entreprise sans avoir à recourir à des groupes de discussion coûteux ou à des études du comportement du client [9]

Toutefois, la question de prise de décision dans l'ère 4.0 se trouve désormais au centre de tout le concept, car l'Intelligence Artificielle (IA) et la machine Learning, ont permis un passage d'un ère où les outils informatiques et technologiques étaient destinés principalement à l'aide à la prise de décision, à un autre où ce sont ces mêmes outils qui prennent des décisions, cela grâce au développement technologique des outils d'analyse et de traitements des données [10] Dans ce contexte, l'IA, la Machine Learning et le Deep Learning deviennent les précieux alliés des entreprises qui leur permettront de simuler, de prévoir et de prendre les bonnes décisions. Ils sont devenus essentiels pour les éditeurs d'ERP (Entreprise Resource Planning) et autres MES (Manufacturing Execution System), car cela constitue désormais de vrai accélérateur de performance pour les utilisateurs finaux. Par ailleurs, le développement d'ERP « communicants » a permis aux entreprises de disposer des moyens d'améliorer leur capacité de veille économique, de superviser leur ligne de production en temps réel, de réaliser de la maintenance préventive & prédictive depuis pratiquement n'importe où, constituant une des mailles les plus importantes de l'industrie 4.0, ou encore la gestion délocalisée, synchronisée et en temps réel des moyens de production [11]

L'objet de ce papier, est l'étude du lien existant entre l'infrastructure IT à la base des Outils de l'Industrie 4.0 pour l'innovation (matérialisé par la variable IOI40) et la performance des entreprises, ce qui permettra d'apprécier le potentiel économique relatif au passage à la quatrième révolution industrielle. Cette variable ayant été construite par la combinaison des mesures obtenues à partir d'une enquête auprès de 32 entreprises multinationales cotées en bourse avec des informations financières publiques et des données privées sur leurs investissements globaux dans les technologies de l'information et le passage à l'industrie 4.0. Ensuite nous ferons une analyse sommaire de la perception du 4.0 chez les entreprises, enfin nous effectuerons une analyse, à travers un modèle quantitatif, sur les relations existantes entre la variable construite IOI40 et la productivité de ces entreprises.

2 INDUSTRIE 4.0 : INNOVATION ET CHAÎNE DE VALEUR

L'industrie a connu dans l'histoire plusieurs stades de développement. La plus grande révolution industrielle a eu lieu au 18ème siècle et était liée à la transition de l'économie basée sur l'agriculture, la fabrication et la production artisanale vers la production mécanique dans les grandes usines. Le 19ème siècle était l'âge de la vapeur et de l'électricité, appelé la deuxième révolution industrielle. Les autres années de développement intense ont été la période qui a suivi la Seconde Guerre mondiale et qui se poursuit jusqu'à nos jours, avec un développement scientifique et technique majeur. Les éléments les plus importants de cette troisième révolution industrielle comprennent essentiellement l'informatisation, l'utilisation de nouvelles sources d'énergie, l'automatisation des processus de travail, ainsi que l'amélioration des moyens de télécommunication et de transport [12] D'ailleurs l'un des changements les plus marqués survenus dans les usines de l'après-guerre a été la mise en œuvre de la planification des besoins en matériaux (MRP) par l'équipe de Joseph Orlicky [13] mais aussi le Lean Manufacturing, initié par Taiichi Ohno et Eiji Toyoda dans des usines automobiles Toyota [14].

Concernant l'Industrie 4.0, la recherche a démontré qu'il y a en fait principalement trois business modèle type [15] Le premier étant une société entièrement automatisée, dans laquelle la rentabilité est la plus importante. Cette solution est appliquée aux produits de masse avec un nombre limité de groupes de produits. Le deuxième modèle est caractérisé par une personnalisation avancée de la production. Le fonctionnement de ces sociétés repose ainsi sur la satisfaction des besoins individuels des clients, la production étant réalisée en petits lots, alors que les produits sont hautement individualisés et livrés pour des commandes particulières, on trouve dans cette configuration une très grande variété de produits. Le troisième business model sont les e-usines, axées à la fois sur l'individualisation et les opérations à distance. En fait, ces entreprises opèrent à petite échelle et produisent des quantités limitées de produits. Elles sont orientées vers de faibles dépenses d'investissement afin de maintenir la compétitivité des coûts.

Cependant, Industrie 4.0 ne se réfère pas seulement aux changements au niveau des usines, mais également à la distribution et aux achats. General Electric insiste sur le rôle de l'intégration de machines et d'appareils physiques complexes avec des capteurs et des logiciels en réseau, utilisés pour prévoir, contrôler et planifier l'amélioration des résultats commerciaux et sociétaux [16]. D'ailleurs, l'industrie 4.0 peut être considérée pour l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement et peut être définie comme la somme de toutes les innovations et les mises en œuvre dans une chaîne de valeur pour faire face aux tendances de numérisation, autonomisation, transparence, mobilité, modularisation, collaboration réseau et socialisation de produits et des processus [17]

L'Industrie 4.0 peut aussi désigner un terme collectif pour technologies et concepts de l'organisation de la chaîne de valeur [18], Or d'après des recherches documentaires menées, les plus importants se résume à : Systèmes Cyber-physiques (CPS), Internet des objets (IoT), Usines Intelligentes et Internet des Services [18] Cependant, Pour [17] l'Industrie 4.0 est quelque chose de plus, distinguant plus de 60 technologies liées à ce concept. Tous peuvent être divisés en quatre groupes [19]: (1) données et connexion, (2) analyse et intelligence artificielle, (3) interactions homme-machine [20] et (4) parc de machines automatisé.

D'autre part, il est important de souligner que l'une des technologies les plus rapides utilisées dans l'industrie 4.0 est l'IoT (Internet of Things). C'est en fait la capacité indirecte ou directe des objets à stocker, traiter, partager ou échanger des données à l'aide de connexions réseau [21] [22] L'avantage est que cette technologie n'est pas centrée sur l'usine, et son application est particulièrement visible dans la distribution, cela principalement dans le service à la clientèle et l'utilisation d'objets.

Les modèles commerciaux créés à l'aide de la technologie IoT sont complètement différents des modèles traditionnels. Ils démontrent une rupture avec les flux de valeur conventionnels orientés linéaires pour créer des valeurs au sein d'un réseau d'unités. Cela signifie que lors de la définition des modèles commerciaux, l'accent est mis sur l'ensemble de l'écosystème, y compris une chaîne d'approvisionnement, plutôt que sur une seule entreprise, afin que toutes les parties impliquées améliorent leurs processus dans le but de maximiser les avantages pour les clients finaux. [23]

D'autre part, il est à noter que les idées principales d'Industrie 4.0 ont été publiées pour la première fois par KAGERMANN en 2011 [24] et ont jeté les bases du manifeste d'Industrie 4.0 publié en 2013 par l'Académie nationale allemande des sciences et de l'ingénierie (acatech) [1]. Au niveau européen, le partenariat public-privé (PPP) pour les usines du futur (FoF) aborde et développe des thèmes liés à l'industrie 4.0 [25]. Le contenu d'Industrie 4.0 aux États-Unis est mis en avant quant à lui par l'Industrial Internet Consortium (ICC) [26].

