

# CIGI QUALITA MOSIM 2023

## L'accès à la technologie moderne pour les PME manufacturières

ALEXANDRA ROUSSEAU<sup>1</sup>, SEBASTIEN GAMACHE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université du Québec à Trois-Rivières  
3351 Bd des Forges, Trois-Rivières, QC G8Z 4M3, Canada  
alexandra.rousseau@uqtr.ca

---

### Résumé

Le contexte concurrentiel et environnemental dans lequel évoluent présentement les Petites et Moyennes Entreprises (PME) manufacturières les pousse à réaliser leur transformation numérique. Cependant, face à une faible évolution des PME manufacturières vers l'industrie 4.0, il convient de se demander si l'un des problèmes menant à cette stagnation est leur difficulté à accéder et à maîtriser les technologies liées à la quatrième révolution industrielle. Cet article consiste en une revue de littérature systématique appliquant la méthodologie PRISMA de manière à explorer les facteurs influençant l'accès à ces technologies chez les PME manufacturières et d'en constater leurs interrelations. Ceci permettra ainsi de mieux comprendre les différentes solutions qui existent pour augmenter le degré d'accès aux technologies numériques dans un contexte de PME. Sept facteurs ressortent de l'analyse des 29 documents retenus dans cette revue. Ces sept facteurs d'impact explicités dans cet article sont le coût technologique, la gestion managériale des PME, l'accès à l'information, la servicisation, l'aide gouvernementale, la responsabilité des fournisseurs de technologie 4.0 ainsi que la collaboration interorganisation. Des recommandations sont émises en conclusion, afin de permettre un apport de solutions concrètes pouvant aider les PME manufacturières à accélérer et réaliser un virage numérique avec succès.

### Abstract

The competitive and environmental context in which manufacturing Small and Medium Enterprises (SMEs) are currently evolving is pushing them to achieve their digital transformation. However, faced with a weak evolution of manufacturing SMEs towards Industry 4.0, it is worth asking whether one of the problems leading to this stagnation is their difficulty in accessing and mastering technologies related to the fourth industrial revolution. This paper consists of a systematic literature review applying the PRISMA methodology in order to explore the factors influencing the access to these technologies among manufacturing SMEs and to observe their interrelationships. This will thus make it possible to better understand the different solutions that exist to increase the degree of access to digital technologies in an SME context. Seven factors emerge from the analysis of the 29 documents included in this review. These seven impact factors explained in this paper are the technological cost, the managerial practices, the access to information, the servitization, the government's assistance, the responsibility of technology 4.0 suppliers as well as the inter-organization collaboration. Recommendations are issued in conclusion, in order to allow the contribution of concrete solutions that can help manufacturing SMEs to accelerate and successfully achieve their digital transformation.

**Mots clés** – Technologie moderne, Accès, Industrie 4.0, PME, manufacturier

**Keywords** – Modern technology, Access, Industry 4.0, SME, manufacturing

---

### 1 INTRODUCTION

Les petites et moyennes entreprises (PME) manufacturières représentent 99,8% des organisations au Canada (Gouvernement du Canada, 2020). Selon la Commission européenne, il s'agit d'entreprises employant moins de 250 travailleurs, et ayant un chiffre d'affaires de moins de 50 millions d'Euros (Matt, Modrák et Zsifkovits, 2020). C'est cette définition qui est employée dans le présent document en raison de son utilisation généralisée dans les documents de référence. Les PME jouent un rôle important au sein de la santé économique d'une région (Matt et al., 2020). En effet, tel que le reportent Matt et al. (2020), dans plusieurs pays, dont particulièrement les membres de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), les PME contribuent à la création de valeur, générant en moyenne entre 50% et 60% de la valeur ajoutée dans ces pays. Étant ainsi des contributrices

significatives, l'équilibre financier de ces acteurs économiques est essentiel. Dans le contexte de la quatrième révolution industrielle (industrie 4.0), les PME doivent mettre en place des stratégies spécifiques, afin de conserver cet équilibre pouvant être fragile dans certains contextes. Elles doivent concilier le manque de ressources comme la main-d'œuvre, les matières premières et les ressources financières avec les défis d'un milieu volatile qui évolue à vitesse fulgurante (Teerasoponpong et Sopadang, 2022). Tel que l'avancent plusieurs auteurs comme Dossou, Laouénan et Didier (2022), Chavez, Hauge et Bellgran, (2021) ainsi que Buer, Strandhagen, Semini et Strandhagen, (2021), l'intégration et l'implantation de différentes technologies modernes est l'une des solutions directes prisées pour contrer ces difficultés. Cependant, le ratio de virages technologiques reste très faible (Ghobakhloo, Iranmanesh, Vilkas, Grybauskas et Amran, 2022). Selon une étude réalisée

par la Banque du Canada, les PME investissent encore trop peu dans les actifs incorporels, soit les différents types de technologies 4.0, comparativement aux actifs corporels, qui font référence aux acquisitions mécaniques seulement. En effet, en 2019 c'est un ratio de 1 pour 7 qui est enregistré sur ces investissements respectifs (La PME numérique, 2020). Afin de répondre à cette problématique, plusieurs chercheurs se sont penchés sur le sujet dans les dernières années, et de façon plus active depuis 2018 (Zheng, Ardolino, Bacchetti et Perona, 2021). Les PME manufacturières accumulent une dette technologique, c'est-à-dire qu'elles n'adoptent pas les nouvelles technologies à la même vitesse que ces dernières deviennent disponibles sur le marché et sont documentées (Hansen et Bøgh, 2021). L'une des grandes problématiques inhérentes à l'application technologique est d'abord son accès, souvent en raison de la capacité financière moindre comparativement aux plus grandes entreprises, ainsi que du manque d'expertise de ces acteurs (Martikkala, David, Lobov, Lanz et Ituarte, 2021). Cependant, il s'agit parfois des besoins mal évalués au sein de l'organisation, ou encore, du manque d'information interne qui sont des causes significatives (Chavez, Hauge et Bellgran, 2021). Le coût des technologies modernes est donc un frein à son acquisition par les PME, qui ont actuellement besoin de leviers financiers pour supporter ces investissements (Chavez et al., 2021). L'alignement de la direction, étant la source du plan stratégique d'une organisation, nécessite d'être en harmonie avec le virage numérique pour que ce dernier ait lieu (Ghobakhloo et Ching, 2019). D'autres conséquences découlent de l'énumération précédente comme l'acquisition de technologies non adaptées, un retour sur investissement retardé et d'autres, dont possiblement des échecs d'intégrations technologiques.

Afin de prévenir ces situations indésirables, certains auteurs cherchent à comprendre comment faciliter l'intégration à l'industrie 4.0 pour les PME manufacturières en ciblant les bases nécessaires à l'application des différentes technologies (Charbonneau et Gamache, 2021). C'est en proposant des méthodes d'évaluation du niveau numérique (Jayashree, Reza, Malarvizhi et Mohiuddin, 2021), ainsi que des modèles à suivre pour l'intégration (Trstenjak, Opetuk, Cajner et Hegedić, 2022) qu'ils s'y prennent. Cependant, selon l'ordre logique d'une relation fournisseur à client, avant même d'implanter une nouvelle technologie, l'un des premiers défis que rencontre la PME est l'accès de la bonne solution. Tel qu'il sera explicité dans la méthodologie de recherche de cette revue, cette problématique est souvent décrite indirectement dans les documents de recherche. C'est un sujet souvent abordé en passant par l'énumération des raisons d'inaccessibilité ou encore par la proposition d'une solution approfondie selon le sujet ponctuel de l'écrit. La question suivante est donc posée : Quels sont les facteurs influençant l'accès à la technologie 4.0 chez les PME manufacturières ? Y a-t-il des liaisons entre eux ? Si oui, quelles sont-elles ?

