

Technologies de l'industrie 4.0 et performance logistique : Analyse thématique de la littérature

Industry 4.0 Technologies and Logistics Performance: A Thematic Analysis of the Literature

Salwa LHAMIDI, (Doctorante en Sciences de gestion)

*Laboratoire des mathématiques appliquées à l'économie et à la gestion (MAEGE)
Faculté des sciences juridiques, Économiques et sociales AIN SEBAÂ
Université Hassan II de Casablanca-Maroc*

Abdelwahed GOURCH, (Enseignant chercheur)

*Laboratoire des mathématiques appliquées à l'économie et à la gestion (MAEGE)
Faculté des sciences juridiques, Économiques et sociales AIN SEBAÂ
Université Hassan II de Casablanca-Maroc*

Othman BOULITAMA, (Docteur en sciences de gestion)

*Laboratoire de Recherches sur La Nouvelle Économie et Développement (LARNED)
Faculté des sciences juridiques, Économiques et sociales AIN SEBAÂ
Université Hassan II de Casablanca-Maroc*

Adresse de correspondance :	FSJES-Ain Sebaâ 2634, Route des Chaux et Ciments Beausite, Casablanca Université Hassan II de Casablanca, Maroc 0522343482
Déclaration de divulgation :	Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude. Ils assument l'entière responsabilité de tout éventuel plagiat ainsi que des résultats présentés dans cet article.
Conflit d'intérêts :	Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.
Citer cet article	LHAMIDI, S., GOURCH, A., & BOULITAMA, O. (2025). Technologies de l'industrie 4.0 et performance logistique : Analyse thématique de la littérature. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 6(9), 462–478.
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

Received: 16/07/2025

Accepted: 08/09/2025

Technologies de l'industrie 4.0 et performance logistique : analyse thématique de la littérature

Résumé :

L'émergence de l'Industrie 4.0 marque un tournant majeur dans la manière dont les organisations conçoivent, pilotent et optimisent leurs chaînes logistiques. Portée par l'intégration de technologies digitales avancées telles que l'Internet des objets, l'intelligence artificielle, l'analyse du Big Data, la blockchain et la robotique, l'Industrie 4.0 s'impose comme un levier essentiel de performance pour la chaîne logistique moderne. Cet article propose une revue de littérature descriptive approfondie, mettant en lumière les impacts directs et multidimensionnels de ces technologies sur la performance logistique. À travers une analyse thématique rigoureuse fondée sur des sources académiques évaluées, l'étude identifie et synthétise les contributions théoriques et empiriques autour de plusieurs axes de performance clés : visibilité et traçabilité, prévision et planification, automatisation et efficacité, agilité et résilience, réduction des coûts et satisfaction client. Les résultats indiquent que les technologies de l'I4.0 favorisent l'échange de données en temps réel, le développement de capacités prédictives, des réponses agiles face aux perturbations, ainsi qu'une orientation accrue vers le client autant de facteurs qui renforcent la résilience, l'efficacité et la réactivité des chaînes logistiques. Toutefois, la littérature souligne également un manque de validations empiriques robustes et une couverture sectorielle encore limitée. L'article conclut en proposant des pistes de recherche futures, notamment à travers des comparaisons intersectorielles, des études longitudinales et l'exploration des facteurs socio-organisationnels qui conditionnent le succès de la transformation digitale. Cette revue contribue ainsi à enrichir la compréhension académique du sujet tout en offrant des repères pertinents pour les décideurs engagés dans la transformation digitale de leur chaîne logistique.

Mots clés : Industrie 4.0, Supply Chain Management, Performance, Revue de littérature, Technologies émergentes, Transformation digitale.

JEL Classification : L23, M11, O33, L86, D24

Type du papier : Recherche Théorique

Abstract:

The emergence of Industry 4.0 marks a major turning point in the way organizations design, manage, and optimize their supply chains. Driven by the integration of advanced digital technologies such as the Internet of Things, artificial intelligence, big data analytics, blockchain, and robotics, Industry 4.0 is emerging as a key performance driver for the modern supply chain. This article offers an in-depth descriptive literature review, highlighting the direct and multidimensional impacts of these technologies on logistics performance. Through a rigorous thematic analysis based on evaluated academic sources, the study identifies and synthesizes theoretical and empirical contributions around several key performance axes: visibility and traceability, forecasting and planning, automation and efficiency, agility and resilience, cost reduction, and customer satisfaction. The results indicate that I4.0 technologies promote real-time data exchange, the development of predictive capabilities, agile responses to disruptions, and increased customer focus, all of which enhance the resilience, efficiency, and responsiveness of supply chains. However, the literature also highlights a lack of robust empirical validation and still limited sector coverage. The article concludes by proposing avenues for future research, particularly through cross-sector comparisons, longitudinal studies, and the exploration of socio-organizational factors that determine the success of digital transformation. This review thus contributes to enriching academic understanding of the subject while providing relevant benchmarks for decision-makers engaged in the digital transformation of their supply chain.

Keywords: Industry 4.0, Supply Chain Management, Performance, Literature Review, Emerging Technologies, Digital Transformation.

Classification JEL: L23, M11, O33, L86, D24

Paper type: Theoretical Research

1. Introduction

Au cours des deux dernières décennies, le tissu industriel mondial a connu des mutations profondes qui dépassent de loin les simples évolutions technologiques. La combinaison de l'accélération de la digitalisation, de l'interconnexion croissante des marchés et des impératifs de durabilité a contribué à redessiner les contours de la compétitivité internationale. Cette transformation a trouvé son expression la plus marquante dans le paradigme de l'Industrie 4.0 (I4.0), initialement conceptualisé en Allemagne au début des années 2010 comme une vision stratégique de modernisation de la production manufacturière (Gadre, 2020; Tubis, Jodejko-Pietruczuk, et al., 2024). L'ambition initiale était d'intégrer des technologies émergentes pour favoriser des processus plus intelligents, autonomes et interconnectés, capables de générer de nouvelles formes de valeur et d'assurer la pérennité des secteurs industriels face à une concurrence mondiale exacerbée.

L'I4.0 se définit avant tout comme une convergence technologique : elle associe l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA), l'analyse du Big Data, la blockchain, le cloud computing, les systèmes cyber-physiques et la robotique avancée (Al-Madhagy Taufiq-Hail et al., 2021; Beimborn et al., 2011; Ezmigna & Omain, 2023; Liu et al., 2022; Remondino, 2020). Loin d'être de simples outils, ces technologies instaurent une rupture paradigmatique en permettant l'automatisation intelligente, la prise de décision prédictive et l'intégration totale de la donnée dans la gouvernance organisationnelle. De plus en plus d'auteurs soulignent qu'il ne s'agit pas uniquement d'une révolution technologique, mais d'un phénomène sociotechnique global qui impacte les modèles d'affaires, les compétences, les structures de gouvernance et les dynamiques concurrentielles internationales (Sanatçi, 2023). Dans ce contexte, les entreprises ne peuvent plus se contenter d'optimiser leurs processus : elles doivent repenser leur logique organisationnelle, leur positionnement stratégique et leur capacité d'innovation continue.

La gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management – SCM) illustre de manière emblématique ce bouleversement. Depuis plusieurs années, les SC se complexifient et s'étendent, intégrant des partenaires multiples et des flux de plus en plus mondialisés (Zheng et al., 2008; Wong et al., 2024). Cette complexité s'accompagne d'une vulnérabilité accrue face aux perturbations, qu'elles soient d'origine sanitaire, géopolitique ou environnementale. La pandémie de COVID-19, les conflits commerciaux et les crises énergétiques récentes ont démontré avec force que la robustesse et la résilience des SC ne sont pas des luxes, mais des conditions fondamentales de survie économique. Les entreprises les plus performantes sont celles qui parviennent à anticiper les risques, à mobiliser rapidement leurs ressources et à maintenir la fluidité de leurs opérations dans un environnement marqué par l'incertitude.