Le paradigme de l'industrie 4.0 repose essentiellement sur trois dimensions [3, 27, 28]: (1) une intégration horizontale dans l'ensemble du réseau de création de valeur, (2) une ingénierie de bout en bout tout au long du cycle de vie du produit, ainsi que (3) l'intégration verticale des systèmes de fabrication en réseau.

L'intégration horizontale sur l'ensemble de la chaîne de création de valeur décrit l'utilisation des outils numériques intelligents au sein de l'entreprise tout au long du cycle de vie d'un produit, mais aussi au sein du cycle de vie d'un même produit [27]. L'ingénierie de bout en bout quant à elle, décrit le suivi et la numérisation intelligentes tout au long du cycle de vie d'un produit : depuis l'acquisition de la matière première au système de fabrication, puis à l'utilisation du produit et finalement à la fin de vie du produit [27].

L'intégration verticale et les systèmes de fabrication en réseau décrivent la numérisation intelligente au sein des différents niveaux d'agrégation et de hiérarchie d'un module de création de valeur à partir de stations de fabrication via des cellules, des lignes et des usines de fabrication, en intégrant également les activités de chaîne de valeur associées telles que le marketing et la vente ou encore le développement technologique [27]. On trouve aussi que l'utilisation de l'outil numérique intelligent couvre l'application d'une solution de bout en bout utilisant les technologies de l'information et de la communication intégrées dans un Cloud.

Dans un système de fabrication, l'interaction intelligente est réalisée par l'application de ce qu'on appelle les systèmes Cyber-physiques (SCP), qui fonctionnent de manière auto-organisée et décentralisée [27, 28, 29]. Ils sont basés sur des composants mécatroniques intégrés, c'est-à-dire des systèmes de capteurs appliqués pour la collecte de données ainsi que des systèmes d'actionneurs permettant d'influencer les processus physiques [28]. Les SCP sont intelligemment liés les uns aux autres et échangent en permanence des données via des réseaux virtuels tels qu'un cloud en temps réel. Le cloud lui-même est implémenté dans l'internet des objets et des services [27]. Faisant partie d'un système sociotechnique, le SCP utilise en fait des interfaces homme-machine pour interagir avec les opérateurs [30].

3 ENVIRONNEMENT INDUSTRIE 4.0 : APPROCHES MACRO ET MICRO

La perspective macro de l'industrie 4.0, couvre en fait l'intégration horizontale ainsi que la dimension technique de bout en bout de l'industrie 4.0. Cette visualisation repose sur une vision liée au cycle de vie du produit en les plaçant au centre des réseaux de création de valeur de l'Industrie 4.0.

L'intégration horizontale du point de vue macro est caractérisée par un réseau de modules de création de valeur. Ces modules sont définis comme l'interaction entre différents facteurs de création de valeur, c'est-à-dire l'équipement, les ressources humaines, l'organisation, le processus et le produit [31]. Les modules de création de valeur, représentés dans leur plus haut niveau d'agrégation par des usines, sont réticulés tout au long de la chaîne de valeur complète du cycle de vie d'un produit, de même qu'on ce même type de modules dans des chaînes de valeur de cycles de vie de produits adjacents. Ce lien conduit à un réseau intelligent de modules de création de valeur couvrant les chaînes de valeur des différents cycles de vie des produits. Ce réseau intelligent crée un environnement propice aux nouveaux modèles commerciaux innovants et conduit donc actuellement à une refonte des stratégies commerciales dites classiques [31].

Quant à l'ingénierie de bout en bout dans cette même perspective macro, elle est plus considérée comme un croisement entre les parties prenantes, les produits et les équipements tout au long du cycle de vie du produit, en commençant par la phase d'acquisition de la matière première et en se terminant par la phase de fin de vie [32]. Les produits, les différentes parties prenantes (les clients, les travailleurs ou les fournisseurs, ...), ainsi que les équipements de fabrication sont intégrés dans un réseau virtuel et échangent des données durant les différentes phases du cycle de vie d'un produit. Ce cycle de vie comprend la phase d'acquisition de la matière première, la phase de fabrication - comprenant le développement du produit, l'ingénierie du système de fabrication associé et la fabrication du produit - la phase d'utilisation et de service, la phase de fin de vie - contenant la réutilisation, la re-fabrication, le recyclage, la récupération et l'élimination - ainsi que le transport entre toutes les phases [31].

Ces modules de création de valeur, c'est-à-dire les usines incorporées dans ce flux omniprésent de données intelligentes, évolueront pour devenir des usines dites intelligentes. Les usines intelligentes fabriquent des produits intelligents et sont alimentées en énergie par des réseaux intelligents [30]. Le flux de matières au cours du cycle de vie du produit et entre les cycles de vie adjacents sera réalisé par une logistique intelligente. Le flux de données intelligentes entre les différents éléments des réseaux de création de valeur d'Industrie 4.0 est échangé via le cloud [28].

Les données intelligentes naissent d'une structuration judicieuse des informations à partir de big data, qui peuvent ensuite être utilisées pour faire avancer les connaissances et prendre des décisions tout au long du cycle de vie du produit [32]. Les usines intelligentes utilisent des systèmes Cyber-physiques (SCP) intégrés pour la création de valeur. Cela permet au produit intelligent d'auto-organiser ses processus de fabrication requis et son flux dans toute l'usine de manière décentralisée en échangeant des données intelligentes avec la SCP [33].

Le produit intelligent contient les informations sur ses exigences pour les processus de fabrication et les équipements de fabrication. La logistique intelligente utilise le SCP pour prendre en charge le flux de matières au sein de l'usine et entre les usines, les clients et les autres parties prenantes [29]. Ils sont également contrôlés de manière décentralisée en fonction des exigences du produit, un réseau intelligent adapte ainsi de manière dynamique la production en partant des fournisseurs jusqu'aux consommateurs finaux.

La perspective micro de l'industrie 4.0, quant à elle, couvre principalement l'intégration horizontale ainsi que l'intégration verticale dans les usines intelligentes, mais elle fait également partie de la dimension d'ingénierie de bout en bout [29].

L'usine intelligente en tant que module de création de valeur au niveau d'agrégation le plus élevé contient différents modules de création de valeur aux niveaux d'agrégation inférieurs, tels que les lignes de fabrication, les cellules de fabrication ou les stations de fabrication. Le réseau intelligent ainsi que le système de gestion de l'usine intelligente devront être en mesure de répondre aux exigences dynamiques en matière d'approvisionnement et de production [34].

L'intégration horizontale de la perspective micro est caractérisée par les modules de création de valeur tout le long du flux de matériaux de l'usine intelligente intégrant également la logistique intelligente [29]. La logistique entrante et sortante depuis et vers les usines dans le cadre de la logistique intelligente sera caractérisée par un matériel de transport capable de réagir avec agilité aux événements imprévus tels qu'un changement de trafic ou de conditions météorologiques et pouvant fonctionner de manière autonome entre le point de départ et la destination finale. Des équipements de transport fonctionnant de manière autonome, tels que des véhicules à guidage automatique (VGA), seront utilisés pour réaliser le transport interne le long du flux de matières. Tous les équipements de transport échangent des données intelligentes avec les modules de création de valeur afin de réaliser une coordination décentralisée des fournitures et des produits avec les systèmes de transport [30]. À cette fin, les fournitures et produits contiennent des systèmes d'identification, par ex. Puces RFID ou codes QR. Cela permet une identification et une localisation sans fil de tous les matériaux de la chaîne de valeur.