Le présent article consiste donc en une revue de littérature systématique explorant les facteurs d'impact l'accès de la technologie moderne dans les PME manufacturières. L'objectif de cette exploration est de mettre en lumière ces différents facteurs étudiés jusqu'à ce jour, de les mettre en relation et d'en ressortir des recommandations pour de futurs approfondissements.

L'article est divisé comme suit : la méthodologie de recherche est présentée, suivie des résultats ainsi que d'une discussion et d'une conclusion. Différents facteurs influents sur l'accès technologique sont détaillés résultants de cette revue de littérature systématique. D'abord, le coût des technologies est

exploré (Cottrino, Sebastián et González-Gaya, 2020). Ensuite, la diffusion de l'information entourant la quatrième révolution industrielle est également citée et identifiée (Chavez et al., 2022). Aussi, la gestion managériale des PME est explorée (Buer et al., 2021). La servicisation est également explicitée et référée par différents auteurs tels que Bettiol, Capestro, Di Maria et Micelli (2021), Bortoluzzi, Chiarvesio, Romanello, Tabacco et Veglio (2022) ainsi que Ramírez-Durán, Berges et Illarramendi (2021). De plus, l'aide offerte par les gouvernements à travers le monde, ainsi que la responsabilité des fournisseurs de technologies sont des aspects ayant un impact sur l'accès aux technologies modernes chez les PME manufacturières (Ghobakhloo et al., 2019). Finalement, la collaboration interorganisations est explorée et testée (Brodeur, Pellerin et Deschamps, 2022).

Dans cet ouvrage, la technologie moderne est également référée comme étant intelligente, 4.0 ou encore de pointe. Il est question de tout outil s'alignant avec l'application des neuf piliers de l'industrie 4.0, soit la réalité augmentée, l'analyse de données de masse (Big Data Analytics), le robot autonome, le jumeau numérique et la simulation, l'intégration horizontale et verticale numérique, l'internet des objets (IoT), le Cloud, la cybersécurité ainsi que la fabrication additive (Rübmann, Lorenz, Gerbert et al., 2015).

## 2 METHODOLOGIE

La méthodologie de revue de littérature systématique se base sur les lignes directrices de la « Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses » méthode PRISMA (Moher et al., 2009). Quatre étapes distinctes permettent d'identifier les articles pertinents à synthétiser pour une revue de littérature systématique. La première étape consiste à l'identification des mots clés, ainsi que des sources de données pour obtenir un premier tri de matière d'analyse. La seconde étape est la sélection, où les doublons d'informations sont éliminés et un tri par lecture des titres seulement est réalisé. Par la suite, l'éligibilité permet de préciser le choix avec certains critères propres à l'objectif de recherche. Dans cette troisième étape, une lecture des résumés permet de juger si le document respecte ou non ces critères. Finalement, l'inclusion identifie les données réellement conservées d'où proviennent les résultats de la revue de littérature systématique.

La base de données utilisée est Scopus, soit l'un des outils académiques multidisciplinaires en ligne les plus utilisés contenant de la matière évaluée par des pairs (Bittencourt, Alves et Leão, 2021). Il s'agit de l'unique base de données utilisée en raison des accès autorisés à l'auteur du présent article, ainsi que de la notoriété de cette base de données.

Avant l'application de la méthode PRISMA, une étape de recherche exploratoire a permis de préciser le choix des mots clés retenus dans l'étape d'identification pour cette revue de littérature. Dans cet examen, 57 articles ont été analysés en entièreté selon trois différentes méthodes d'accessibilité, soit selon une recherche via certains mots clés, en référence dans certains articles lus. Les mots clés recherchés durant l'exploration sont « SME », « manufacturing », « challenge », « ressources », « supply chain », « extended entreprise », « collaboration », « integration », « 4.0 », « technology », « application » et « need » selon différentes combinaisons. Ces dernières ne combinaient par contre pas plus de trois mots clés simultanément, afin de conserver un large éventail de résultats, permettant d'identifier les autres mots les plus utilisés dans les types d'articles traitant du sujet de l'accès à la technologie de l'industrie 4.0. Cette exploration a permis de constater que la plupart des articles traitant d'accessibilité à la technologie le

font de façon indirecte, par l'avancement d'une solution ponctuelle ou d'une étude précise et approfondie justifiée par cette problématique. Étant ainsi le sujet premier de ces documents, le titre, le résumé, ainsi que le contenu de ces ouvrages réfèrent à la solution ponctuelle plutôt qu'à la problématique générale d'accessibilité technologique. De ce fait, les mots clés choisis dans l'étape d'identification de la revue de littérature systématique reflètent les mots les plus souvent utilisés dans ces 57 articles de la phase d'exploration. Afin de s'assurer de n'avoir que des résultats faisant référence aux entreprises manufacturières, le terme « manufacturing » est ajouté en tant que verbe et nom commun. Bien qu'il soit parfois appelé différemment, le terme « Industry 4.0 » a toujours été utilisé dans les articles portant sur la quatrième révolution industrielle ayant des années de publications toujours d'actualité. Finalement, en raison du contexte décrit précédemment, qu'un seul des termes « Access », « Implementation », « Integration », « Challenge », « Need » ainsi qu'« Application » est jugé nécessaire dans la recherche, afin de focaliser cette dernière sur l'accès technologique. Ces mots clés sont ceux retenus comme étant davantage utilisés dans les documents consultés à l'exploration.

La recherche effectuée dans Scopus est donc la suivante: ["SME" OR "SMEs"] AND ["Manufacturing" OR "Manufacture"] AND "Industry 4.0" AND ["Access" OR "Implementation" OR "Integration" OR "Challenge" OR "Need" OR "Application"]. Ce choix de mots clés permet un premier filtre plus large, qui inclut une variété gérée dans les étapes suivantes de la méthodologie. La traduction française de cette recherche ne donne aucun résultat. 336 documents sont obtenus.

Les auteurs et titres des résultats ont été exportés dans Excel à partir de Scopus, afin de poursuivre la méthode PRISMA. La sélection de l'étape d'identification précédente ne comprend aucun doublon, vu l'unique base de données utilisée. Par contre, les documents sans auteurs ont été éliminés, car leurs textes ne sont pas accessibles, ce qui représente 21 dossiers. Quatre écrits sont éliminés directement pour une raison d'accès aux maisons d'édition. Vu les mots clés recherchés, tous les résultats sont en anglais.