C'est précisément dans ce contexte que les technologies de l'I4.0 apparaissent comme des leviers stratégiques. Grâce à la collecte et à l'analyse en temps réel des données, elles permettent de renforcer la visibilité des flux, de détecter rapidement les anomalies, d'anticiper les ruptures et d'optimiser les processus décisionnels (Kunovjanek et al., 2022). L'intégration de l'IA et du Big Data offre des capacités inédites de prévision et d'adaptation, tandis que l'IoT et la blockchain favorisent la traçabilité et la transparence des opérations. La combinaison de ces innovations peut ainsi améliorer significativement la performance des SC, tant en termes d'efficacité opérationnelle que de flexibilité, de réduction des coûts, de qualité de service et de satisfaction client.

Cependant, malgré un consensus croissant sur le potentiel de l'I4.0, la littérature académique demeure fragmentée. D'un côté, de nombreux travaux se sont concentrés sur l'adoption de technologies spécifiques, évaluant leurs bénéfices isolés. De l'autre, certaines recherches se sont intéressées aux conditions organisationnelles, culturelles ou stratégiques nécessaires à une transformation digitale réussie. Or, peu d'études offrent une vision intégrée permettant de comprendre comment, dans leur ensemble, les technologies de l'I4.0 influencent directement

la performance des SC. Ce manque de systématisation freine à la fois la consolidation théorique du champ et l'élaboration de recommandations pratiques à destination des décideurs. L'enjeu est d'autant plus important que la performance des SC ne peut plus être appréhendée uniquement sous l'angle économique. Elle s'inscrit aujourd'hui dans une perspective élargie, où la durabilité, l'agilité et la capacité d'adaptation constituent des critères tout aussi déterminants que la réduction des coûts ou l'amélioration de l'efficacité (Tubis, Jodejko-Pietruczuk, et al., 2024). Dans ce cadre, comprendre les mécanismes par lesquels l'I4.0 contribue à renforcer la performance ne se limite pas à une démarche académique : c'est un impératif stratégique pour les entreprises et un levier d'innovation pour les politiques publiques. Afin de répondre à ces enjeux, l'article est structuré de manière progressive et analytique. Après avoir présenté la méthodologie adoptée pour conduire cette revue de littérature, la première section s'attache à définir les concepts fondamentaux de l'I4.0 et à préciser les technologies qui la composent. La deuxième section examine les dimensions et indicateurs de performance de la SC, en mettant en évidence leur pertinence face aux transformations actuelles. La troisième section est consacrée à l'analyse des apports des technologies de l'I4.0 sur la performance logistique, en s'appuyant sur les axes clés identifiés dans la littérature tels que la visibilité, la prévision, l'automatisation, l'agilité, la résilience, la réduction des coûts et la satisfaction client. Enfin, l'article se conclut par une discussion des résultats et des limites relevées, ainsi que par la proposition de pistes de recherche futures visant à enrichir la compréhension académique et à soutenir la prise de décision stratégique des acteurs impliqués dans la TD des chaînes logistiques.

2. Méthodologie adoptée

Afin d'atteindre efficacement l'objectif de synthèse des connaissances actuelles concernant l'impact des technologies de l'Industrie 4.0 sur la performance de la SCM, nous avons adopté une méthodologie de revue de la littérature descriptive. Contrairement aux revues systématiques, qui font appel à des méthodes statistiques rigoureuses pour identifier et analyser la littérature, une approche descriptive offre une certaine flexibilité pour explorer l'étendue et la profondeur d'un sujet de recherche relativement vaste. Elle permet une exploration narrative complète des thèmes et perspectives émergents, particulièrement adaptée au caractère évolutif de l'Industrie 4.0.

Notre recherche bibliographique a été menée principalement dans des bases de données universitaires réputées, notamment Scopus, Web of Science, Science Direct et Google Scholar, reconnues pour leur large couverture de la littérature scientifique évaluée par les pairs. Une stratégie de recherche soigneusement élaborée a utilisé des combinaisons de mots-clés spécifiques, telles que « Industrie 4.0 ET performance de la SC », « TD ET Supply Chain », « Internet des objets ET efficacité de la SC » et « intelligence artificielle ET gestion de la Supply Chain ». La recherche a été limitée aux articles publiés au cours des cinq dernières années (2019-2024), reflétant l'évolution rapide des technologies dans les domaines de la SC et garantissant l'actualité et la pertinence de nos conclusions.

Lors de la sélection de la littérature, nous avons appliqué des critères d'inclusion et d'exclusion clairement définis afin d'améliorer la rigueur et la pertinence de notre revue. Pour être inclus, les articles devaient aborder explicitement la relation entre au moins une technologie spécifique de l'Industrie 4.0 et les indicateurs de performance de la gestion de SC. Nous avons privilégié les études fournissant des preuves empiriques ou des analyses théoriques approfondies. À l'inverse, les rapports purement anecdotiques, les communications brèves et dénuées de rigueur méthodologique et les articles publiés dans des sources non évaluées par des pairs ont été systématiquement exclus.

Après une première sélection basée sur les résumés et les titres, une évaluation plus approfondie du contenu des articles restants a été réalisée afin de vérifier leur adéquation avec les objectifs

de notre revue. Cette étape a abouti à une sélection finale de revues évaluées par des pairs, principalement issus de revues à fort impact, garantissant ainsi la crédibilité académique et la richesse des connaissances. Chaque article a été analysé avec soin, en accordant une attention particulière aux méthodologies utilisées, aux technologies étudiées, aux secteurs industriels concernés et aux indicateurs de performance spécifiques abordés.

Afin de structurer clairement notre analyse, nous avons regroupé la littérature par thème autour des impacts et des technologies identifiés, facilitant ainsi une exploration cohérente et systématique des résultats. Cette catégorisation thématique nous a permis de dégager des idées, d'identifier des tendances récurrentes, de révéler les lacunes dans les connaissances existantes et d'évaluer de manière critique l'état actuel de la recherche sur l'Industrie 4.0 et son rôle dans l'amélioration de la performance de la SC.

En définitive, cette approche méthodologique a permis une synthèse équilibrée, offrant aux praticiens et aux chercheurs une compréhension détaillée et nuancée de l'influence concrète des technologies de l'Industrie 4.0 sur la performance de la SC et mettant en évidence des pistes de recherche prometteuses.

3. Industrie 4.0 : Définitions et concepts clés

3.1. Origine et définition

L'Industrie 4.0, communément appelée la quatrième révolution industrielle, marque une transformation radicale dans la conception, l'exploitation et l'optimisation des chaînes de valeur industrielle. Le terme a été officiellement introduit en 2011 à la Foire de Hanovre, en Allemagne, dans le cadre d'une initiative stratégique soutenue par le gouvernement visant à revitaliser le secteur manufacturier allemand grâce à une digitalisation avancée (Gadre, 2020). Depuis, le concept est devenu un paradigme mondial, adopté par les économies cherchant à améliorer leur productivité, leur flexibilité et leur compétitivité dans un environnement de plus en plus volatile et interconnecté (Jayashree et al., 2019).

Fondamentalement, l'Industrie 4.0 représente la convergence des systèmes cyberphysiques, de l'IoT, de l'IA, du cloud computing (CC) et de la RA au sein de systèmes de production intégrés et intelligents. Ces technologies permettent collectivement l'échange de données en temps réel, la prise de décision autonome, la maintenance prédictive et des niveaux de personnalisation sans précédent. La logique sous-jacente est de créer des « usines intelligentes » où machines, systèmes et humains communiquent et collaborent de manière fluide tout au long de la chaîne de valeur, des fournisseurs aux clients finaux (Demir et al., 2020; Har et al., 2022).

Cette transformation n'est pas seulement technologique, mais elle est systémique et stratégique. Elle bouleverse les modèles traditionnels de la SC en introduisant une visibilité, une agilité et une résilience accrues. Pour les SCs en particulier, l'Industrie 4.0 offre une reconfiguration des flux opérationnels grâce à des prévisions basées sur les données, une prise de décision décentralisée et une traçabilité de bout en bout. L'intégration de l'IA et de l'analyse du Big Data (BD) permet aux entreprises d'anticiper les perturbations, d'optimiser les stocks et de répondre plus efficacement aux fluctuations de la demande. De plus, les plateformes cloud et les technologies blockchain redéfinissent la confiance et la transparence dans les relations fournisseurs-acheteurs, tandis que la RA et la fabrication additive (FA) soutiennent la production localisée et à la demande (Asadollahi-Yazdi et al., 2020).