L'intégration verticale et les systèmes de fabrication en réseau du point de vue micro décrivent l'articulation intelligente des facteurs de création de valeur : produit, équipement et ressources humaines, ainsi que les différents niveaux d'agrégation des modules de création de valeur depuis les stations de fabrication via des cellules et des lignes de fabrication jusqu'à l'usine intelligente [31]. Cette mise en réseau à travers les différents niveaux d'agrégation comprend également la liaison croisée des modules de création de valeur avec les différentes activités de la chaîne de valeur, par exemple : marketing et vente, service, achats, etc. [35].

Le module de création de valeur d'une fabrique correspond à un système Cyber-physique intégré (SCP). L'équipement de fabrication, par exemple Les machines-outils ou les outils d'assemblage utilisent des systèmes de capteurs pour identifier et localiser les facteurs de création de valeur, tels que les produits ou les êtres humains, ainsi que pour surveiller les processus de fabrication, par ex. les processus de découpe, d'assemblage ou de transport. En fonction des données intelligentes contrôlées, les actionneurs appliqués dans l'équipement de fabrication peuvent réagir en temps réel à des modifications spécifiques du produit, des processus ou des processus [28]. La communication et l'échange de données intelligentes entre les facteurs de création de valeur, entre le module de création de valeur et l'équipement de transport, ainsi qu'entre les différents niveaux d'agrégation et les différentes activités de la chaîne de valeur en cours d'exécution via le cloud.

4 MESURER L'IMPACT DE L'INNOVATION PAR LES OUTILS DE L'INDUSTRIE 4.0

4.1 PRODUCTIVITÉ

La littérature sur la mesure de performance de l'outil IT étant la base de l'innovation par les outils de l'industrie 4.0, utilise un certain nombre d'approches différentes afin de mesurer la contribution marginale de ces avancées technologique par rapport aux autres intrants, cela en prenant en compte d'autres facteurs liés aux entreprises, par exemple au secteur ou au temps [36] Notre objectif sera ainsi de déterminer la contribution marginale de l'IOI40 sur la performance des entreprises.

Cette variable IOI40 sera capturée par une variable d'indice (standardisée à la moyenne 0 et à la variance 1) qui rend compte de la position d'une certaine entreprise par rapport aux autres entreprises observées, et qui peut être intégrée directement à diverses régressions de mesure du rendement.

La mesure de la performance la plus couramment utilisée dans cette littérature est la productivité multifactorielle, calculée en rapportant une mesure de la production de l'entreprise telle que les ventes ou la valeur ajoutée, à des intrants de l'entreprise tels que le capital (K), le travail (L) ou encore le capital ou le travail en IT en particulier (IT) [37]

Différentes relations de production peuvent être modélisées avec différentes formes fonctionnelles, mais l'hypothèse de forme fonctionnelle la plus courante est la fonction de production de Cobb-Douglas, qui fournit une relation entre les intrants et les extrants, compatible avec la théorie de la production économique [38]. Le modèle est généralement estimé dans des données de panel au niveau de l'entreprise à l'aide de variables de contrôles tel que l'industrie et l'année, et les intrants sont généralement mesurés sur une échelle logarithmique. Les résidus de cette équation peuvent être interprétés comme la productivité de l'entreprise après comptabilisation des contributions de tous les intrants (parfois appelée « productivité multifactorielle » ou « résidu de Solow ») [38] L'inclusion additive de facteurs supplémentaires dans cette équation peut alors être interprétée comme des facteurs « expliquant » la productivité multifactorielle et interprétée directement comme l'effet marginal du facteur sur la productivité de l'entreprise. Cela donne l'équation d'estimation suivante :

$$\text{Log (Sales)} = \beta_0 + \beta_1 \text{Log (m)} + \beta_2 \text{Log (k)} + \beta_3 \text{Log (ITE)} + \beta_4 \text{Log (Non-ITE)} + \beta_4 \text{Log (IOI40)} + \text{control} + \varepsilon$$

Où m est le matériel, k le capital physique, ITE le nombre d'employés en informatique, Non-ITE le nombre d'employés non informatiques et IOI40 est notre variable décisionnelle basée sur les données. Les contrôles incluent le secteur et l'année de démarrage de l'activité. Pour aider à exclure certaines explications alternatives de nos résultats, nous incluons également la tendance exploratoire de l'entreprise et son capital humain, tels que l'importance de la formation d'un employé typique et du salaire moyen de l'employé.

L'analyse est basée sur un panel de cinq ans (2014-2018) comprenant un seul échantillon de données IOI40 observées en 2019 (question portée sur les données de 2018) et dont les résultats seront appliqués à toutes les années de notre panel.

4.2 LA VARIABLE IOI40

La variable Innovation par les Outils Industrie 4.0 [IOI40] sera construite suite à la réponse au questionnaire à travers les éléments : (1) L'utilisation de l'analyse big data pour l'innovation et la création des produits, (2) L'utilisation de l'IA et du Machine Learning pour la prise de décision dans la société et (3) L'utilisation de l'IoT pour la connexion et la gestion des objets pour l'ensemble de la chaîne de valeurs.

Ensuite, Nous avons construit IOI40 en normalisant chaque facteur avec une moyenne de zéro et un écart type de 1(STD), puis en normalisant la somme de chaque facteur :

$$IOI40 = \frac{STD_1}{\sum STD_i} (L'usage\ de\ l'analyse\ big\ data\ pour\ l'innovation\ et\ la\ création\ des\ produits) + \frac{STD_2}{\sum STD_i} (utilisation\ de\ l'IA\ et\ du\ Machine\ Learning\ pour\ la\ prise\ de\ décision\ dans\ la\ société) + \frac{STD_3}{\sum STD_i} (L'usage\ de\ l'IoT\ pour\ la\ connexion\ et\ la\ gestion\ des\ objets)$$

4.3 ENDOGÉNÉITÉ DE IOI40

Toutes les méthodes de performance ci-dessus doivent être interprétées comme des corrélations conditionnelles plutôt que comme des relations de cause à effet ou reposant sur l'hypothèse que IOI40 est exogène en ce qui concerne la performance de l'entreprise. Pour les besoins de la présente étude, bien que l'approche puisse limiter la pertinence de notre analyse, on trouve que plusieurs études ont suggéré que le biais sur au moins les investissements en IT en général du fait de l'endogénéité n'est pas grand [39]

La littérature sur l'innovation par des technologies de l'information étant à la base des outils 4.0 utilise généralement trois types d'approches pour traiter directement les problèmes d'endogénéité. Premièrement, les chercheurs peuvent faire valoir des arguments temporels en incluant des valeurs décalées par rapport à d'autres variables d'entrée [36]; [40] ou en examinant les différences de performances avant et après la mise en production d'un système plutôt que lorsque l'investissement est en place [37]; [41]

Deuxièmement, les méthodes économétriques qui reposent sur des instruments internes dans les données de panel (telles que les estimateurs d'Arellano et Bond, ou de Levinsohn et Petrin) peuvent être utilisées pour contrôler l'endogénéité en supposant que les variations des niveaux d'investissement antérieurs ne sont pas corrélées aux performances actuelles. Cependant, ces deux approches reposent sur une variation temporelle significative des variables d'intérêt et ne peuvent pas être facilement appliquées à notre contexte car nous avons une seule observation transversale de IOI40. Cependant, nous sommes en mesure de suivre les approches plus traditionnelles des variables instrumentales, dans lesquelles les chercheurs spécifient un ensemble de facteurs (instruments) qui déterminent la demande de facteur endogène mais ne sont pas corrélés avec la composante de performance non observée.