Un premier tri est réalisé par la lecture des titres seulement afin de déterminer si le texte faisait référence à l'accessibilité technologique ou non. 116 documents sont conservés. Un second tri est par la suite effectué par la lecture des résumés. Un document est retiré de l'analyse s'il est jugé qu'il ne semble contenir aucune piste de solution pour une situation problématique d'application de technologie 4.0 donnée. Il s'agit là du critère d'élimination. De ce principe, 39 articles sont conservés pour une lecture complète. Dix documents sont finalement exclus de la revue de littérature systématique, car ces derniers sont considérés non pertinents en raison de leur contenu non aligné à l'objectif de l'article ou encore, par jugement d'un manque de données complètes et utiles. La figure 1 schématise la méthodologie suivie de la présente revue de littérature systématique.

### 3 REVUE DES OUTILS

Dans les 29 documents retenus, sept pistes de solution distinctes ont été soulevées et élaborées, car elles sont directement alignées avec l'objectif d'identifier des facteurs impactant l'accessibilité des technologies intelligentes dans les PME. Le tableau 1 identifie les solutions abordées par élément de la revue.

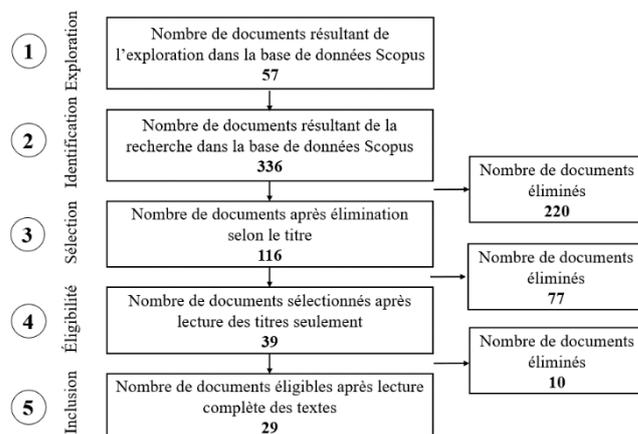


Figure 1 - Organigramme PRISMA avec procédure exploratoire et résultats par étape

4 TABLEAU 1 : FACTEURS D'IMPACT DANS LA REVUE DE LITTÉRATURE

Référence	Coût	Accès à l'information	Gestion managériale	Service	Aide gouvernementale	Fournisseurs de technologie	Collaboration inter-entreprise
(Abdulnour, Baril, Abdulnour et Gamache, 2022)		x					
(Beltrami et Orzes, 2021)	x						
(Bettiol et al., 2021)				x			
(Bortoluzzi et al., 2022)				x			
(Brodeur et al., 2022)							x
(Buer et al., 2021)			x				
(Chavez et al., 2022)	x	x	x				
(Cotrino et al., 2020)	x	x					
(Dossou et al., 2022)		x					
(Gamache, Abdul-Nour et Baril, 2020)	x						
(García, Bregon et Martínez-Prieto, 2022)	x						
(Ghobakhloo et al., 2019)		x	x		x	x	
(Ghobakhloo et al., 2022)	x		x		x	x	
(Grube, Malik et Bilberg, 2017)	x						
(Haben, Vogel-Heuser, Najjari, Seitz, Trunzer et Salazar, 2021)	x						
(Hansen et al., 2021)	x						
(Łabędzka, 2021)		x			x		
(Leona Niemeyer, Gehrke, Müllr, Küsters et Gries, 2020)	x						
(Louw et Walker, 2018)	x						
(Martikkala et al., 2021)	x						
(Masood et Sonntag, 2020)			x				
(Matt et al., 2020)	x						
(Mittal, Khan, Romero et Wuest, 2018)		x	x				
(Mittal, Khan, Purohit, Menon, Romero et Wuest, 2019)	x						
(Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo et Barbaray, 2018)	x	x					
(Ramírez-Durán et la., 2021)				x		x	
(Schönfuß, McFarlane, Hawkrige, Salter, Athanassopoulou et Silva, 2021)		x					
(Trstenjak et al., 2022)		x	x				
(Vrchota, Řehoř, Maříková et Pech, 2021)			x				
Total de documents	15	10	8	3	3	3	1
Pourcentage des documents	52%	34%	28%	10%	10%	10%	3%

Plus de la moitié des documents de la revue, soit 52%, mentionnent des facteurs orientés vers l'accès à des technologies à faibles coûts, soit des solutions qui ne sont pas surélaborées par rapport au besoin. Beltrami et al. (2021), Chavez et al. (2021), Cotrino et al. (2020), Gamache et al. (2020), Haben et al. (2021), Hansen et al. (2021), Louw et al. (2018), Martikkala et al. (2021), Matt et al. (2020) ainsi que Mittal et al. (2019) donnent tous des exemples concrets de technologies de pointe à faible coût. Ils mettent en lumière la possibilité de développer certaines composantes de façon à minimiser la valeur tout en conservant les critères de base nécessaires au contexte d'industrie 4.0, comme la connectivité, en proposant des méthodes aux fabricants pour y arriver. Les technologies abordées sont la fabrication additive, des composantes de robots autonomes, des systèmes multiagents (MAS), des capteurs, des puces d'identification par radiofréquence (RFID) ainsi que différents développements comme le Cloud, la simulation et l'internet des objets (IoT). Certaines technologies de pointe débutent leur entrée dans le marché accessible, comme l'intelligence artificielle (IA) (Matt et al., 2020). Garcia et al. (2022) et Leona Niemeyer et al. (2020) proposent le « retrofitting » comme solution pour rendre plus accessibles les technologies de l'industrie 4.0. Ce principe permet la réutilisation d'équipement déjà en fonction, afin d'adapter la technologie et de la rendre moderne en y ajoutant certains attributs (Moreno, De los Rios, Rowe et Charnley, 2016). Une proposition de trousse d'accessoires, tels que des capteurs et autres, est avancée pour faciliter l'accès à cette solution (Leona Niemeyer et al., 2020).

Le défi mentionné pour implanter ce genre de solution est d'abord de l'incorporer à l'analyse des besoins des PME (García et al., 2022). Ghobakhloo et al. (2022) et Grube et al. (2017) présentent des solutions axées sur le niveau de complexité des technologies. Il s'agit de l'une des barrières les plus significatives de l'adoption des outils de l'industrie 4.0. *En simplifiant les solutions offertes aux PME manufacturières, l'investissement requis peut être amoindri* par le fait que possiblement, la technologie ne soit pas surélaborée et qu'elle soit plus rapide et simple à intégrer à l'architecture présente du client. Les auteurs faisant référence à ce facteur du tableau 1 semblent considérer la prémisse que le choix technologique reste acceptable compte tenu des besoins selon les cas ponctuels discutés. Par exemple, dans l'article de Garcia et al. (2022), une solution de maintenance 4.0 à faible coût est développée considérant et comblant tous les besoins de l'entreprise pour cette situation donnée. Le choix du bon niveau d'automatisation d'une technologie moderne permet de prévenir certaines complications telles que le manque d'expertise interne pour le suivi autonome ou encore, l'inflexibilité apportée aux opérations s'y rapportant (Grube et al., 2017).