Par essence, l'Industrie 4.0 n'est pas une innovation isolée, mais un écosystème de technologies interconnectées qui redéfinissent collectivement les principes de compétitivité industrielle et de performance de la SC. Sa pertinence stratégique dépasse le secteur manufacturier et touche la logistique, la distribution et les services, obligeant les organisations à repenser leurs capacités, leurs structures et leurs objectifs stratégiques à l'ère de l'évolution digitale continue (Bekmurzaeva & Kovalev, 2023).

3.2. Technologies clés de l'I4.0

L'Industrie 4.0 s'appuie sur un réseau de technologies interdépendantes, chacune jouant un rôle crucial :

Tableau 1: Technologies de l'industrie 4.0

Technologie	Description
Internet des objets	Connecte les appareils et les machines, permettant la collecte et l'échange de données en temps réel. Améliore la visibilité opérationnelle et favorise une prise de décision proactive (Singh et al., 2021).
Analyse du Big Data	Exploite des ensembles de données vastes et complexes pour fournir des informations prédictives et éclairer les décisions. Aide à anticiper la demande et à optimiser les processus (Rawat & Yadav, 2021).
Intelligence artificielle	Inclut le Machine Learning et le Deep Learning pour automatiser des tâches complexes et améliorer la précision des décisions en apprenant à partir des données, renforçant l'efficacité. (Sebastián Rovira et al., 2022)
Blockchain	Offre une transparence, une sécurité et une traçabilité accrues au sein des SCs, renforçant la confiance, la collaboration et réduisant les risques (Rahman et al., 2022).
Cloud Computing	Fournit des ressources informatiques évolutives à la demande, facilitant la collaboration, la rationalisation des opérations et la réduction des coûts d'infrastructure (Al-Madhagy Taufiq-Hail et al., 2021).
Robotique avancée	Intègre des robots, notamment collaboratifs (cobots), pour accroître la productivité et la précision dans les tâches répétitives ou dangereuses, tout en améliorant la fiabilité globale (Gao et al., 2020).

Source : Réalisé par les auteurs à partir de la revue de la littérature

3.3. Pertinence pour la gestion de la SC

L'intégration des technologies de l'Industrie 4.0 a profondément transformé la SCM, offrant des solutions performantes face à la complexité, à la volatilité et aux incertitudes croissantes des chaînes de valeur mondialisée d'aujourd'hui. En intégrant des systèmes intelligents, interconnectés et autonomes aux processus logistiques et opérationnels, l'Industrie 4.0 permet un changement de paradigme vers des SC plus agiles, réactives et résilientes (Ivanov et al., 2019). En effet, l'une des contributions les plus importantes réside dans la visibilité en temps réel : le déploiement de capteurs IoT, de systèmes RFID et d'analyses cloud permet aux entreprises de surveiller et de contrôler en continu les activités de leur SC. Cette intelligence en temps réel facilite la détection immédiate des perturbations, une traçabilité améliorée et une réponse dynamique aux fluctuations des conditions du marché et des demandes des consommateurs (Chari et al., 2022). De plus, la rentabilité est considérablement améliorée grâce à l'analyse prédictive et à l'automatisation, qui optimisent les niveaux de stocks, réduisent les inefficacités opérationnelles et atténuent proactivement les risques. En minimisant le gaspillage et les temps d'arrêt, les entreprises peuvent réduire considérablement leurs coûts et optimiser l'allocation des ressources. Du point de vue du client, l'Industrie 4.0 favorise une plus grande satisfaction en améliorant les performances de livraison et la réactivité. Des outils de planification avancés et des algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux entreprises de mieux anticiper les besoins des clients, de réduire les délais d'exécution et d'assurer une plus grande fiabilité des services. De plus, ces technologies renforcent également la résilience et l'adaptabilité, permettant aux SCs d'absorber et de se remettre de chocs externes tels que les pandémies, les pénuries d'approvisionnement ou les tensions géopolitiques (Moufaddal et al., 2019). Les réseaux adaptatifs, soutenus par l'IA et la blockchain, permettent aux organisations de reconfigurer leurs opérations en temps quasi réel, assurant ainsi la continuité dans des conditions difficiles. En substance, l'I4.0 transcende ses racines technologiques pour devenir un catalyseur stratégique d'avantage concurrentiel. Elle dote les organisations des outils et des capacités nécessaires pour évoluer dans un environnement mondial de plus en plus dynamique

et imprévisible, redéfinissant ainsi les fondements de la performance des SCs modernes (Ivanov, 2018).

4. Performance de la SC : dimensions et indicateurs

Au sens large, la performance d'une SC désigne son degré d'atteinte des objectifs stratégiques, opérationnels et orientés client. Face à la concurrence mondiale croissante, à l'évolution des exigences du marché et aux rapides avancées technologiques, mesurer et améliorer précisément la performance de la SC est devenu une préoccupation majeure pour les organisations de tous les secteurs. Pour répondre à cette complexité, chercheurs et praticiens ont développé plusieurs dimensions de performance, chacune reflétant des aspects essentiels de l'efficacité globale de la SC (Hofmann et al., 2019).

Parmi les dimensions de performance de la SC les plus largement débattues figure l'efficacité, qui se rapporte généralement à la minimisation des coûts et à l'utilisation optimale des ressources. Les indicateurs d'efficacité incluent souvent des mesures telles que le taux de rotation des stocks, les coûts de transport et d'entreposage, les dépenses d'approvisionnement et l'utilisation globale des actifs. Les SCs efficaces cherchent à minimiser les dépenses opérationnelles sans compromettre la qualité de service, permettant ainsi aux entreprises de proposer des prix compétitifs tout en maintenant une rentabilité durable (Dhamija et al., 2020). Une autre dimension clé est la réactivité, qui reflète la capacité de la SC à s'adapter rapidement et à répondre à l'évolution des demandes des clients ou des conditions du marché. La réactivité est souvent mesurée à l'aide d'indicateurs tels que la réduction des délais, la rapidité d'exécution des commandes et la flexibilité des volumes de production. Dans des environnements de marché volatils, une réactivité rapide offre un avantage stratégique, permettant aux entreprises de saisir rapidement les opportunités ou d'atténuer les perturbations potentielles (Fatorachian & Kazemi, 2021).

Étroitement lié à la réactivité, le concept d'agilité est défini comme la capacité de la SC à ajuster rapidement ses opérations en réponse à des changements imprévus ou imprévisibles. Les indicateurs d'agilité incluent la rapidité et la facilité avec lesquelles les SCs peuvent adapter leur structure, leurs processus ou leurs ressources aux perturbations, qu'elles soient internes (par exemple, pannes de machines, pénuries de main-d'œuvre) ou externes (par exemple, fluctuations économiques, tensions géopolitiques, pandémies). Les SCs agiles exploitent les technologies digitales pour gagner en flexibilité, en évolutivité et en développement dynamique des capacités (Sachin S. Kamble et al., 2023).