Dans des travaux antérieurs, les chercheurs ont utilisé des mesures de la composition des IT (niveau de la digitalisation de l'entreprise) et de l'ancienneté globale du dit capital au sein d'une organisation [42], en supposant que ces facteurs déterminent la capacité d'adaptation d'une entreprise, et que leur infrastructure digitale suit l'évolution de ses besoins. Ces travaux [39] tentent de mesurer plus directement les coûts d'ajustement ou l'inertie organisationnelle liés aux infrastructures digitale [[43]; [44]] cela en développant une échelle prenant en compte les facteurs inhibant les investissements IT tels que le support de la direction ou la culture organisationnelle, et ont utilisé cette échelle comme un instrument supplémentaire.

À ces instruments existants, nous pouvons ajouter des instruments supplémentaires qui peuvent être particulièrement utiles pour expliquer la variation transversale de l'IOI40. Des travaux antérieurs ont spécifiquement lié l'expérience de l'organisation, opérationnalisée à l'âge de l'entreprise, à l'inertie de l'organisation [45]; [46]; [47]; [48]; [49]. Selon cet argument, les entreprises les plus jeunes sont plus susceptibles d'adopter de nouvelles innovations telles que l'analyse commerciale ou d'autres technologies sous-jacentes à la IOI40, ce qui conduit à une corrélation négative entre IOI40 et l'âge de la société (ce qui est observé dans nos données).

Pour réduire la possibilité que notre instrument soit invalidé par une corrélation entre la productivité induite par l'innovation et l'âge de l'entreprise [50] nous incluons des contrôles de l'activité d'innovation lorsque cet instrument est utilisé. Il est également possible que IOI40 ait une corrélation avec la productivité due à l'apprentissage sur le tas [51]; [52]; [53]; [54] Toutefois, cela produirait une corrélation positive entre l'âge et la productivité des entreprises. Ainsi, tout biais résultant de l'utilisation de cet instrument réduirait probablement l'effet observé de l'IOI40, rendant les résultats plus conservateurs.

Un autre facteur de demande potentiel pour IOI40 est le degré de cohérence des pratiques commerciales. Les entreprises sont notamment en mesure de tirer profit de la valeur des innovations liées aux technologies de l'information et aux outils 4.0 [55] car elles peuvent répliquer les bonnes pratiques dans l'ensemble de l'entreprise. Ceci est motivé par l'observation selon laquelle les informations [56] ou les informations spécifiques sur les pratiques innovantes [57] ne sont pas rivales et sont donc plus utiles à une échelle plus importante. Ainsi, les entreprises qui ont démontré leur capacité à déployer des pratiques commerciales communes dans un grand nombre d'unités d'organisation sont probablement des utilisateurs plus efficaces de IOI40, et donc plus susceptibles d'avoir investi dans le développement de capacités IOI40 que des entreprises aux pratiques commerciales disparates.

Ainsi, notre ensemble d'instruments peut comprendre des concepts utilisés dans la littérature antérieure, tel que les obstacles à l'adoption de l'innovation par les technologies de l'information [38] ainsi que de nouvelles mesures de l'âge de l'entreprise et de la cohérence des pratiques commerciales. D'ailleurs, ces concepts passent les tests de validité des instruments empiriques normaux [38] démontrant ainsi que les relations d'observation entre IOI40 et la performance sont robustes face aux préoccupations concernant la causalité inverse.

5 RÉSULTATS ET ANALYSES

5.1 ANALYSE PRÉLIMINAIRE

5.1.1 PROCÉDURE DE L'ENQUÊTE AUPRÈS DES ENTREPRISES

L'enquête auprès des entreprises (sélectionné selon le classement Gartner) a été réalisée entre septembre et octobre 2019. Les enquêtes ont été menées sous forme de 32 enquêtes en ligne sur Internet. Parmi les entreprises sélectionnées figuraient à la fois des fournisseurs Industrie 4.0 et des utilisateurs d'Industrie 4.0. L'enquête en ligne visait à examiner et à illustrer une base d'estimations et d'opinions sur le sujet d'Industrie 4.0. Cette étude est particulièrement utile dans la mesure où elle combine une analyse quantitative et des opinions sur la thématique issue du sondage sur la thématique particulière de la performance.

Concernant l'enquête, elle était en fait divisée en quatre blocs comportant chacun de quatre à onze questions détaillées, on citera notamment :

AUTO-ÉVALUATION ET TECHNOLOGIES:

Comment évaluez-vous l'importance d'Industrie 4.0 pour votre entreprise aujourd'hui et à l'avenir ?

Comment votre entreprise utilise-t-elle déjà l'infrastructure technique Industrie 4.0?

INDUSTRIE 4.0 COMME DÉFI, OPPORTUNITÉ ET RISQUE:

Dans quels domaines voyez-vous des défis, des opportunités et des risques dans votre entreprise ?

Pour quels sujets souhaitez-vous un support technique externe ?

Exigences relatives aux compétences du personnel et aux infrastructures :

DE QUELLES COMPÉTENCES VOS EMPLOYÉS ONT-ILS BESOIN DANS LES DOMAINES OPÉRATIONNEL ET ADMINISTRATIF?

Dans quelle mesure êtes-vous satisfait des connaissances de vos stagiaires et diplômés par rapport à Industrie 4.0?

Quel est l'impact financier de l'investissement Industrie 4.0 sur votre budget IT ?

INNOVATION OUTIL INDUSTRIE 4.0 :

Dans quelle mesure est-ce que l'utilisation de l'analyse big data pour l'innovation et la création des produits a-t-elle impacté vos anciens processus ?

De quelle manière est-ce que l'utilisation de l'IA et du Machine Learning a-t-elle impacté la prise de décision dans la société ?

Comment est-ce que L'utilisation de l'IoT (Internet des objets) pour la connexion et la gestion des objets a-t-elle modifié votre chaîne de création de valeur ?

Le sondage en ligne a été mené avec la plupart des questions sous forme de sélection à choix multiple. Les participants ont reçu plusieurs réponses pré-formulées parmi lesquelles il fallait choisir, pour chaque question.

5.1.2 APERÇU DES PARTICIPANTS

Les 32 participants au sondage en ligne ont été divisés en 5 secteurs différents. Les industries comptant le plus grand nombre de participants étaient "les entreprises technologiques" et "les industries" (voir la figure 1). En termes de taille, les petites et moyennes entreprises (PME), ainsi que les grandes entreprises, étaient représentées. Parmi les répondants, se trouvaient des professionnels et des cadres supérieurs.