L'**accès à l'information** est mentionné dans 34% des articles de la revue de littérature. Les solutions pour contrer cette lacune sont souvent identifiées comme étant des facteurs des plus importants causant l'écart entre la théorie et la pratique concernant l'intégration digitale (Ghobakhloo et al., 2019). D'abord, Abdunour et al. (2022), Cotrino et al. (2020) ainsi que Ghobakhloo et al. (2019) proposent l'utilisation de feuilles de route. Il s'agit de plans à court ou à long terme pour l'application d'une solution spécifique (Mittal et al., 2018). Le développement de produits modulables, l'implantation du « lean manufacturing » et de l'agilité ainsi que l'utilisation de la simulation semblent être des étapes à inclure qui permettent d'augmenter le risque de succès d'une implantation de technologie moderne (Abdunour et al., 2022). De plus l'identification claire du besoin et la réalisation d'un plan

stratégique sont inévitables dans l'alignement de ces plans selon Cotrino et al. (2020). La nécessité de personnaliser une feuille de route spécifique au système en question, étant flexible et développé à court et long terme, peut compenser pour le risque technologique absorbé par l'organisation (Ghobakhloo et al., 2019). Moeuf et al. (2018) proposent un cadre, tandis que Chavez et al. (2022) et Mittal et al. (2018) des modèles de maturité. La différence entre ces propositions est qu'un cadre regroupe une méthode appliquant des procédures cohérentes, tandis que le modèle de maturité dicte un plan d'aspiration à un certain niveau pour un sujet donné (Mittal et al., 2018). L'autonomie, l'optimisation, le contrôle ainsi que la surveillance constante sont mis en lumière dans ces propositions (Moeuf et al., 2018). La flexibilité, la diversité, la connectivité, le savoir, la redondance ainsi que la robustesse sont six caractéristiques augmentant les chances de succès lorsqu'un tel modèle est suivi (Chavez et al., 2021). La considération de la situation initiale du système manufacturier est essentielle à toute utilisation d'un outil d'aide à la décision (Mittal et al., 2018). Dossou et al. (2022) montrent un tel outil technologique se basant sur la performance, tandis que Trstenjak et al. (2022) optent plutôt pour une évaluation du niveau de cette performance digitale. Cet outil regroupe trois critères clés, soit la planification de processus intelligent, les infrastructures ainsi que l'organisation des ressources humaines (Trstenjak et al., 2022). Finalement, Łabędzka (2021) et Schönfuß et al. (2021) se concentrent sur les programmes actuels de partage de connaissances sur l'industrie 4.0. Des exemples sont cités tels que « The Future Industry platform », un écosystème collaboratif d'entrepreneurs en transformation numérique ainsi que le « Catalonia's Digital Innovation Hub (DIH4CAT) » qui sont source de résultats concrets d'aide à l'intégration de nouvelles technologies (Łabędzka, 2021). Parfois supporté par les instances gouvernementales, le rôle de ces plateformes est de centraliser l'expertise, et ainsi d'accélérer l'accès à l'information pour les PME.

Près de 30% des documents analysés font référence à l'**impact managérial** accompagnant de façon inévitable l'implantation de solutions technologiques. Ghobakhloo et al. (2019) et Masood valorisent l'impact qu'a la direction sur l'accès à l'Industrie 4.0. La culture interne d'une organisation, l'attitude générale (Masood et al., 2020) ainsi que la volonté des dirigeants sont la base d'un virage vers cette quatrième révolution (Ghobakhloo et al., 2019). Buer et al. (2021) et Mittal et al. (2018) s'attardent sur l'attribution des ressources dans les PME manufacturières. Dans la plupart des cas, le département recueillant les employés ayant davantage d'expertise dans le domaine de la haute technologie est utilisé en recherche et développement seulement pour ajouter de la valeur aux produits fabriqués. Ils ont donc une expertise très ciblée, et qui n'est pas utilisée ailleurs au sein de l'organisation, comme pour l'amélioration interne des méthodes de production (Buer et al., 2021). De plus, dans ces documents, la rareté de contribution entre les PME et les universités, comparativement aux grandes entreprises manufacturières, peut avoir un impact sur l'innovation interne (Mittal et al., 2018). Mittal et al. (2018) et Chavez et al. (2021) avancent d'ailleurs que les petites et moyennes entreprises, ayant moins de ressources, ont un plus grand nombre de personnels multitâches, et moins de main-d'œuvre spécialisée comparativement aux plus grandes entreprises. Trstenjak et al. (2022) et Vrchota et al. (2021) considèrent le facteur humain primordial dans l'intégration d'une technologie. Les ressources humaines figurent d'ailleurs parmi les points saillants en préparation à l'intégration d'une technologie moderne (Trstenjak et al., 2022). Selon Vrchota et

al. (2021), 75% des projets numériques échouent avant même la phase d'implantation, en raison des compétences du gestionnaire de projet. Les résultats de cette étude mettent en lumière l'expérience et le « leadership » comme étant les deux facteurs à succès d'adoption d'une nouvelle technologie (Vrchota et al., 2021).

La **servicisation** est abordée par trois documents de la revue. Il s'agit d'un modèle d'affaires pouvant être offert par les manufacturiers qui permet de vendre l'usage d'un produit plutôt que ce dernier directement (Bortoluzzi et al., 2022). Bettiol et al. (2021) et Bortoluzzi et al. (2022) mettent à l'avant les avantages et désavantages de ce modèle, tandis que Ramirez-Durán et al. (2021) proposent une méthode pour développer une technologie s'inscrivant sous ce principe. Pour une PME, adopter une technologie sous forme de servicisation lui permet de diminuer le risque d'intégration en limitant l'affectation de ses propres ressources et expertises en plus d'avoir une charge financière seulement liée à son utilisation réelle, ce qui limite grandement le déboursement initial (Bettiol et al., 2021). Le terme servicisation digitale est avancé par Bortoluzzi et al. (2022) pour faire référence plus précisément aux technologies de l'industrie 4.0. Les résultats de son étude montrent que ce modèle d'affaires peut agir comme facteur moteur à la création de valeur dans une organisation qui l'intègre à sa stratégie (Bortoluzzi et al., 2022). Plusieurs avantages conséquents à son application sont énumérés tels qu'un revenu plus stable, une plus grande profitabilité, un service unique se démarquant au niveau de la compétition, une loyauté renforcée de la clientèle ainsi qu'une réduction des gaspillages pouvant également faire référence à l'économie circulaire (Bortoluzzi et al., 2022). Des désavantages sont cependant cités telles que le changement de culture résultant d'un modèle d'affaires non traditionnel, des revenus négatifs si le niveau de service est mal estimé, des coûts additionnels devant être engagés au début, et d'autres (Bortoluzzi et al., 2022). Dans leur article, Ramirez-Durán et al. (2021) développent une méthodologie pouvant être suivie pour le développement d'un logiciel destiné à l'acquisition de données utilisées pour l'application du modèle de servicisation. Le focus doit être mis sur les besoins du client ainsi que le cycle de vie du produit lors d'un tel développement (Ramírez-Durán et al., 2021).

Les facteurs axés sur l'**aide gouvernementale** sont explorés par 10% de cette revue de littérature systématique. Deux formes distinctes d'aides sont nécessaires, soit financières et informatives. Un écart entre l'aide dont auraient besoin les PME manufacturières et le support qu'elles reçoivent réellement est soulevé par Ghobakhloo et al. (2019). Un exemple concret est donné par l'impossibilité chez certaines organisations de participer à des formations axées sur les technologies de l'information liées à la fabrication intelligente (SMIDT) par soucis financiers (Ghobakhloo et al., 2019). Autant dans les pays développés qu'en développement, la lenteur du rythme d'adoption des technologies modernes pourrait être amoindrie par une aide des hautes instances (Ghobakhloo et al., 2022). L'étude réalisée par Łabędzka (2021) met de l'avant des politiques actuelles par région européenne. Les résultats de cette revue montrent que les PME manufacturières ont besoin davantage d'aide (Łabędzka, 2021). Cet ouvrage mentionne également un manque flagrant et crucial dans l'éducation et le partage d'informations.