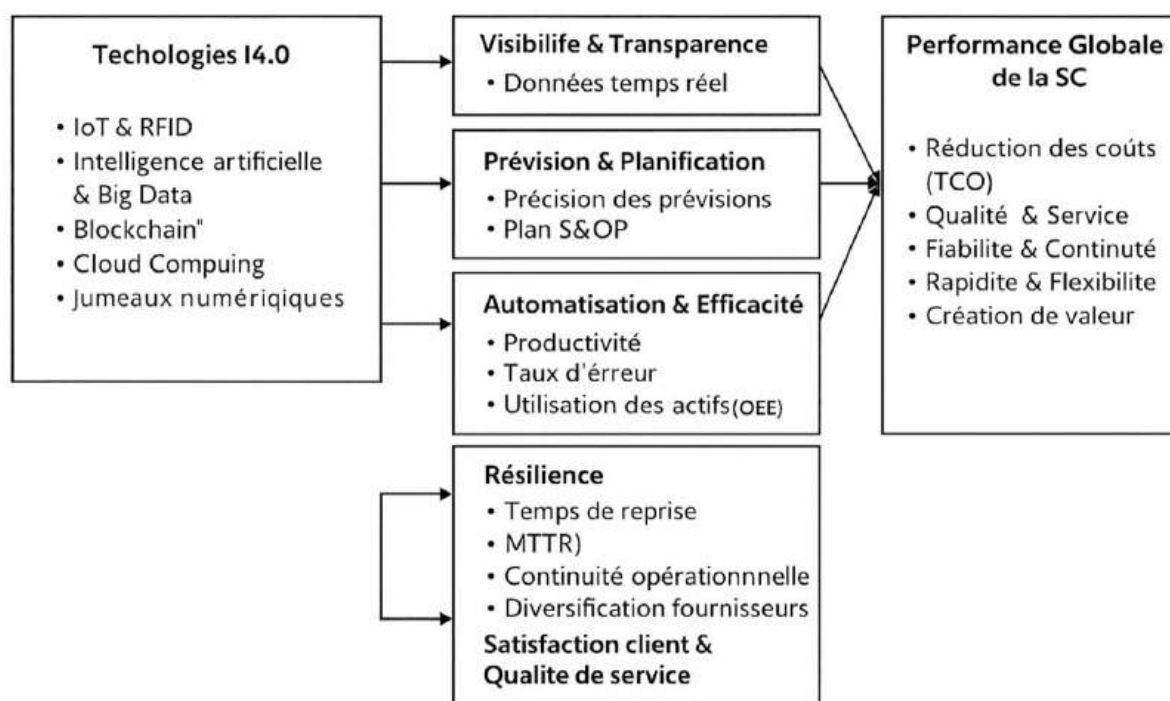
La résilience a également fait l'objet d'une attention particulière, notamment suite à des perturbations majeures telles que la pandémie de la COVID-19. La résilience de la SC désigne la capacité du système à résister, à se rétablir et même à prospérer malgré les perturbations ou les chocs (Albalushi et al., 2023; Pettit et al., 2019). Les indicateurs clés de résilience comprennent la rapidité de la reprise après une perturbation, la capacité à maintenir la continuité opérationnelle en situation de stress, ainsi que l'efficacité des processus de planification d'urgence et de gestion des risques. Les SCs résilientes intègrent des stratégies proactives de gestion des risques et des analyses de données en temps réel pour anticiper les perturbations et déployer rapidement des mécanismes de reprise (Al-Talib et al., 2020).

La visibilité et la transparence constituent une autre dimension essentielle de la performance, de plus en plus valorisée dans les SCs mondiales complexes. Une visibilité accrue permet aux entreprises de surveiller l'intégralité du flux de marchandises, des matières premières aux utilisateurs finaux, offrant ainsi des capacités de suivi et de traçabilité en temps réel. Les indicateurs de performance de la visibilité incluent généralement la disponibilité des données en temps réel, la précision de la traçabilité et la capacité à identifier et à corriger proactivement les problèmes. Des technologies telles que l'IoT, la blockchain et les plateformes cloud ont

largement contribué à améliorer la transparence et la fiabilité des données de la SC (Büchi et al., 2020; Khan et al., 2022).

Enfin, la satisfaction client et la qualité de service représentent les résultats finaux de la performance du point de vue du client. Les SCs visent à fournir des produits ou des services qui répondent, voire dépassent, les attentes des clients en termes de qualité, de délais de livraison, de personnalisation et de fiabilité. Les indicateurs couramment utilisés incluent les notes de retour client, le taux d'exactitude des commandes et la réactivité du service. Une satisfaction client élevée favorise la fidélisation, l'expansion des parts de marché et un avantage concurrentiel à long terme (Arzu Akyuz & Erman Erkan, 2010). Collectivement, ces dimensions de performance constituent un cadre complet pour comprendre et mesurer l'efficacité des SCs. Les technologies de l'I4.0 offrent des outils puissants pour aborder et améliorer chacune de ces dimensions, laissant entrevoir un potentiel significatif d'amélioration des capacités de la SC et de la compétitivité des organisations. Comprendre ces dimensions et les indicateurs associés est essentiel pour évaluer précisément l'impact concret des technologies digitales sur la performance de la SC et pour identifier les axes d'investissement stratégique et de déploiement technologique (Doval, 2020).

Figure 1: Variables et dimensions de la performance de la Supply Chain



Source : Réalisé par les auteurs

La figure 1 synthétise la logique conceptuelle adoptée pour analyser la performance de la SC à l'ère de l'I4.0. Sur le plan théorique, la performance globale d'une SC ne peut être appréhendée comme une variable unidimensionnelle. Elle se construit au contraire à travers un ensemble de dimensions complémentaires, incluant la visibilité et la transparence des opérations, la capacité de prévision et de planification, le degré d'automatisation et d'efficacité des processus, la réactivité face aux aléas, l'agilité organisationnelle, la résilience aux perturbations et, enfin, la satisfaction client et la qualité de service. Chacune de ces dimensions représente une composante essentielle et interdépendante qui, combinée aux autres, détermine le niveau de performance atteint.

Par ailleurs, ces dimensions ne sont pas autonomes : elles sont fortement influencées par l'intégration des technologies de l'I4.0 (IoT, AI, BD, blockchain, CC, robotique avancée ou encore jumeaux numériques). Ces technologies renforcent la capacité des entreprises à

améliorer la traçabilité, à optimiser la planification, à automatiser les opérations, à réagir plus rapidement aux fluctuations de la demande et à bâtir des SCs plus résilientes. L'effet systémique de ces leviers technologiques se traduit in fine par une performance globale supérieure, mesurée non seulement en termes de coûts et d'efficacité opérationnelle, mais aussi de flexibilité, de continuité et de valeur créée pour les clients et les partenaires.

Ainsi, le schéma proposé répond à une exigence de clarté conceptuelle et méthodologique : il met en évidence la variable principale « *Performance de la supply chain* » et illustre les différentes dimensions constitutives de cette variable, conformément aux recommandations méthodologiques en sciences de gestion. En explicitant le lien entre les technologies d'I 4.0, les dimensions de performance et la performance globale, ce cadre visuel facilite la compréhension du modèle d'analyse et renforce la rigueur scientifique de l'étude.

5. Apports de l'industrie 4.0 à la performance de la Supply Chain

5.1. Visibilité et traçabilité améliorées

Les technologies de l'I4.0 représentent une avancée majeure en matière de visibilité et de traçabilité de la SC, transformant profondément la manière dont les organisations surveillent et gèrent leurs flux opérationnels. Au cœur de cette révolution se trouvent des outils sophistiqués tels que les capteurs de l'IoT et les étiquettes RFID (identification par radiofréquence), qui capturent et relaient des données granulaires en temps réel tout au long du parcours de la SC, de l'approvisionnement en matières premières à la livraison finale au client (Souad Habbani & Yasmina El Jamoussi, 2022). Cette acquisition continue de données offre aux organisations non seulement des informations inégalées sur l'état et la localisation précis des marchandises, mais facilite également la prise de décision dynamique pour relever rapidement les défis qui se présentent (Hald & Mouritsen, 2018).

En complément de ces innovations, la technologie blockchain représente une avancée majeure dans la sécurisation et la validation des données de la SC. En créant des enregistrements digitaux immuables et décentralisés, la blockchain garantit transparence et fiabilité, protégeant efficacement contre la manipulation ou les modifications non autorisées des données. Ce mécanisme d'archivage robuste et transparent permet une traçabilité transparente de l'origine, des mouvements et de l'authenticité des produits, renforçant ainsi la confiance des parties prenantes, des fournisseurs et partenaires aux consommateurs finaux (Akbar & Isfianadewi, 2023; Pietukhov et al., 2023; Tubis, Koliński, et al., 2024).