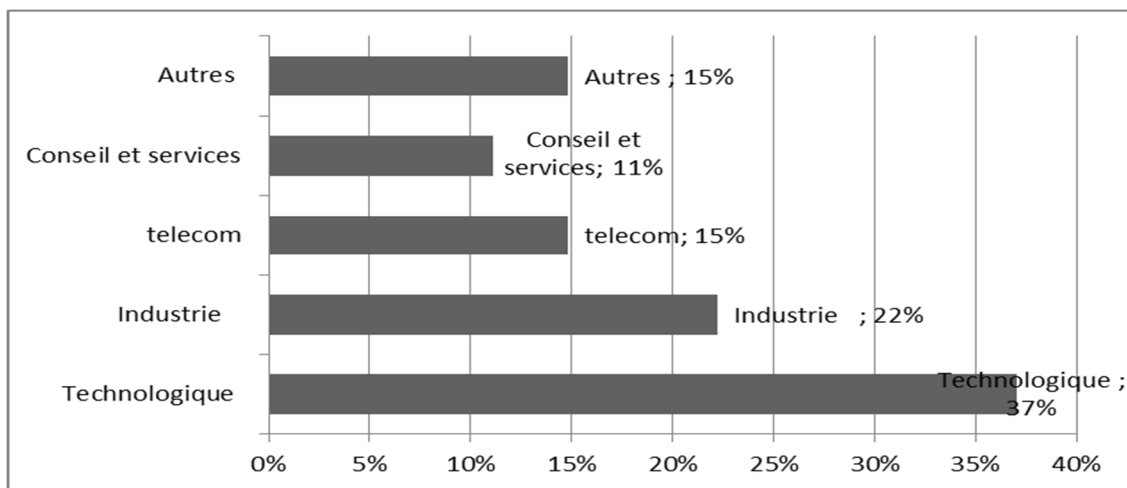


Fig. 1. Répartition de l'échantillon

5.1.3 LA MISE EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLE ET LE DÉFI COMPLEXE DE L'INDUSTRIE 4.0

À l'heure actuelle, une entreprise sur quatre traite déjà la question de l'Industrie 4.0 lors de décisions stratégiques. Cependant, cela reste extensible avec presque autant d'entreprises. Cela vaut en particulier pour la mise en œuvre opérationnelle, car une partie des participants à l'étude n'avaient pas d'idée précise de la façon dont Industrie 4.0 pourrait être mise en œuvre de manière concrète au sein de la société.

La présente étude a révélé que les coûts découlant des défis d'Industrie 4.0 sont considérés comme plus complexes à l'avenir qu'aujourd'hui (voir la figure 2). Les entreprises interrogées ont confirmé pour Industrie 4.0 un large éventail de technologies possibles, qui se distinguent par une grande diversité de fonctionnalités et de solutions possibles en raison de la diversité des fournisseurs. Une dynamique élevée de la vitesse de développement est ajoutée. Pour les entreprises interrogées, il est difficile de garder une vue d'ensemble complète, ce qui conduit à moins de transparence.

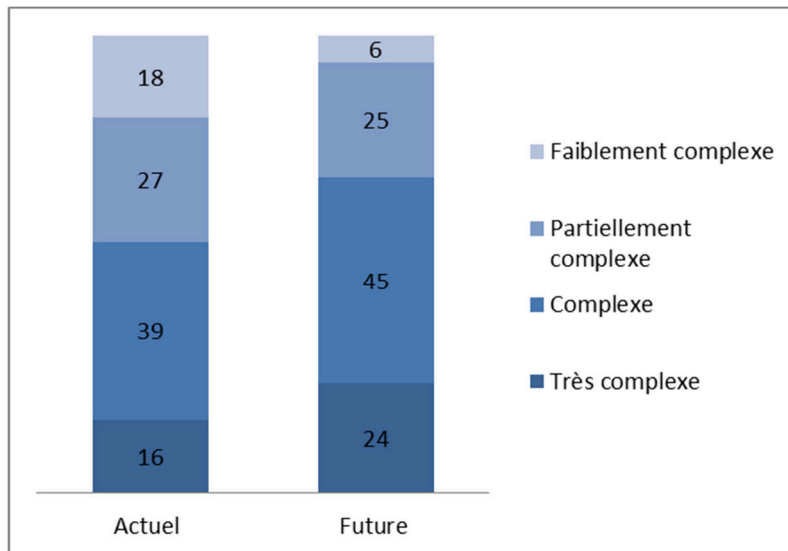


Fig. 2. Revue des nouveaux défis de l'industrie 4.0 pour l'entreprise

5.1.4 LE FORT POTENTIEL DU CLOUD COMPUTING ET DU BIG DATA

Les nouvelles technologies de l'Industrie 4.0 suscitent chez les entreprises un vif intérêt. En effet, on trouve que l'attention porte principalement sur le cloud Computing, l'Internet des objets (IoT) et ses applications, mais aussi et surtout le Big Data. Le potentiel du cloud et du Big Data commence à être institutionnalisé dans les échanges bilatéraux entre les entreprises, car de nombreuses sociétés de divers secteurs peuvent tirer parti du cloud Computing, des applications du Big Data et des données en temps réel. Outre l'industrie manufacturière, cela comprend principalement les industries du commerce, de la logistique et du logiciel. D'où l'intérêt pour le cloud Computing qui est très large. Ici aussi, on peut supposer un potentiel élevé quant aux avantages de ces technologies.

5.1.5 DÉFIS DE L'INDUSTRIE 4.0

Dans le questionnaire, les défis, les risques et les opportunités de l'Industrie 4.0 avaient une signification centrale. Car le constat est que les défis d'Industrie 4.0 sont difficiles à appréhender par les entreprises. Cependant, ces défis ont une forte influence sur l'utilisation future possible de l'Industrie 4.0 [58]. On trouve ainsi que les entreprises voient que les défis de l'Industrie 4.0 s'inscrivent dans le même ordre de difficulté que ceux connus dans l'approche dite classique. Neuf défis au total sont considérés comme pertinents [58], à noter que ces défis ont de fortes interactions mutuelles (voir figure 3).