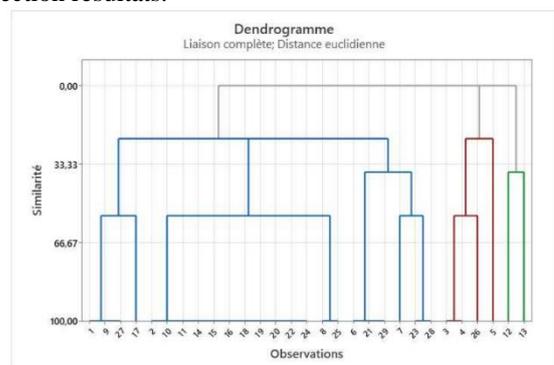
Les **fournisseurs d'outils technologiques** de l'industrie 4.0 sont abordés comme ayant un impact sur l'accès technologique par trois articles. Ces derniers mentionnent l'importance de ces acteurs dans l'accès pour les PME. D'abord, Ghobakhloo et al. (2022) font référence au manque d'experts externes pour

accompagner les PME manufacturières dans leur transformation digitale. Ils mentionnent d'ailleurs que c'est un frein critique à l'avancement des PME vers l'adoption de l'industrie 4.0. Ghobakhloo et al. (2019) mentionnent que plusieurs vendeurs introduisent des technologies sans préalablement réaliser d'examen approprié pour assurer une compatibilité avec les organisations. Il s'agit là d'une responsabilité du fournisseur non satisfaite pouvant engendrer des conséquences négatives, et ce pour les deux partis. Ramírez-Durán et al. (2021) mentionnent l'importance de la communication du fournisseur. Plus précisément, une description spécifique et détaillée des produits ou des services offerts ainsi qu'une présentation visuelle améliorée peuvent enrichir l'expérience offerte aux clients en plus d'aider à la prise de décision (Ramírez-Durán et al., 2021).

Finalement, la **collaboration interorganisation** n'est mentionnée que par un article dans la revue. Elle fait référence au travail collectif d'entreprises, afin de mettre à profit la présence de plus d'un acteur à l'intégration d'une technologie numérique. Un modèle d'affaires collaboratif permet de réduire le coût et risque technologique (Brodeur et al., 2022). Dans le cas d'application aérospatiale (Brodeur et al., 2022), une solution ponctuelle d'architecture a été mise en commun, afin d'éviter deux développements similaires indépendants chez deux entreprises adjointes. En plus de limiter le nombre de ressources attribuées sur le projet, chaque organisation a reçu une facture allégée et un seul mandat de développement a permis d'assurer la compatibilité interentreprises, ce qui a augmenté grandement les chances de succès du projet.

## 5 DISCUSSION

Les résultats ont permis d'observer que *l'accès à la technologie moderne est un sujet abordé souvent de façon indirecte dans les projets de recherche actuels*, généralement de manière à identifier les solutions pour contrer les barrières à l'intégration numérique. Bien que sept facteurs résultent de la recherche actuelle, l'accès à la technologie de pointe reste une matière très large englobant plusieurs facettes de la quatrième révolution industrielle. Afin de cibler certaines tendances dans les résultats explicités dans la section précédente, un exercice de partitionnement a été réalisé à l'aide du logiciel Minitab. La figure 2 montre trois groupes distincts ayant le plus de similitudes. Les numéros figurant sur l'axe des observations font référence aux articles numérotés dans le tableau 1 présenté à la section résultats.

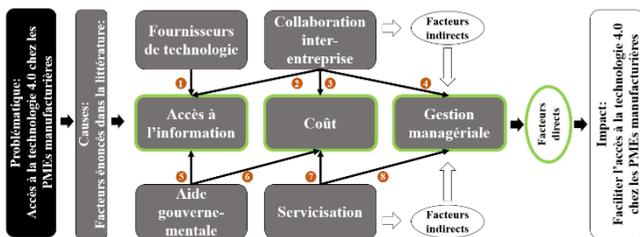


**Figure 2 - Regroupement des résultats avec Minitab**

Trois regroupements ont été jugés suffisants, car selon le rapport de données, deux regroupements occasionnaient un niveau de similitude nul, et trois regroupements occasionnaient le même niveau de similitude et de distances qu'avec 4 ou 5 regroupements. Les résultats montrent que le groupe le plus important donc ayant le plus de similitudes, regroupe la majorité

des articles de la revue de littérature. Ce groupe, identifié en bleu sur la figure 2, fait référence aux facteurs abordant le coût d'acquisition des technologies, l'accès à l'information ainsi qu'à la gestion managériale. Le groupe en rouge inclut les facteurs de servicisation, les fournisseurs de solutions ainsi que la collaboration. Finalement, le dernier groupe, soit le vert, inclut l'aide gouvernementale ainsi que les fournisseurs de technologies 4.0, qui font également référence aux trois solutions du premier groupe.

En plus d'être les solutions majoritairement abordées dans la littérature, les trois solutions énumérées du premier regroupement se trouvent à être discutées de façon indirecte dans les autres articles analysés. En explicitant un cas d'application de collaboration entre deux entreprises, Brodeur et al. (2022) indiquent que cela permet d'alléger le coût du projet, et permet une flexibilité au niveau de la main-d'œuvre qui a un impact direct sur la méthode de gestion de ce dernier. En nommant des exemples d'aides gouvernementales, Łabędzka (2021) mentionne que ces aides ayant un impact chez les PME sont reliées en majeure partie à la diffusion de l'information, et aux aides financières. Un autre exemple est cité par Ramírez-Durán et al. (2021), où ils mentionnent la solution liée à la responsabilité des fournisseurs de technologies, en indiquant la sous-solution d'améliorer l'information fournie aux clients. En compilant ces différents exemples dans les articles analysés, il est possible d'y voir les liens chiffrés en orange dans la figure 3 et explicités dans le tableau 2.



**Figure 3 - Schématisation des facteurs ayant un impact sur l'accès à la technologie 4.0 chez les PME manufacturières**

La figure 3 présente les facteurs qui affectent l'accès à la technologie 4.0 chez les PME manufacturières. Les sept facteurs sont identifiés par les bulles en gris pâle. Les trois facteurs du premier regroupement de partitionnement réalisé précédemment sont identifiés en vert. Les flèches créant des liaisons entre ces derniers sont numérotées en orange. Ces liaisons causales entre ces facteurs sont détaillées dans le tableau 2. C'est d'ailleurs selon ces liaisons que l'emplacement des facteurs dans la figure 3 est défini.