D'un point de vue théorique, ces intégrations technologiques représentent plus que de simples améliorations progressives, elles incarnent un changement de paradigme stratégique, permettant aux organisations de gérer proactivement les perturbations, de rationaliser leurs opérations et de favoriser des relations de confiance durables au sein de la SC (Sassi et al., 2021). En définitive, l'adoption des technologies de visibilité et de traçabilité de l'I4.0 positionne les entreprises à la pointe de la compétitivité et de l'innovation, leur permettant de gérer la complexité et l'incertitude avec une agilité et une résilience remarquable.

5.2. Prévisions et planification optimisées

La précision des prévisions et la planification de la SC ont subi de profondes transformations grâce à l'émergence de l'analyse du big data, de l'apprentissage automatique (ML) et de l'IA. D'un point de vue théorique, ces techniques d'analyse avancées offrent des capacités sans précédent pour exploiter de vastes quantités de données structurées et non structurées, permettant aux entreprises de découvrir des modèles de marché complexes et des tendances de comportement des consommateurs auparavant inaccessibles aux méthodes d'analyse conventionnelles (Kacprzyk et al., 2024).

L'analyse du BD, en particulier, permet aux entreprises de synthétiser d'immenses ensembles

de données et d'identifier des corrélations et des tendances subtiles qui permettent des prévisions plus précises et nuancées (Pekarcikova et al., 2020). Grâce à des algorithmes sophistiqués, les techniques de ML qui poussent les prévisions encore plus loin, elles évoluent en permanence en intégrant des flux de données en temps réel, s'adaptant ainsi dynamiquement à la complexité et à la volatilité inhérentes aux marchés contemporains (Hong, 2022).

De plus, l'IA prédictive enrichit les modèles de prévision en intégrant des variables contextuelles externes, telles que les perturbations météorologiques, les indicateurs économiques et les événements géopolitiques, améliorant ainsi la rapidité et la précision des prévisions. Ces informations nuancées permettent aux planificateurs de la SC de gérer proactivement les perturbations potentielles, d'optimiser les niveaux de stocks et d'atténuer efficacement les risques (Dalal et al., 2024).

Les implications académiques et pratiques de ces avancées sont considérables : elles contribuent directement à réduire les coûts de stockage, réduisent considérablement la fréquence des ruptures de stock coûteuses et permettent des réponses rapides et agiles aux fluctuations de la demande du marché (C. Du, 2021). Ainsi, l'intégration de l'analyse du BD, de ML et de l'IA prédictive dans la planification de la SC ne se limite pas à améliorer l'efficacité opérationnelle, elle améliore également la performance opérationnelle et positionne stratégiquement les organisations pour une compétitivité et une adaptabilité durable dans un environnement mondial de plus en plus incertain (Krishna Reddy, 2019).

5.3. Automatisation et efficacité opérationnelle

L'une des contributions les plus marquantes de l'I4.0 à la performance de la SC réside dans l'automatisation et la recherche de l'excellence opérationnelle. Au cœur de cette transformation se trouvent la RA et les systèmes d'automatisation d'entrepôt intelligents, qui redéfinissent ensemble les limites de l'efficacité, de la précision et de l'évolutivité des opérations industrielles modernes (Zijm et al., 2019).

En effet, les systèmes robotisés, de plus en plus dotés d'IA et de capacités de navigation autonome, effectuent désormais un large éventail de tâches traditionnellement laborieuses, répétitives ou dangereuses. Du tri à grande vitesse et de l'assemblage de précision au contrôle qualité en temps réel, ces machines offrent des niveaux de précision, d'endurance et de régularité qui dépassent largement les limites humaines. Leur déploiement minimise non seulement les erreurs opérationnelles, mais améliore également la sécurité et la conformité dans les environnements à haut risque (Prashan De Silva & Harishani Liyanage, 2019; Zijm et al., 2019).

Simultanément, l'intégration de technologies d'entrepôt automatisé, telles que les bras robotisés de préparation de commandes, les véhicules à guidage automatique (AGV) et les systèmes de convoyage intelligents, transforme les plateformes logistiques traditionnelles en écosystèmes dynamiques et autorégulés (Chauhan et al., 2023). Ces innovations optimisent les configurations spatiales, augmentent les taux de production et réduisent considérablement les délais d'approvisionnement, permettant aux entreprises de gérer des volumes de stocks croissants avec une agilité et une précision remarquable (Frank et al., 2019).

D'un point de vue académique, les gains opérationnels réalisés grâce à l'automatisation de l'I4.0 vont au-delà des gains d'efficacité immédiats. Ils facilitent la réaffectation stratégique du capital humain vers des activités plus importantes et créatrices de valeur, telles que l'innovation, la planification stratégique et l'engagement client (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). De plus, en réduisant les coûts opérationnels et en standardisant les processus, les entreprises améliorent leur évolutivité et leur réactivité, des atouts clés dans un marché mondial de plus en plus volatil. En fin de compte, l'intégration de la robotique et de l'automatisation dans le paradigme de l'I4.0 incarne une évolution cruciale vers des systèmes de SC plus performants, plus intelligents et plus résilients (Dabic-Miletic, 2023).

5.4. Agilité et résilience améliorées

Dans le contexte de l'I4.0, l'agilité et la résilience sont devenues des impératifs stratégiques pour la compétitivité de la SC, en particulier à une époque marquée par des perturbations récurrentes et une volatilité mondiale accrue (Al Humdan et al., 2020). Parmi les outils les plus transformateurs de ces capacités figurent les technologies de simulation digitale et les jumeaux digitaux, qui offrent collectivement aux entreprises de puissants outils pour une gestion anticipative et adaptative de la SC (Y. Du et al., 2021).

Les jumeaux digitaux, représentations virtuelles et dynamiques d'actifs physiques, de processus ou de systèmes, permettent aux organisations de reproduire et de surveiller leurs opérations en temps réel avec une fidélité sans précédent. En synchronisant les environnements physique et digital, les entreprises peuvent simuler des comportements complexes de la SC, prédire les résultats dans diverses conditions de stress et optimiser les réponses sans interrompre les opérations réelles. Cette capacité à tester des scénarios hypothétiques, allant des défaillances de fournisseurs aux pics de demande soudains qui offre une anticipation essentielle, permettant une planification d'urgence et une prise de décision proactives (Elkazini, 2024).

En complément des jumeaux digitaux, des outils de simulation avancés permettent aux responsables de la SC de modéliser et d'évaluer la performance des réseaux logistiques, des politiques de stocks et des plans de production sous de multiples contraintes environnementales et de marché. Ces technologies favorisent la prise de décisions éclairées par les risques en éclairant les compromis et les conséquences des stratégies alternatives, réduisant ainsi l'incertitude et l'exposition aux chocs opérationnels (Obukhova et al., 2020). D'un point de vue académique, l'intégration des technologies de simulation et de jumeaux digitaux traduit un changement de paradigme : d'une gestion réactive de la SC à une gestion prédictive et adaptative. Ces outils permettent non seulement de réduire les délais de réponse et d'améliorer la connaissance situationnelle, mais aussi de renforcer la résilience systémique en permettant l'apprentissage continu et l'amélioration itérative. Ils contribuent ainsi significativement au développement de SCs agiles, réactives et tournées vers l'avenir, capables de résister aux turbulences économiques, aux perturbations environnementales et aux bouleversements géopolitiques (Vogel-Heuser & Wimmer, 2023).

5.5. Réduction des coûts et gains économiques

L'une des propositions de valeur les plus convaincantes de l'I4.0 réside dans sa capacité à générer d'importantes économies et à optimiser la performance économique de la SC. Grâce au déploiement de technologies digitales avancées, les entreprises sont désormais en mesure d'optimiser leurs flux opérationnels, de rationaliser la gestion des stocks et de réaliser des économies d'échelle, transformant ainsi leurs structures de coûts et améliorant leur rentabilité (Huang et al., 2020).

L'optimisation des flux, alimentée par l'analyse de données en temps réel et des systèmes interconnectés, permet de synchroniser les activités de la SC avec une précision sans précédent. Des algorithmes intelligents identifient les inefficacités, prédisent les goulots d'étranglement et ajustent dynamiquement les calendriers de production et de logistique, minimisant ainsi les retards, réduisant le gaspillage et optimisant l'utilisation des actifs. Ces améliorations réduisent non seulement les coûts opérationnels, mais favorisent également des processus plus efficaces et plus durables (Escobedo et al., 2024).