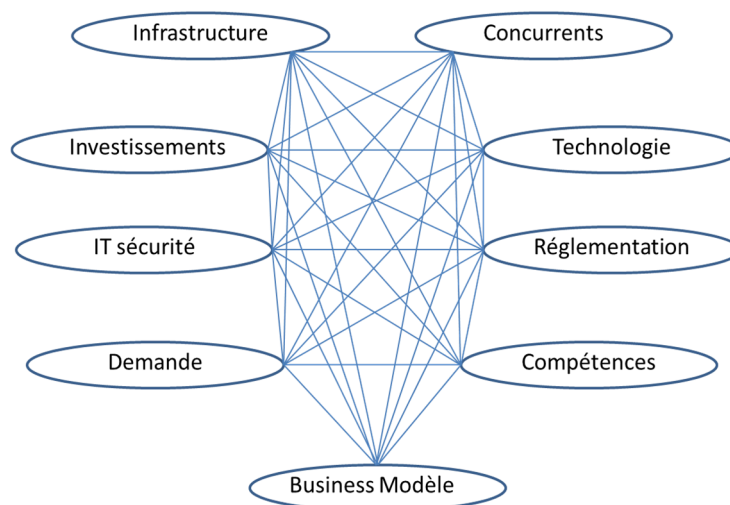


Fig. 3. Challenges de l'industrie 4.0

5.1.6 OPPORTUNITÉ ET RISQUES DE L'INDUSTRIE 4.0

La distinction entre fournisseurs et utilisateurs est particulièrement intéressante dans les déclarations des participants concernant les opportunités offertes par Industrie 4.0. Les utilisateurs voient les objectifs de production classiques, avec une augmentation de l'efficacité, de l'efficience et de la flexibilité comme le potentiel le plus important. Pour les fournisseurs, le potentiel le plus important réside dans le développement de nouveaux modèles commerciaux.

En plus de la complexité interne croissante, la plupart des entreprises voient dans Industrie 4.0 un gros risque lié à la hausse des coûts d'investissement, elles ne voient pas en outre le risque majeurs est que leurs produits et services actuels deviennent obsolètes suite au passage à l'Industrie 4.0.

Les entreprises interrogées voient également des risques si le contrôle de la production d'Industrie 4.0 pouvait être temporairement perdu. Surtout pour les systèmes complexes, le risque d'accident est très élevé. Quelques entreprises sondées ont en effet souligné qu'au pire, ce n'est pas un seul produit qui sera impacté, mais bien des milliers de produits défectueux seront fabriqués. D'autres perçoivent un risque majeur dû au niveau de stress croissant pour les employés, résultant d'un environnement de travail de haute technologie. Cependant, pour l'ensemble des entreprises sondées, c'est plutôt une sécurité informatique insuffisante qui est identifiée comme la plus grande source de danger et est donc considérée comme le risque le plus important.

5.2 RÉSULTATS

5.2.1 PRODUCTIVITÉ

Les résultats descriptifs de nos variables sont présentés dans les tableaux 1. Les différentes mesures ayant été saisies sur des échelles de Likert à 5 points avec une moyenne de l'ordre de 3-4 et un écart type d'environ 1. Lorsqu'elles sont formées en échelles, les variables de contrôle pour le secteur et l'année de démarrage de l'activité semblent être assez cohérentes en interne, ce qui correspond au coefficient alpha de Cronbach de 0,69 et 0,77 respectivement. La mesure IOI40 montre un alpha de Cronbach de 0,58, ce qui est cohérent avec le fait que les entreprises peuvent poursuivre certains aspects de l'IOI40 (comme l'utilisation de données pour développer de nouveaux produits) indépendamment des autres. La distribution de la IOI40 est quelque peu positive ; le mode dans l'histogramme de IOI40 est supérieur à sa moyenne (voir Figure 4).

Tableau 1. Descriptif statistique des variables

Variable	Moyenne	Ecart-type
Log(Sales)	7.76	0.90
Log(m)	7.18	1.02
Log(K)	6.26	1.64
Log(Non -ITE)	8.70	1.05
Log(ITE)	5.15	1.22

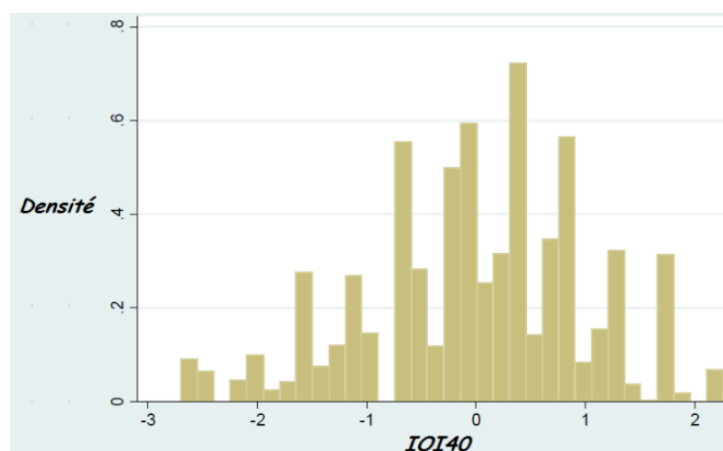


Fig. 4. Distribution de IOI40

Concernant la corrélation conditionnelle entre les éléments constituant de notre variable construite IOI40 et les deux principales mesures en matière d'industrie 4.0. On retrouve alors une corrélation de 0,145 entre le personnel informatique (ITE) et IOI40, et de 0,110 entre l'Investissement IT et IOI40 (voir tableau 2).

Tableau 2. Corrélation entre IOI40 et IT (employé et Investissement)

	ITE	IT invest
IOI40 (Moyenne des trois variables suivantes)	0,145 (p<0,05)	0,130 (p<0,1)
(1) L'utilisation de l'analyse big data pour l'innovation et la création des produits	0,13 (p<0,1)	0,086 (p<0,01)
(2) L'utilisation de l'IA et du Machine Learning pour la prise de décision dans la société	0,10 (p<0,1)	0,17 (p<0,05)
(3) L'utilisation de l'IoT pour la connexion et la gestion des objets pour l'ensemble de la chaîne de valeurs	0,11 (p<0,01)	0,05 (p<0,01)

On constate alors une faible corrélation entre l'IOI40 et les principales mesures en matière d'infrastructure technologiques à savoir les employés et le budget d'investissement, on peut en déduire sommairement que la corrélation entre IOI40 et l'IT était forte, il serait impossible de distinguer les effets de performance des deux variables.

Les principaux résultats concernant la relation entre IOI40 et la productivité sont issus d'une régression multiple groupée (voir tableau 3). Les erreurs sont regroupées par entreprise afin de fournir des estimations cohérentes de l'erreur standard des mêmes entreprises dans le temps :

La première colonne (1) présente une estimation de base de la contribution des outils 4.0 à la productivité au cours de notre panel de 2014 à 2018. L'estimation du coefficient de mesure de l'IT (nombre d'employés en IT) est d'environ 0,056 (t = 2,8, p < 0,01), ce qui est globalement cohérent avec les résultats d'études précédentes [39].

Dans la colonne (2), nous avons inclus notre variable construite IOI40, et l'estimation du coefficient sur IOI40 est de 0,046 (E. Std. = 0,02, p < 0,01), tandis que l'estimation du coefficient sur IT reste la même. Ceci suggère que les entreprises avec un écart type supérieur, sur notre mesure IOI40, sont en moyenne 4,6% plus productives que leurs concurrents. Il est à souligner notamment, que ce résultat est obtenu après contrôle de l'utilisation des IT. C'est-à-dire que la variation supplémentaire de productivité peut être expliquée par la variation de IOI40 pour les entreprises ayant la même utilisation des IT.