**Tableau 2 : Liaisons causales entre les facteurs ayant un impact sur l'accès à la technologie 4.0 dans les PME**

#	Facteurs causal		Référence
	DE	A	
1	Fournisseur de technologie	Accès à l'information	(Ghobakhloo et al., 2019)
2	Collaboration inter-entreprise	Partage de l'information nécessaire de façon optimale	(Brodeur et al., 2022)
3		Expertise multipliée entre clients	
4		Coût	
5	Aide gouvernementale	Coût	(Ghobakhloo et al., 2019)
6		Gestion managériale	
7	Servicisation	Partage d'information centralisé	(Łabędzka, 2021)
8		Coût	
		Aide financière	(Ghobakhloo et al., 2022)
		Coût	
		Acquisition par utilisation	(Ramírez-Durán et al., 2021)
		Responsabilité fournisseur de la technologie	

Les facteurs directement reliés à l'accès technologique sont le coût de la technologie, l'information l'entourant ainsi que l'architecture managériale des utilisateurs et fournisseurs s'y rattachant. Les autres facteurs sont donc considérés comme indirectement liés à l'intégration de nouvelles technologies de

l'industrie 4.0. Ceci concorde également avec les résultats obtenus dans la figure 2, où le regroupement principal fait référence aux solutions ayant un impact direct sur l'accès technologique.

Le facteur causal le plus abordé dans la littérature est l'**offre de technologies à moindres coûts** sur le marché. Cette solution rend instantanément la technologie plus accessible. Bien que quelques exemples aient été explorés dans la littérature, la majorité de ces technologies offertes sur les marchés sont actuellement difficiles d'accès d'un point de vue financier. En effet, selon Ghobakhloo et al. (2022), 21.6% des articles éligibles à sa revue affirment que les technologies de l'industrie 4.0 sont coûteuses et que les PME ont du mal à les acquérir, versus 2.70% qui argumentent que leur coût a considérablement diminué dernièrement et que cela peut jouer comme un facteur moteur dans le contexte de la quatrième révolution industrielle. D'ailleurs, bien des auteurs mentionnent que la situation actuelle de manque de main-d'œuvre, la pandémie COVID-19 et l'instabilité des approvisionnements engendrent la nécessité d'actions rapides chez les PME manufacturières partout à travers le monde (Dossou et al., 2022). Les impacts de cet environnement sont comparés à la grande dépression de 1929 ainsi que la Seconde Guerre mondiale (Cugno, Castagnoli, Büchi et Pini, 2022). Dans la notion d'innovations à moindre coût, le concept d'éviter le surdéveloppement technologique tout en considérant les besoins appropriés pour une solution donnée est proposé. Ceci peut avoir un impact faisant la différence non seulement dans le coût d'acquisition pour le client, mais aussi pour les dépenses liées à l'implantation, le suivi, la maintenance ainsi que la gestion des ressources attribuées.

Le **partage d'information** est le second facteur le plus exploré dans la littérature. La plupart des PME savent qu'elles doivent suivre la quatrième révolution industrielle, mais elles ne savent pas comment s'y prendre (Mittal et al., 2018). Certains mentionnent que c'est les PME en soit qui ne s'informent pas assez en raison du manque de personnel et d'expertise interne (Rauch, Dallasega et Unterhofer, 2019), d'autres que c'est le gouvernement qui ne prend pas action de façon adéquate sur cette problématique (Huang, Chicoma et Huang, 2019), ou encore, que ce sont les fournisseurs de technologies de pointe qui doivent mieux partager l'information (Ghobakhloo et al., 2019). Dans un cas ou dans l'autre, le manque d'accès au savoir technologique engendre de grandes conséquences sur le plan industriel (Łabędzka, 2021). La responsabilité d'exposition de l'information ne semble pas être accordée à un seul de ces acteurs. Ces derniers sont tous étroitement liés d'une certaine façon. Le client doit maîtriser son architecture interne, afin de bien communiquer avec le fournisseur qui saura ainsi fournir le savoir technologique opportun (Chavez et al., 2021). Dans un même ordre d'idées, les PME manufacturières doivent définir leurs besoins aux instances gouvernementales, afin que ces dernières puissent fournir un support adéquat. La communication entre ces parties semble donc être un frein à l'accès à l'information, ce qui occasionne des répercussions directes sur l'intégration des technologies de l'industrie 4.0 dans les PME manufacturières.

Le troisième facteur causal le plus abordé dans la littérature fait référence à la **gestion managériale**, donc tout ce qui a trait à la structure ainsi que la gestion du personnel entourant l'accès aux technologies modernes. Ces moyens vont de la structure hiérarchique d'une organisation, aux compétences ponctuelles des gestionnaires aux talents accessibles aux PME jusqu'à la disposition des départements de celle-ci. Ce sujet, englobant les différents niveaux du système de gestion d'une organisation, est

considéré comme étant direct à l'accès technologique, car il cause inévitablement un nonaccès aux possibilités de l'Industrie 4.0 si l'alignement des membres d'une organisation n'est pas cohérent avec le virage technologique. Son impact peut se conjuguer avec l'accès à l'information, ce qui explique les solutions de certains auteurs comme la formation, la culture interne, l'accompagnement par expert externe (Ghobakhloo et al., 2022) ainsi que la poursuite de guide précis tel que des feuilles de route et des plans (Abdulnour et al., 2022). En raison de leurs limitations, la majorité des PME manufacturières réalisent le changement vers l'industrie 4.0 via la gestion de projet (Vrchota et al., 2021). En raison du contexte actuel mentionné précédemment, il peut être difficile pour les organisations de prioriser ce type de projet interne. C'est pour cette raison que plusieurs articles, comme ceux de Ghobakhloo et al. (2022) ainsi que Vrchota et al. (2021), mettent en lumière l'importance du plan stratégique de la PME manufacturière, en proposant d'y attribuer une section spécifiquement sur le plan du virage 4.0.

La **servicisation** est actuellement abordée comme étant un nouveau modèle d'affaires très prometteur. Elle facilite l'accès à la technologie moderne pour les utilisateurs, car elle amoindrit les charges financières ponctuelles, d'intégration et d'implantation ainsi que de ressources sur les projets d'application. Cependant, il semble manquer d'information sur les différentes stratégies possibles et comment les adopter, selon le contexte et le domaine des différentes PME manufacturières (Bortoluzzi et al., 2022). Dans un même ordre d'idées, les conséquences positives et négatives de l'application de ce modèle, ainsi que les facteurs influençant ces impacts ne semblent pas encore bien définies. C'est pour cette raison qu'il est proposé de poursuivre les recherches dans ce sens, et d'explorer les alternatives (Bortoluzzi et al., 2022).

Plusieurs exemples d'**aide apportée par les gouvernements** aux PME manufacturières sont cités dans la littérature, et ce, pour de multiples régions différentes. Ces aides sont sous forme de supports financiers, de programmes d'évaluation du niveau de l'industrie 4.0 ou encore, d'organisation de plateformes pour favoriser les échanges divers (Łabędzka, 2021). Cependant, les conclusions de ces auteurs sont toutes les mêmes : il y a un écart entre cette aide actuelle et les besoins réels des entreprises (Ghobakhloo et al., 2019). Certains avancent que c'est la responsabilité de ces instances d'aider adéquatement les PME, non seulement en raison de leur impact important sur l'économie de la plupart des régions mondiales, mais également en raison de l'enjeu social associé, soit la création d'emploi réalisée en majeure partie par ces acteurs (Łabędzka, 2021).