La réduction des stocks représente un autre domaine clé où les technologies de l'I4.0 offrent des avantages économiques mesurables. Une visibilité accrue, combinée à l'analyse prédictive, permet aux entreprises de délaisser les stratégies traditionnelles de stocks tampons au profit de modèles de flux tendus (Shyshkin et al., 2020). En anticipant précisément la demande et en alignant les achats et le réapprovisionnement en conséquence, les organisations réduisent

considérablement le besoin de stocks de sécurité excessifs, diminuant ainsi les coûts de stockage, les risques d'obsolescence et les besoins en fonds de roulement (Khumaidi, 2020). De plus, l'intégration de systèmes de fabrication intelligents et la coordination de bout en bout de la SC digitale favorisent la réalisation d'économies d'échelle. L'automatisation des lignes de production, la standardisation des flux de travail digital et l'échange d'informations fluide entre les partenaires permettent aux entreprises d'augmenter efficacement leur production tout en réduisant leurs coûts marginaux. Ces capacités sont particulièrement cruciales sur les marchés concurrentiels et sensibles aux coûts, où la réduction des coûts unitaires de production et de distribution peut générer des avantages stratégiques substantiels (Fiedor & Ortyl, 2020; Rinaldi et al., 2021).

D'un point de vue académique, ces évolutions soulignent la transition d'une stratégie de SC centrée sur les coûts vers une stratégie de valeur. L'I4.0 améliore non seulement l'efficacité, mais redéfinit également la logique économique en intégrant l'intelligence, l'adaptabilité et l'optimisation en temps réel au cœur des opérations de la SC. Il en résulte un écosystème d'entreprise structurellement plus léger, plus agile et économiquement robuste, mieux positionné pour être compétitif et prospérer dans un paysage mondial de plus en plus dynamique.

5.6. Personnalisation et satisfaction client

À l'ère des marchés hyperconnectés et des consommateurs de plus en plus exigeants, la personnalisation s'est imposée comme un levier essentiel d'avantage concurrentiel. Les technologies de l'I4.0 jouent un rôle essentiel pour permettre aux entreprises de répondre à cette demande en favorisant des niveaux de flexibilité de production sans précédent et une réactivité centrée sur le client. Au cœur de cette transformation se trouve le concept de « lot unique », la capacité à fabriquer des produits personnalisés de manière économique avec la même efficacité qu'une production de masse (Almasbekkyzy et al., 2021).

Des systèmes de production flexibles et reconfigurables, optimisés par des systèmes cyberphysiques, une RA et une automatisation intelligente, permettent aux fabricants de s'adapter rapidement à l'évolution des besoins des clients. Ces systèmes facilitent les changements rapides, la planification dynamique de la production et les configurations modulaires des produits, permettant aux entreprises de proposer des offres sur mesure sans coûts prohibitifs ni compromis sur les délais (Boulitama et al., 2021).

De plus, l'intégration de l'analyse des données clients, de l'IoT et des boucles de rétroaction en temps réel permet aux entreprises d'anticiper les préférences et de personnaliser les produits en fonction des attentes de chacun. Cette capacité transforme le parcours client, de la conception du produit au service après-vente, en un processus interactif et basé sur les données, qui renforce la satisfaction, la fidélité et l'engagement à long terme (Ikegwu et al., 2022).

En conséquence, la transition d'une production de masse standardisée vers une personnalisation axée sur la demande représente un changement de paradigme dans la stratégie de la SC. Elle reflète la convergence de l'excellence opérationnelle et de l'intelligence marketing, où les systèmes de production ne sont plus seulement efficaces, mais aussi émotionnellement en phase avec les désirs des consommateurs. Les organisations qui intègrent avec succès ces capacités de l'I4.0 améliorent non seulement l'expérience client, mais se différencient également significativement sur des marchés saturés, se positionnant ainsi comme des innovateurs agiles et centrés sur le client dans la chaîne de valeur mondiale (Seyedghorban et al., 2020).

6. Conclusion

Cette revue de la littérature a apporté un éclairage complet sur l'impact transformateur des technologies de l'I4.0 sur la performance de la SCM. Elle a synthétisé un large éventail d'études théoriques et empiriques pour illustrer comment les outils digitaux émergents de l'IoT et de l'IA

à la blockchain et aux jumeaux digitaux qui transforment fondamentalement les SCs en écosystèmes plus agiles, résilients et centrés sur le client. Grâce à une analyse thématique de contributions académiques récentes, cette étude a démontré que l'I4.0 n'est pas seulement une évolution technologique, mais une révolution stratégique qui redéfinit les paradigmes opérationnels dans tous les secteurs.

Les résultats soulignent que l'intégration des technologies I4.0 contribue à une visibilité et une traçabilité accrue, permettant un suivi en temps réel et un renforcement de la confiance tout au long de la SC. Ces capacités favorisent la prise de décision proactive et une réponse rapide aux perturbations. L'optimisation des prévisions et de la planification a également été mise en avant, illustrant comment l'analyse du Big Data et les modèles basés sur l'IA peuvent améliorer la prévisibilité de la demande et le contrôle des stocks. L'étude a également démontré que l'automatisation et l'efficacité opérationnelle, rendues possibles par la robotique et l'entrepôt intelligent, réduisent considérablement les erreurs humaines, augmentent la productivité et diminuent les coûts opérationnels.

Tout aussi important, l'étude a souligné le rôle de l'I4.0 dans le développement de l'agilité et de la résilience, notamment grâce aux outils de simulation et aux jumeaux digitaux, qui favorisent les réponses adaptatives à la volatilité des marchés et aux chocs externes. Les avantages économiques de l'I4.0 se sont manifestés en termes de réduction des coûts, d'utilisation des actifs et de stratégies de gestion des stocks optimisée, offrant ainsi un argument commercial convaincant en faveur de la transformation digitale. De plus, la satisfaction client et la personnalisation sont apparues comme des résultats stratégiques, l'I4.0 permettant une personnalisation de masse, une livraison plus rapide et une qualité de service améliorée, alignant ainsi davantage les opérations sur les attentes des consommateurs.

D'un point de vue académique, cette étude comble une lacune cruciale en proposant une synthèse structurée reliant les avancées technologiques à des indicateurs de performance spécifiques de SCM, tels que l'efficacité, l'agilité, la réactivité, la résilience et le service client. Il révèle également que, si la littérature est riche en perspectives descriptives, les validations empiriques restent limitées en portée et en profondeur, notamment dans des contextes régionaux ou sectoriels variés.

Les recherches futures devraient viser à combler ces limites en explorant des études comparatives entre secteurs et zones géographiques, en adoptant des modèles longitudinaux et en intégrant des évaluations de performance multicritères. Il est également essentiel d'étudier les facteurs organisationnels, culturels et humains qui conditionnent la réussite de l'adoption de l'I4.0, élargissant ainsi la compréhension de la transformation digitale d'un point de vue sociotechnique.

En conclusion, l'I4.0 représente à la fois une opportunité et un défi : un changement de paradigme qui oblige les organisations à repenser l'architecture, les capacités et les priorités stratégiques de leur SC. Alors que les frontières entre les mondes numérique et physique s'estompent, les entreprises qui parviennent à aligner l'innovation technologique sur des objectifs de performance seront mieux positionnées pour prospérer dans un paysage mondial de plus en plus complexe et concurrentiel.