D'autre part, et afin de vérifier la robustesse de notre hypothèse selon laquelle les effets de la IOI40 n'ont pas varié au cours de la période d'étude (2014-2018), nous avons subdivisé notre échantillon en périodes plus courtes et avons répété notre principale analyse de productivité. Nous constatons que lorsque l'échantillon est limité aux périodes entourant notre enquête (2017-2018), les résultats sont similaires à ceux de l'échantillon complet (voir le tableau 3), ce qui suggère que nous n'avons pas biaisé nos résultats en étendant les données aux périodes précédentes. De plus, le test de Chow nous a permis de confirmer ce constat, car il n'a révélé aucune variation significative du coefficient de IOI40 entre les sous-périodes. Cela suggère alors que nos résultats ne sont pas biaisés par l'extension du panel dans la dimension temporelle.

Tableau 3. Régression Multiple entre IOI40 et les mesures de la productivité

DV=Log(Sales)	(1) 2014-2018	(2) 2014-2018	(3) 2017-2018
IOI40		0,046 (p<0,01 ; 0,02*)	0,043 (p<0,01 ; 0,02*)
Log(m)	0,54 (p<0,01 ; 0,04*)	0,53 (p<0,01 ; 0,04*)	0,51 (p<0,01 ; 0,04*)
Log(k)	0,095 (p<0,01 ; 0,02*)	0,096 (p<0,01 ; 0,02*)	0,01 (p<0,01 ; 0,03*)
Log(ITE)	0,056 (p<0,01 ; 0,02*)	0,057 (p<0,01 ; 0,02*)	0,12 (p<0,01 ; 0,03*)
Log(Non-ITE)	0,25 (p<0,01 ; 0,03*)	0,25 (p<0,01 ; 0,03*)	0,24 (p<0,01 ; 0,04*)
Constante	-1,48 (p<0,01 ; 0,40*)	-1,44 (p<0,01 ; 0,37*)	-1,10 (p<0,01 ; 0,46*)
R ²	0,94	0,94	0,94
Var. Contrôle	le secteur, l'année de démarrage de l'activité		

(* : L'erreur standard)

Globalement, ces tests suggèrent que les entreprises dont l'écart-type est supérieur à la moyenne, sur notre échelle IOI40, ont obtenu une augmentation de productivité de 5 à 6% par rapport à l'entreprise moyenne. Cela dit, et bien que notre

interprétation des résultats de la régression nous pousse à dire que IOI40 entraîne réellement une performance supérieure, il existe au moins deux problèmes d'endogénéité plausibles qui pourraient conduire à un biais, certes relativement faible, mais positif pour cette estimation. Premièrement, il est possible que les entreprises très performantes disposent de ressources inutilisées leur permettant d'investir dans un certain nombre d'activités innovantes, y compris l'IOI40, ce qui conduirait à une relation de cause à effet inversée entre la performance et l'IOI40. Deuxièmement, certaines variables peuvent être omises, telles que la qualité de la gestion ou un plus grand capital humain spécifique à une entreprise, qui pourraient être associées à la fois à de meilleures performances et à l'utilisation de l'IOI40, pouvant ainsi créer ainsi un biais positif.

6 CONCLUSION

La littérature scientifique et la théorie économique suggèrent un lien potentiel entre l'innovation par les outils de l'industrie 4.0, car basé sur l'utilisation de l'outil IT, et la productivité. En fait, suite à l'analyse de notre échantillon constitué de 32 entreprises, nous avons constaté que l'IOI40 est en effet associé à une meilleure productivité. Nos résultats sont cohérents avec les différentes mesures de notre variable clé, ainsi que par des changements dans la période du panel. Dans l'ensemble, cela suggèrent que les capacités de l'IOI40 peuvent être modélisées comme des actifs incorporels, et qui peuvent donc être valorisés par les investisseurs pour leurs impact positif sur la production.

D'autre part et suite à notre enquête sur l'utilisation des technologies de l'Industrie 4.0, il nous est clairement apparu qu'il n'existait pas de solution Industrie 4.0 généralement acceptée pour toutes les entreprises [28]. Cela suppose notamment que l'entreprise doit définir ses propres objectifs pour Industrie 4.0. De plus, les entreprises liées à Industrie 4.0 indiquent que de nombreuses solutions d'Industrie 4.0 existent déjà dans d'autres domaines d'application et que seule l'adaptation de ces solutions peut être mise en œuvre.

Enfin, notre étude suggère un apport positif significatif de l'innovation par l'utilisation des outils de l'industrie 4.0 chez les entreprises ayant franchis le cap en y investissant dans les technologies IT, mais aussi et surtout dans la qualification du personnel. La question se pose donc pour les entreprises n'ayant pas encore démarré le processus de passage à l'industrie 4.0, car de par l'absence d'approche unique reconnue, seule une veille technologique efficace permettrait la réussite de la mise en œuvre d'applications Industrie 4.0, qui demeure toutefois complexes dans les entreprises. Car le potentiel d'Industrie 4.0 ne peut être exploité que par une collaboration interdisciplinaire au-delà des frontières de l'entreprise.

RÉFÉRENCES

- [1] Acatech: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. acatech, (2013).
- [2] Kagermann, H.; Lukas, W.; Wahlster, W: Abschotten ist keine Alternative. In: VDI Nachrichten, Issue 16, (2015).
- [3] Plattform Industrie 4.0: Industrie 4.0 Whitepaper FuE-Themen. Plattform Industrie 4.0, April 2015, (2015).
- [4] Blackwell, D. 1953. "Equivalent Comparison of Experiments," *Ann. Math. Statist.* (24), pp. 265-272.
- [5] Galbraith, J.R. 1974. "Organization Design: An Information Processing View," *Interfaces* (4:3), pp. 28-36.
- [6] Davenport, T.H., and Harris, J.G. 2007. *Competing on Analytics: The New Science of Winning*. Harvard Business Press.
- [7] Ayres, I. 2008, *Super Crunchers: Why Thinking-by-Numbers Is the New Way to Be Smart*. Bantam
- [8] Pentland, A., and Pentland, S. 2008. *Honest Signals: How They Shape Our World*. The MIT Press.
- [9] BATKO and Kreft, 2017. Roman Batko, Jan Kreft, "The Sixth Estate – The Rule of Algorithms", *Problemy Zarzdzania*, vol. 15, nr 2 (68), cz. 2: 190 – 209
- [10] IBM. 2011. "The 2011 IBM Tech Trends Report: The Clouds are Rolling In... Is Your Business Ready?," November 15 (<http://www.ibm.com/developerworks/techtrendsreport>; accessed August 4, 2012)
- [11] Constantiou and Kallinikos 2015,. Constantiou ID, Kallinikos J (2015) New games, new rules: big data and the changing context of strategy. *J Inf Technol* 30(1):44–57
- [12] FREEMAN CH., LOUÇÃ F., 2001, *As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*, Oxford University Press, NY USA,
- [13] BAYRAKTAR E., JOTHISHANKAR M.C., TATOGLU E., WU T., 2007, *Evolution of operations management: past, present and future*. *Management Research News*
- [14] HADYŚ Ł., STACHOWIAK A., CYPLIK P., 2014, *Production-Logistic System In The Aspect of Strategies for Production Planning and Control and for Logistic Customer Service*, *LogForum*
- [15] MCKINSEY & COMPANY 2015, *Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector*.
- [16] DRATH, R., HORCH, A., 2014, *Industrie 4.0: Hit or hype?* [industry forum]. *industrial electronics magazine*