Le **rôle des fournisseurs de technologies modernes** n'est souvent qu'effleuré par les auteurs, sans être approfondi. Tous s'entendent pour dire qu'il y a une fonction stratégique dans le passage des PME vers l'industrie 4.0 et que cette position a un grand potentiel pour venir en aide à ces dernières. En prenant le statut d'experts, et en comblant de façon responsable cette charge, ils peuvent compenser pour certaines lacunes tels que le manque d'expertise interne des organisations (Ghobakhloo et al., 2019). Une partie de leurs efforts devrait aussi être consacrée à raffiner l'information liée à la technologie de pointe qu'ils offrent (Ramírez-Durán et al., 2021). Ceci peut aider non seulement les PME manufacturières à accéder plus rapidement aux technologies pouvant combler leurs besoins, mais peut également faciliter la compréhension et l'absorption des notions technologiques parfois hors de l'expertise interne d'une entreprise.

En dernier lieu, la **collaboration interorganisation** est le facteur d'accès technologique la moins élaborée par les pairs. Il

semble s'agir là d'une option très spécifique et ponctuelle, pouvant être appliqué dans des cas particuliers de maillages entre organisations. Elle est considérée comme étant indirectement liée à l'accès technologique, car il est possible de la percevoir plutôt comme un modèle applicable pour une technologie donnée. L'impact de la contribution de deux entités sur un même projet peut être une réduction du coût en raison d'une charge financière répartie, ou encore, le partage de ressources, donc d'expertise et de gestion managériale (Brodeur et al., 2022). Une notion de gouvernance pour la prise de décision dans la gestion d'un tel projet comprenant différents partis est un facteur critique pour le bon déroulement des activités. Le risque d'intégration étant réparti, l'accès à la technologie moderne pour les organisations participatives est favorisé.

## 6 CONCLUSION

L'objectif de la revue de littérature systématique est de mettre en lumière les solutions explorées, à ce jour, afin d'aider les petites et moyennes entreprises manufacturières à accéder aux technologies modernes, soit en référence à l'Industrie 4.0. Il a été possible d'y répondre en suivant la méthodologie PRISMA précédée par une revue exploratoire, où 29 documents ont été conservés pour l'analyse finale présentée dans cet ouvrage. Sept facteurs ayant des impacts sur l'accessibilité technologique sont abordés et proposés par différents auteurs. Les solutions à faibles coûts, l'accès à l'information, les solutions de gestion managériale, la servicisation, l'aide gouvernementale, le rôle des fournisseurs de technologie moderne ainsi que la collaboration interentreprise sont discutés. Les trois premiers sont présentement les plus élaborés dans la littérature. Ces facteurs directs semblent être référés par les cinq autres solutions explorées, qui elles, sont considérées indirectes, afin d'expliquer l'impact sur l'accès technologique. Leurs impacts permettent de faciliter l'accès aux outils comme la réalité augmentée, l'analyse de données de masse (Big Data Analytics), le robot autonome, le jumeau numérique et la simulation, l'intégration horizontale et verticale numérique, l'internet des objets (IoT), le Cloud, la cybersécurité ainsi que la fabrication additive (Rübmann et al., 2015).

Cet ouvrage contient quelques limitations à considérer pour d'éventuels développements. D'abord, une seule base de données a été utilisée pour la revue de littérature systématique. Ceci restreint les documents analysés à un nombre réduit comparativement à l'utilisation de bases de données variées. Aussi, les mots clés de la recherche de cette revue n'incluent pas le terme « smart ». Ceci peut avoir éliminé des articles dès la première étape de la méthodologie PRISMA, car il s'agit là d'un synonyme parfois utilisé pour faire référence à l'Industrie 4.0. Dans l'application de cette méthode, l'année de publication des dossiers triés n'a pas été considérée et contrainte. Aucun article de la revue n'a de date de publication au-delà de cinq ans. Vu l'objectif de l'étude, les mots clés recherchés sont restés dans un spectre le plus large possible, afin d'obtenir des ouvrages proposant diverses solutions à l'accès technologique. Ceci occasionne possiblement l'élimination d'articles qui, par exemple, abordaient le sujet de la servicisation, sans contenir les mots clés recherchés. Finalement, certains écrits pertinents ont peut-être été malencontreusement éliminés en raison du manque d'information complète dans le titre ou dans le résumé, ou encore, par un manque d'accès.

Considérant les limitations, il serait nécessaire de réaliser des études de cas sur les différentes solutions proposées, afin d'obtenir davantage de données statistiques sur le sujet d'accessibilité technologique dans les PME manufacturières.

Bien que la collaboration interorganisation soit le moyen le moins exploré dans le travail réalisé, les autres solutions présentées aussi auraient grandement besoin de plus d'attention. Des concepts plus clairs et complets permettraient non seulement de comprendre en détail l'impact de ces facteurs sur les cas réels que vivent les PME, mais aussi de les appliquer concrètement et rapidement en entreprise. D'autres facteurs d'impact sur l'accès à la technologie 4.0 chez les PME manufacturières pourraient aussi être élaborés, tels que l'éducation, les outils d'analyse, de rentabilité d'intégration et d'implantation technologiques ainsi que d'autres.

## 7 REFERENCES

- Abdounour, S., Baril, C., Abdounour, G. et Gamache, S. (2022). Implementation of Industry 4.0 Principles and Tools: Simulation and Case Study in a Manufacturing SME [Article]. *Sustainability (Switzerland)*, 14(10), article no 6336. <https://doi.org/10.3390/su14106336>
- Beltrami, M. et Orzes, G. (2021). Additive Manufacturing: Application Perspectives in Small and Medium Enterprises [Article]. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 20(2), 1-11, article no e2021024. <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2021.024>
- Bettiol, M., Capestro, M., Di Maria, E. et Micelli, S. (2021). SMEs @ Industry 4.0: a comparison between top and average performers [Article]. *Sinergie*, 39(3), 27-48. <https://doi.org/10.7433/S116.2021.03>
- Bittencourt, V. L., Alves, A. C. et Leão, C. P. (2021). Industry 4.0 triggered by Lean Thinking: insights from a systematic literature review [Article]. *International Journal of Production Research*, 59(5), 1496-1510. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1832274>
- Bortoluzzi, G., Chiarvesio, M., Romanello, R., Tabacco, R. et Veglio, V. (2022). Servitisation and performance in the business-to-business context: the moderating role of Industry 4.0 technologies [Article]. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(9), 108-128. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2021-0317>
- Brodeur, J., Pellerin, R. et Deschamps, I. (2022). Collaborative approach to digital transformation (CADT) model for manufacturing SMEs [Article]. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(1), 61-83. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2020-0440>
- Buer, S. V., Strandhagen, J. W., Semini, M. et Strandhagen, J. O. (2021). The digitalization of manufacturing: investigating the impact of production environment and company size [Article]. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 621-645. <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2019-0174>
- Charbonneau G, M. et Gamache, S. (2021). Prerequisites for the Implementation of Industry 4.0 in Manufacturing SMEs [Article]. *Elsevier*, article no *Procedia Manufacturing* 51 (2020) 1215–1220.
- Chavez, Z., Hauge, J. B. et Bellgran, M. (2021). Industry 4.0, transition or addition in SMEs? A systematic literature review on digitalization for deviation management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(1-2), 57-76. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08253-2>
- Chavez, Z., Hauge, J. B. et Bellgran, M. (2022). Industry 4.0, transition or addition in SMEs? A systematic literature review on digitalization for deviation management [Review]. *International Journal of Advanced*