Références :

- (1). Akbar, H. M., & Isfianadewi, D. (2023). The role of supply chain resilience to relationships supply chain risk management culture and firm performance during disruption. *International Journal of Research in Business and Social Science* (2147- 4478), 12(2), 643–652. <https://doi.org/10.20525/ijrbs.v12i2.2392>
- (2). Al Humdan, E., Shi, Y., & Behnia, M. (2020). Supply chain agility: a systematic review of definitions, enablers and performance implications. *International Journal of Physical*

- Distribution and Logistics Management*, 50(2), 287–312. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2019-0192>
- (3). Albalushi, J., Mishra, R., & Abebe, M. (2023). Supply Chain Resilience Meets Quality Management. *International Journal of Professional Business Review*, 8(12), e04165. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i12.4165>
 - (4). Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. In *Engineering Science and Technology, an International Journal* (Vol. 22, Issue 3, pp. 899–919). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
 - (5). Al-Madhagy Taufiq-Hail, G., Alanzi, A. R. A., Yusof, S. A. M., & MadallahAlruwail, M. A. (2021). Software as a service (saas) cloud computing: An empirical investigation on university students' perception. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*, 16, 213–253. <https://doi.org/10.28945/4740>
 - (6). Almasbekkyzy, A., Abdikerim, D., Nabi, D., Abdallah, Y. O., & Shehab, E. (2021, April 28). Digital Maturity and Readiness Model for Multiple-Case of Kazakhstan Large Companies. *SIST 2021 - 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies*. <https://doi.org/10.1109/SIST50301.2021.9465912>
 - (7). Al-Talib, M., Melhem, W. Y., Anosike, A. I., Garza Reyes, J. A., Nadeem, S. P., & Kumar, A. (2020). Achieving resilience in the supply chain by applying IoT technology. *Procedia CIRP*, 91, 752–757. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.231>
 - (8). Arzu Akyuz, G., & Erman Erkan, T. (2010). Supply chain performance measurement: A literature review. In *International Journal of Production Research* (Vol. 48, Issue 17, pp. 5137–5155). <https://doi.org/10.1080/00207540903089536>
 - (9). Asadollahi-Yazdi, E., Couzon, P., Nguyen, N. Q., Ouazene, Y., & Yalaoui, F. (2020). Industry 4.0: Revolution or Evolution? *American Journal of Operations Research*, 10(06), 241–268. <https://doi.org/10.4236/ajor.2020.106014>
 - (10). Beimborn, D., Miletzki, T., & Wenzel, S. (2011). Platform as a Service (PaaS). *WIRTSCHAFTSINFORMATIK*, 53(6), 371–375. <https://doi.org/10.1007/s11576-011-0294-y>
 - (11). Bekmurzaeva, R., & Kovalev, G. S. (2023). Industry 4.0: The Fourth Industrial Revolution. *SHS Web of Conferences*, 172, 02011. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202317202011>
 - (12). Boulitama, O., Chercheur, D., Sabri, K., & De, A. (2021). *L'impact de la covid-19 sur la chaine logistique marocaine The impact of covid-19 on the Moroccan supply chain*. 2(3), 165–181. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4817869>
 - (13). Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>
 - (14). Chari, A., Niedenzu, D., Despeisse, M., Machado, C. G., Azevedo, J. D., Boavida-Dias, R., & Johansson, B. (2022). Dynamic capabilities for circular manufacturing supply chains—Exploring the role of Industry 4.0 and resilience. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2500–2517. <https://doi.org/10.1002/bse.3040>
 - (15). Chauhan, S., Singh, R., Gehlot, A., Akram, S. V., Twala, B., & Priyadarshi, N. (2023). Digitalization of Supply Chain Management with Industry 4.0 Enabling Technologies: A Sustainable Perspective. *Processes*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/pr11010096>
 - (16). Dabic-Miletic, S. (2023). Advanced Technologies in Smart Factories: A Cornerstone of Industry 4.0. *Journal of Industrial Intelligence*, 1(3), 148–157. <https://doi.org/10.56578/jii010302>
 - (17). Dalal, S., Lilhore, U. K., Simaiya, S., Radulescu, M., & Belascu, L. (2024). Improving efficiency and sustainability via supply chain optimization through CNNs and BiLSTM. *Technological Forecasting and Social Change*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123841>
 - (18). Demir, S., Paksoy, T., & Kochan, C. G. (2020). Logistics 4.0: SCM in Industry 4.0 Era. In *Logistics 4.0* (pp. 15–26). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429327636-3>
 - (19). Dhamija, P., Bedi, M., & Gupta, M. L. (2020). Industry 4.0 and supply chain management: A methodological review. In *International Journal of Business Analytics* (Vol. 7, Issue 1, pp. 1–23). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/IJBAN.2020010101>

- (20). Doval, E. (2020). ORGANIZATIONAL PERFORMANCE BY THE PROCESS OF KNOWLEDGE CREATION. *Review of General Management*, 32(2), 2020.
- (21). Du, C. (2021). Logistics and Warehousing Intelligent Management and Optimization Based on Radio Frequency Identification Technology. *Journal of Sensors*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2225465>
- (22). Du, Y., Hu, X., & Vakil, K. (2021). Systematic literature review on the supply chain agility for manufacturer and consumer. *International Journal of Consumer Studies*, 45(4), 581–616. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12645>
- (23). Elkazini, R. (2024). THE IMPACT OF INDUSTRY 4.0 ADOPTION LEVEL ON SUPPLY CHAIN AGILITY AND SUPPLY CHAIN RESILIENCE: MOROCCAN CASE. *Advances and Applications in Statistics*, 91(4), 515–537. <https://doi.org/10.17654/0972361724028>
- (24). Escobedo, F., Cruz-Tarrillo, J. J., Aguirre Reyes, E. M., Morillo Galarza, F. W., Jiménez Noblecilla, V. H., Lamadrid Vela, C. A., & Hernandez, R. M. (2024). Importance of Customer Service Channels, Services, and Products in Financial Culture. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 13(2), 229. <https://doi.org/10.36941/ajis-2024-0045>
- (25). Ezmigna, I., & Omain, S. Z. (2023). The Impact of Using Technology Integration on Supply Chain Functions and Stages. In *Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 470, pp. 957–967). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28314-7_81
- (26). Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2021). Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. *Production Planning and Control*, 32(1), 63–81. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1712487>
- (27). Fiedor, P., & Ortyl, J. (2020). A new approach to micromachining: High-precision and innovative additive manufacturing solutions based on photopolymerization technology. *Materials*, 13(13), 1–25. <https://doi.org/10.3390/ma13132951>
- (28). 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- (29). G. Prem Prathyush, & G. Pavan Durga Kumar. (2022). A Study of Cybersecurity and its Role in Information Technology along with the Emerging Trends and Latest Technologies. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 854–858. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-7576>
- (30). Gadre, M. (2020). Industry 4.0-Digital Transformation, Challenges and Benefits. *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, 13(2), 139–149. www.thedualarity.com
- (31). Gao, Z., Wanyama, T., Singh, I., Gadhri, A., & Schmidt, R. (2020). From industry 4.0 to robotics 4.0 - A conceptual framework for collaborative and intelligent robotic systems. *Procedia Manufacturing*, 46, 591–599. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.085>
- (32). Hald, K. S., & Mouritsen, J. (2018). The evolution of performance measurement systems in a supply chain: A longitudinal case study on the role of interorganisational factors. *International Journal of Production Economics*, 205, 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.021>
- (33). Har, L. L., Rashid, U. K., Chuan, L. Te, Sen, S. C., & Xia, L. Y. (2022). Revolution of Retail Industry: From Perspective of Retail 1.0 to 4.0. *Procedia Computer Science*, 200, 1615–1625. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.362>
- (34). Hofmann, E., Sternberg, H., Chen, H., Pflaum, A., & Prockl, G. (2019). Supply chain management and Industry 4.0: conducting research in the digital age. In *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* (Vol. 49, Issue 10, pp. 945–955). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-11-2019-399>
- (35). Hong, Y. (2022). Operation Optimization of Supply Chain Financial System Based on System Dynamics. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3005816>
- (36). Huang, J., Yang, W., & Tu, Y. (2020). Financing mode decision in a supply chain with financial constraint. *International Journal of Production Economics*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.014>