- [17] PFOHL H.CH., YAHSI B., KURNAZ T., 2015 The impact of Industry 4.0 on the supply chain, Proceedins of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)
- [18] HERMANN M., PENTEK T., OTTO, B., 2016 Design principles for industrie 4.0 scenarios. In System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference
- [19] Lee et al.,2011 LEE, J., LAPIRA, E., BAGHERI, B. & KAO, H.-A. (2013) "Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment". Manufacturing Letters, Vol 1, 38-41.
- [20] CHEN, M., WAN, J., LI, F., 2012, Machine-to- Machine Communications: Architectures, Standards and Applications. KSII Transactions on Internet and Information Systems
- [21] SHIMIZU, K., HITT, M.A., 2004, Strategic flexibility: Organizational preparedness to reverse ineffective strategic decisions, Academy of Management Executive.
- [22] YU X., NGUYEN B., CHEN Y., 2016, Internet of things capability and alliance: entrepreneurial orientation, market orientation and product and process innovation, Internet Research
- [23] ATZORI, L., IERA, A., MORABITO, G., 2010 The internet of things: A survey. Computer networks.
- [24] Kagermann, H.; Lukas, W.; Wahlster, W.: Industrie 4.0 - Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: VDI Nachrichten, Issue 13, (2011).
- [25] European Commission: Factories of the Future.
http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-thefuture-en.html. Viewed 24 May 2015, (2015).
- [26] Industrial Internet Consortium: Manufacturing.
<http://www.iiconsortium.org/vertical-markets/manufacturing.htm>. Viewed 24 May 2015, (2015).
- [27] Acatech: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. acatech, (2015).
- [28] Gausemeier, J.; Czaja, A.; Dülme, C.: Innovationspotentiale auf dem Weg zu Industrie 4.0. In: Wissenschafts- und Industrieforum Intelligente Technische Systeme 2015, Heinz Nixdorf Institut, (2015).
- [29] Spath, D.; (Hrsg.); Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer IAO, Fraunhofer Verlag, (2013)
- [30] Hirsch-Kreinsen, H.; Weyer J.. "Wandel von Produktionsarbeit –„Industrie 4.0 “." Soziologisches Arbeitspapier 38, TU Dortmund, (2014).
- [31] Seliger, G.: Nachhaltige industrielle Wertschöpfungsnetze, Tagungsband 12. Produktionstechnisches Kolloquium PTK 2007, (2007).
- [32] Smart Data Innovation Lab: Förderung der Smart Data Spitzenforschung.
<http://www.sdil.de/de/>. Viewed 24 May 2015, (2015).
- [33] Kletti, J.: Zukunftskonzept MES 4.0 Dezentrale Regelkreise synchronisieren. In: IT & Production, Issue 04/2015, (2015).
- [34] Roland Berger: Industry 4.0 - The new industrial revolution – How Europe will succeed. Roland Berger Strategy Consultants, (2014).
- [35] Porter, M. E.: Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. New York: Free Pass, (2015).
- [36] Brynjolfsson, E., and Hitt, L.M. 1996. "Paradox Lost? Firm-Level Evidence of High Returns to the Information Systems Spending," Management Science (42:4).
- [37] Aral, S., Brynjolfsson, E., and Wu, D. 2006. "Which Came First, It or Productivity? The Virtuous Cyclen of Investment and Use in Enterprise Systems," International Conference on Information Systems, pp. 1-22.
- [38] Brynjolfsson, E., Tambe, P., and Hitt, L. 2011. "The Extroverted Firm: How External Information Practices Affect Productivity," Management Science (Forthcoming).
- [39] Tambe, P., and Hitt, L.M. 2011. "The Productivity of Information Technology Investments: New Evidence from It Labor Data," SSRN eLibrary).
- [40] Dewan, S., and Kraemer, K.L. 2000. "Information Technology and Productivity: Evidence from Country-Level Data," Management Science), pp. 548-562.
- [41] Hitt, L.M., and Frei, F.X. 2002. "Do Better Customers Utilize Electronic Distribution Channels? The Case of Pc Banking," Management Science), pp. 732-748.
- [42] Brynjolfsson, E., and Hitt, L.M. 2003. "Computing Productivity: Firm-Level Evidence," Review of economics and statistics (85:4), pp. 793-808.
- [43] Hannan, M., and Freeman, J. 1984. "Structural Inertia and Organizational Change," American sociological review (49:2), pp. 149-164.
- [44] Nelson, R.R., and Winter, S.G. 1982. An Evolutionary Theory of Economic Change. Belknap press.
- [45] Henderson, R.M., and Clark, K.B. 1990. "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms," Administrative Science Quarterly (35:1), pp. 9-30.
- [46] Henderson, R. 1993. "Underinvestment and Incompetence as Responses to Radical Innovation: Evidence from the Photolithographic Alignment Equipment Industry," The RAND Journal of Economics (24:2), pp. 248-270.

- [47] Bresnahan, T., Greenstein, S., and Henderson, R. 2009. "Schumpeterian Competition and Diseconomies of Scope: Illustrations from Leading Historical Firms in Computing."
- [48] Balasubramanian, N., and Lee, J. 2008. "Firm Age and Innovation," *Industrial and Corporate Change* (17:5), p.1019
- [49] Tushman, M.L., and Anderson, P. 1986. "Technological Discontinuities and Organizational Environments," *Administrative Science Quarterly* (31:3), pp. 439-465.
- [50] Huergo, E., and Jaumandreu, J. 2004. "Firms' Age, Process Innovation and Productivity Growth," *International Journal of Industrial Organization* (22:4), pp. 541-559.
- [51] Cohen, W.M., and Levinthal, D.A. 1989. "Innovation and Learning: The Two Faces of R & D," *The Economic Journal* (99:397), pp. 569-596.
- [52] Argote, L., McEvily, B., and Reagans, R. 2003. "Managing Knowledge in Organizations: An Integrative Framework and Review of Emerging Themes," *Management Science* (49:4), pp. 571-582.
- [53] Levitt, B., and March, J.G. 1988. "Organizational Learning," *Annual Review of Sociology* (14), pp. 319-340.
- [54] Nass, C. 1994. "Knowledge or Skills: Which Do Administrators Learn from Experience?," *Organization Science* (5:1), pp. 38-50
- [55] McAfee, A., and Brynjolfsson, E. 2008. "Investing in the It That Makes a Competitive Difference," *Harvard Business Review* (86:7/8), p. 98.
- [56] Shapiro, C., and Varian, H.R. 1999. *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*. Harvard Business Press.
- [57] Jones, C.I. 1999. "Growth: With or without Scale Effects?," *The American Economic Review* (89:2), pp.139-144.
- [58] Jäger J et al. *Industrie 4.0 - Opportunities and prospects for companies in the metropolitan region Rhine-Neckar*, Chambers of Commerce Rhein-Neckar, Pfalz, Darmstadt 2015.
- [59] Carroll, C., & Booth, A. (2015). Quality assessment of qualitative evidence for systematic review and synthesis: Is it meaningful, and if so, how should it be performed? *Research Synthesis Methods*, 6(2), 149-154.