- *Manufacturing Technology*, 119(1-2), 57-76. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08253-2>
- Cotrino, A., Sebastián, M. A. et González-Gaya, C. (2020). Industry 4.0 roadmap: Implementation for small and medium-sized enterprises [Review]. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(23), 1-17, article no 8566. <https://doi.org/10.3390/app10238566>
- Cugno, M., Castagnoli, R., Büchi, G. et Pini, M. (2022). Industry 4.0 and production recovery in the covid era [Article]. *Technovation*, 114, article no 102443. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102443>
- Dossou, P. E., Laouénan, G. et Didier, J. Y. (2022). Development of a Sustainable Industry 4.0 Approach for Increasing the Performance of SMEs [Article]. *Processes*, 10(6), article no 1092. <https://doi.org/10.3390/pr10061092>
- Gamache, S., Abdul-Nour, G. et Baril, C. (2020). Evaluation of the influence parameters of Industry 4.0 and their impact on the Quebec manufacturing SMEs: The first findings. *Cogent Engineering*, 7:1, article no 1771818. <https://doi.org/DOI:10.1080/23311916.2020.1771818>
- Gouvernement du Canada (2020). "Principales statistiques relatives aux petites entreprises - 2020." from <https://ised-isde.canada.ca/site/recherche-statistique-pme/fr/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises-2020>.
- García, Á., Bregon, A. et Martínez-Prieto, M. A. (2022). A non-intrusive Industry 4.0 retrofitting approach for collaborative maintenance in traditional manufacturing [Article]. *Computers and Industrial Engineering*, 164, article no 107896. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107896>
- Ghobakhloo, M. et Ching, N. T. (2019). Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs [Article]. *Journal of Industrial Information Integration*, 16, article no 100107. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100107>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Vilkas, M., Grybauskas, A. et Amran, A. (2022). Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap [Review]. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2021-0505>
- Grube, D., Malik, A. A. et Bilberg, A. (2017). GENERIC CHALLENGES AND AUTOMATION SOLUTIONS IN MANUFACTURING SMES. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 28.
- Haben, F., Vogel-Heuser, B., Najjari, H., Seitz, M., Trunzer, E. et Salazar, L. A. C. (2021). Low-entry Barrier Multi-Agent System for Small- and Middle-sized Enterprises in the Sector of Automated Production Systems. Dans. 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2021. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85125377682&doi=10.1109%2FIEEM50564.2021.9672973&partnerID=40&md5=fc90df9037b2e3c2b49df0e3f404d24e>
- Hansen, E. B. et Bøgh, S. (2021). Artificial intelligence and internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey [Article]. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 362-372. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.009>
- Huang, C. J., Chicoma, E. D. T. et Huang, Y. H. (2019). Evaluating the factors that are affecting the

- implementation of industry 4.0 technologies in manufacturing MSMEs, the case of Peru [Article]. *Processes*, 7(3), article no 161. <https://doi.org/10.3390/PR7030161>
- Jayashree, S., Reza, M. N. H., Malarvizhi, C. A. N. et Mohiuddin, M. (2021). Industry 4.0 implementation and Triple Bottom Line sustainability: An empirical study on small and medium manufacturing firms [Article]. *Heliyon*, 7(8), article no e07753. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07753>
  - La PME numérique. (2020). Banque du Canada. <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/blogue/pme-numerique>
  - Łabędzka, J. (2021). Industry 4.0 - Policy-based approaches to efficient implementation in SMEs [Article]. *Engineering Management in Production and Services*, 13(4), 72-78. <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0032>
  - Leona Niemeyer, C., Gehrke, I., Müller, K., Küsters, D. et Gries, T. (2020). Getting small medium enterprises started on industry 4.0 using retrofitting solutions. *Dans. Procedia Manufacturing*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85085472933&doi=10.1016%2Fj.promfg.2020.04.096&partnerID=40&md5=46c38dca38cd52562f3f9b2473085708>
  - Louw, L. et Walker, M. (2018). Design and implementation of a low cost RFID track and trace system in a learning factory. *Dans. Procedia Manufacturing*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85052890798&doi=10.1016%2Fj.promfg.2018.04.026&partnerID=40&md5=b2ac858aa84cb8bbd7e4081fc09555d9>
  - Martikkala, A., David, J., Lobov, A., Lanz, M. et Ituarte, I. F. (2021). Trends for low-cost and open-source IoT solutions development for industry 4.0. *Dans. Procedia Manufacturing*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85120643051&doi=10.1016%2Fj.promfg.2021.10.042&partnerID=40&md5=9a43344a8372276abeff5bcc2ac6ab86>
  - Masood, T. et Sonntag, P. (2020, 2020/10/01/). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>
  - Matt, D. T., Modrák, V. et Zsifkovits, H. (2020). Industry 4.0 for smes: Challenges, opportunities and requirements [Book]. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4>
  - Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D. et Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs) [Review]. *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194-214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
  - Mittal, S., Khan, M., Purohit, J., Menon, K., Romero, D., & Wuest, T. (2019). A smart manufacturing adoption framework for SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1555-1573.
  - Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S. et Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0 [Article]. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118-1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
  - Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., Gøtzsche, P. C., Grimshaw, J., Guyatt, G., Higgins, J., Ioannidis, J. P. A., Kleijnen, J., Lang, T., Magrini, N., McNamee, D., Moja, L., Mulrow, C., Napoli, M., Oxman, A., Pham, B., Rennie, D., Sampson, M., Schulz, K. F., Shekelle, P. G., Tovey, D. et Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement [Review]. *PLoS Medicine*, 6(7), article no e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
  - Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z. et Charnley, F. (2016). A Conceptual Framework for Circular Design. *sustainability*.
  - Ramírez-Durán, V. J., Berges, I. et Illarramendi, A. (2021). Towards the implementation of Industry 4.0: A methodology-based approach oriented to the customer life cycle [Article]. *Computers in Industry*, 126, article no 103403. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103403>
  - Rauch, E., Dallasega, P. et Unterhofer, M. (2019). Requirements and Barriers for Introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises [Article]. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 87-94, article no 8778720. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2931564>
  - Rübmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P. et al, e. (2015). Industry 4.0: the future of productivity and growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group.
  - Schönfuß, B., McFarlane, D., Hawkrigde, G., Salter, L., Athanassopoulou, N. et de Silva, L. (2021). A catalogue of digital solution areas for prioritising the needs of manufacturing SMEs [Article]. *Computers in Industry*, 133, article no 103532. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103532>
  - Teerasoponpong, S. et Sopadang, A. (2022). Decision support system for adaptive sourcing and inventory management in small- and medium-sized enterprises [Article]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 73, article no 102226. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102226>
  - Trstenjak, M., Opetuk, T., Cajner, H. et Hegedić, M. (2022). Industry 4.0 Readiness Calculation—Transitional Strategy Definition by Decision Support Systems [Article]. *Sensors*, 22(3), article no 1185. <https://doi.org/10.3390/s22031185>
  - Vrchota, J., Řehoř, P., Maříková, M. et Pech, M. (2021). Critical success factors of the project management in relation to industry 4.0 for sustainability of projects [Article]. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1-19, article no 281. <https://doi.org/10.3390/su13010281>
  - Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A. et Perona, M. (2021, 2021/03/19). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922-1954. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>