- (37). Ikegwu, A. C., Nweke, H. F., Anikwe, C. V., Alo, U. R., & Okonkwo, O. R. (2022). Big data analytics for data-driven industry: a review of data sources, tools, challenges, solutions, and research directions. *Cluster Computing*, 25(5), 3343–3387. <https://doi.org/10.1007/s10586-022-03568-5>
- (38). Ivanov, D. (2018). New drivers for supply chain structural dynamics and resilience: Sustainability, industry 4.0, self-adaptation. In *International Series in Operations Research and Management Science* (Vol. 265, pp. 293–313). Springer New York LLC. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69305-7_10
- (39). Ivanov, D., Tsipoulanis, A., & Schönberger, J. (2019). *Digital Supply Chain, Smart Operations and Industry 4.0* (pp. 481–526). https://doi.org/10.1007/978-3-319-94313-8_16
- (40). Jayashree, S., Malarvizhi, C. A., Nurul, M., & Reza, H. (2019). THE CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF INDUSTRY 4.0-A REVIEW. In *Asia Proceedings of Social Sciences* (Vol. 5, Issue 2). APSS. <http://connectingasia.org/scientific-committee/>
- (41). Kacprzyk, J., Kaynak, O., Pedrycz, W., Polycarpou, M. M., & Wang, J. (2024). *Smart City Development for Optimizing City Efficiency, Improving Quality of Life, and Fostering Digital Economy*. Springer.
- (42). Khan, A. J., Asifa Jahangir, Waseem Ul Hameed, & Jawad Iqbal. (2022). Effective Management: A Catalyst for Organizational Performance. *IRASD Journal of Management*, 4(2), 152–161. <https://doi.org/10.52131/jom.2022.0401.0070>
- (43). Khumaidi, A. (2020). Design of Warehouse Management System for Fresh Product in Supply Chain Network. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(1).
- (44). Krishna Reddy, R. (2019). *Supply chain wide transformation of traditional industry to industry 4.0 Optimization of Scheduling problems in manufacturing Industries View project*. <https://www.researchgate.net/publication/313383680>
- (45). Kunovjanek, M., Knofius, N., & Reiner, G. (2022). Additive manufacturing and supply chains—a systematic review. *Production Planning and Control*, 33(13), 1231–1251. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1857874>
- (46). Liu, K. P., Chiu, W., Chu, J., & Zheng, L. J. (2022). The Impact of Digitalization on Supply Chain Integration and Performance. *Journal of Global Information Management*, 30(1), 1–20. <https://doi.org/10.4018/jgim.311450>
- (47). Moufaddal, M., Benghabrit, A., & Bouhaddou, I. (2019, October 1). Industry 4.0: A roadmap to digital Supply Chains. *ICSSD 2019 - International Conference on Smart Systems and Data Science*. <https://doi.org/10.1109/ICSSD47982.2019.9002751>
- (48). Obukhova, A., Merzlyakova, E., Ershova, I., & Karakulina, K. (2020). Introduction of digital technologies in the enterprise. *E3S Web of Conferences*, 159. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015904004>
- (49). Pekarcikova, M., Trebuna, P., Kliment, M., & Rosocha, L. (2020). Material flow optimization through e-kanban system simulation. *International Journal of Simulation Modelling*, 19(2), 243–254. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM19-2-513>
- (50). Pettit, T. J., Croxton, K. L., & Fiksel, J. (2019). The Evolution of Resilience in Supply Chain Management: A Retrospective on Ensuring Supply Chain Resilience. *Journal of Business Logistics*, 40(1), 56–65. <https://doi.org/10.1111/jbl.12202>
- (51). Pietukhov, R., Ahtamad, M., Faraji-Niri, M., & El-Said, T. (2023). A hybrid forecasting model with logistic regression and neural networks for improving key performance indicators in supply chains. *Supply Chain Analytics*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100041>
- (52). Prashan De Silva, & Harishani Liyanage. (2019). Augmented Reality in Warehouse Operations: Possibilities and Dynamics in Sri Lankan Context. *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*.
- (53). Rahman, M. S., Khalil, I., Moustafa, N., Kalapaaking, A. P., & Bouras, A. (2022). A Blockchain-Enabled Privacy-Preserving Verifiable Query Framework for Securing Cloud-Assisted Industrial Internet of Things Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(7), 5007–5017. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3105527>

- (54). Rawat, R., & Yadav, R. (2021). Big Data: Big data analysis, issues and challenges and technologies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1022(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1022/1/012014>
- (55). Remondino, M. (2020). Augmented reality in logistics: qualitative analysis for a managerial perspective. In *Int. J. Logistics Systems and Management* (Vol. 36, Issue 1).
- (56). Rinaldi, M., Caterino, M., Manco, P., Fera, M., & Macchiaroli, R. (2021). The impact of Additive Manufacturing on Supply Chain design: A simulation study. *Procedia Computer Science*, 180, 446–455. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.261>
- (57). Sachin S. Kamble, Rahul S. Mor, & Amine Belhadi. (2023). *Digital Transformation and Industry 4.0 for Sustainable Supply Chain Performance*. Springer.
- (58). Sanatçi, A. (2023). “Sectoral Use And Applications Of Augmented Reality.” In *IMPLEMENTATION OF DISRUPTIVE TECHNOLOGIES IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*. International Trade and Logistics Management. <https://www.researchgate.net/publication/377851956>
- (59). Sassi, A., Ali, M. Ben, Hadini, M., Ifassiouen, H., & Rifai, S. (2021). Nonlinear forced vibration of multi-span beams carrying several concentrated elements View project The relation between Industry 4.0 and Supply Chain 4.0 and the impact of their implementation on companies’ performance: State of the Art. In *International Journal of Innovation and Applied Studies* (Vol. 31, Issue 4). <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- (60). Sebastián Rovira, Economic Affairs Officer of the Economic Commission for Latin America, & Caribbean (ECLAC). (2022). *Digital technologies for a new future*. www.cepal.org/apps
- (61). Seyedghorban, Z., Tahernejad, H., Meriton, R., & Graham, G. (2020). Supply chain digitalization: past, present and future. *Production Planning and Control*, 31(2–3), 96–114. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1631461>
- (62). Shyshkin, V., Onyshchenko, O., & Cherniak, K. (2020). Modern approaches to warehouse logistics management. *Management and Entrepreneurship: Trends of Development*, 2(12), 105–117. <https://doi.org/10.26661/2522-1566/2020-2/12-08>
- (63). Singh, R., Gehlot, A., Akram, S. V., Gupta, L. R., Jena, M. K., Prakash, C., Singh, S., & Kumar, R. (2021). Cloud manufacturing, internet of things-assisted manufacturing and 3D printing technology: Reliable tools for sustainable construction. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 13). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su13137327>
- (64). Souad HABBANI, & Yasmina EL JAMOSSI. (2022). La contribution du numérique au renforcement de la résilience en période de crise et son impact sur la performance des PME marocaines. *International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics*, 3(4–3).
- (65). Tubis, A. A., Jodejko-Pietruczuk, A., & Nowakowski, T. (2024). Use of Augmented Reality as a Tool to Support Cargo Handling Operations at the CARGO Air Terminal. *Sensors*, 24(4), 1099. <https://doi.org/10.3390/s24041099>
- (66). Tubis, A. A., Koliński, A., & Poturaj, H. (2024). Digital Maturity of Logistics Processes Assessed in the Areas of Technological Support for Performance Measurement, Employees, and Process Management. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/app14177893>
- (67). Vogel-Heuser, B., & Wimmer, M. (2023). *Digital Transformation Core Technologies and Emerging Topics from a Computer Science Perspective*. Springer.
- (68). Wong, W. P., Anwar, M. F., & Soh, K. L. (2024). Transportation 4.0 in supply chain management: State-of-the-art and future directions towards 5.0 in the transportation sector. *Operations Management Research*. <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00471-7>
- (69). Zheng, X., Yu, H., & Atkins, A. (2008). An overview of simulation in Supply Chains. *Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge: New Manufacturing Techniques and Their Role in Improving Enterprise Performance*, 407–416. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-241-8_42
- (70). Zijm, H., Klumpp, M., Heragu, S., & Regattieri, A. (2019). Operations, Logistics and Supply Chain Management: Definitions and Objectives. In *Lecture Notes in Logistics* (pp. 27–42). Springer Science and Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92447-2_3