

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

L'ACCÈS À LA TECHNOLOGIE 4.0 CHEZ LES PME MANUFACTURIÈRES

MÉMOIRE PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA
MAÎTRISE EN INGÉNIERIE - CONCENTRATION GÉNIE INDUSTRIEL
AVEC MÉMOIRE (1541)

PAR
ALEXANDRA ROUSSEAU

MARS 2026

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

MAÎTRISE EN INGÉNIERIE - CONCENTRATION GÉNIE INDUSTRIEL
AVEC MÉMOIRE (1541)

Direction de recherche :

Sébastien Gamache

Directeur de recherche

Jury d'évaluation

Sébastien Gamache

Directeur de recherche

Robert Pellerin

Évaluateur externe

Michel Rioux

Évaluateur externe

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de recherche, M. Sébastien Gamache, ing., Ph. D., professeur au département de génie industriel de l'Université du Québec à Trois-Rivières, pour son accompagnement, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de ce travail. Son expertise, son écoute et son engagement ont grandement contribué à la qualité de cette recherche et à mon développement académique et professionnel.

RÉSUMÉ

Les PME manufacturières occupent une place stratégique dans la création de valeur. Toutefois, dans un contexte instable sur les plans économique, social et politique, ces entreprises sont contraintes de demeurer toujours plus compétitives pour assurer leur pérennité. Or, cette pression accentue le retard qu'elles connaissent dans l'adoption des technologies de l'industrie 4.0, entraînant l'accumulation d'une dette technologique préoccupante. Incapables d'intégrer ces solutions au rythme accéléré de leur évolution, elles voient leur transition numérique freinée et leur position concurrentielle fragilisée.

Alors que de nombreux travaux portent sur les moyens d'aider ces PME à adopter les nouvelles technologies, la présente étude adopte une approche distincte. L'objectif est d'examiner comment adapter l'environnement du numérique aux contraintes propres aux PME manufacturières, afin de rendre les technologies 4.0 plus accessibles et accélérer leur adoption. Il s'agit plus précisément d'identifier les facteurs qui permettent de réduire le délai d'accès aux technologies 4.0.

Les hypothèses formulées reposent sur sept facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0, issus d'une revue de la littérature scientifique. Ces hypothèses sont testées afin de déterminer quels facteurs exercent une influence significative sur la rapidité d'accès, permettant ainsi aux PME de concentrer leurs ressources et efforts de manière plus ciblée. L'analyse s'appuie sur une méthodologie combinant des analyses descriptives, statistiques et exploratoires. Les données utilisées proviennent de 51 projets technologiques menés par des PME manufacturières, recueillies au moyen d'un

questionnaire auto-administré via Survey Monkey. Les traitements sont réalisés avec les logiciels Minitab, SPSS et fsQCA.

Les résultats mettent en évidence, d'une part, que la notion d'accès technologique de l'industrie 4.0, définie comme le délai entre l'émergence d'un besoin et le « Go Live » d'une technologie, demeure peu abordée explicitement dans la littérature, bien que sept facteurs d'influence aient été identifiés : (1) les solutions à faibles coûts, (2) l'accès à l'information, (3) les outils de gestion managériale, (4) la servicisation, (5) l'aide gouvernementale, (6) le support des fournisseurs et (7) la collaboration interentreprises. D'autre part, les résultats de la collecte de données, issus de projets de faible à moyenne complexité (réalisés principalement après 2020 et dont le budget est inférieur à 50 000 \$), montrent que la collaboration interentreprises est le facteur le plus mobilisé, particulièrement en phase d'émergence du besoin. À l'inverse, l'aide gouvernementale présente un effet plus ambigu, tandis que la servicisation apparaît moins pratiquée.

L'analyse exploratoire par la méthode fsQCA révèle une prédominance des configurations expliquant les retards d'accès, mettant en évidence des freins plus facilement identifiables que les accélérateurs. Les facteurs intervenant en fin de projet semblent particulièrement influents, et certains soutiens publics, mal adaptés, peuvent produire des effets contre-productifs. Ces résultats permettent de dégager des pistes concrètes pour améliorer l'accès technologique de l'industrie 4.0 des PME, tout en soulignant les limites liées à l'échantillon et à la variabilité contextuelle. Ils invitent à des recherches futures ciblées, notamment sectorielles ou méthodologiquement mixtes.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	v
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES	xv
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION.....	1
1.1 - Problématique.....	1
1.2 - Questions de recherche	4
1.3 - Objectifs de recherche.....	5
1.4 - Méthodologie résumée.....	6
1.5 - Définition des concepts clés	7
1.6 - Structure du mémoire.....	9
CHAPITRE 2 - REVUE DE LITTÉRATURE.....	11
2.1 - Démarche de revue de la littérature	11
2.1.1 - Coût technologique.....	16
2.1.2 - Gestion managériale	19
2.1.3 - Accès à l'information	21
2.1.4 - Servicisation.....	24
2.1.5 - Aide gouvernementale	25

2.1.6 - Fournisseurs de technologie.....	27
2.1.7 - Collaboration interentreprise.....	28
2.2 - Cadre conceptuel.....	29
2.3 - Synthèse	32
CHAPITRE 3 - MÉTHODOLOGIE	36
3.1 - Démarche de recherche et formulation des hypothèses	36
3.2 - Collecte de données	44
3.2.1 - Élaboration du questionnaire.....	44
3.2.2 - Population et échantillonnage	54
3.2.3 - Validation des données.....	56
3.3 - Méthode d'analyse des données	59
3.3.1 - Analyse descriptive.....	59
3.3.2 - Analyse de normalité de Y	59
3.3.3 - Analyse bivariée	60
3.3.4 - Analyse fsQCA.....	61
3.4 - Limites méthodologiques	63
3.4.1 - Limites liées à l'échantillon	63
3.4.2 - Limites liées aux données	64
3.4.3 - Limites liées aux méthodes statistiques	65

CHAPITRE 4 - RÉSULTATS	67
4.1 - Analyse descriptive	67
4.2 - Analyse de normalité de Y.....	79
4.3 - Analyse bivariée.....	80
4.4 - Analyse fsQCA	81
CHAPITRE 5 - DISCUSSION	95
5.1 - Discussion des résultats.....	95
5.1.1 - Analyse descriptive.....	95
5.1.2 - Analyse de normalité de Y	98
5.1.3 - Analyse bivariée	99
5.1.4 - Analyse fsQCA.....	102
5.2 - Discussion théorique.....	105
CHAPITRE 6 - CONCLUSION	112
6.1 - Synthèse des résultats.....	112
6.1.1 - Résultats de la revue de la littérature.....	112
6.1.2 - Résultats de l'analyse empirique.....	113
6.2 - Réponse aux questions et objectifs de recherche.....	116
6.3 - Limites de l'étude	120
6.4 - Recommandations et pistes de recherche futures	123

6.5 - Recommandations structurées pour l'action	126
RÉFÉRENCES.....	131
ANNEXE I.....	140
ANNEXE II.....	174
ANNEXE III	177
ANNEXE IV.....	180

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Facteurs d'accès à la technologie dans la revue de littérature	16
Tableau 2.2 : Liens entre les facteurs d'accès à la technologie 4.0 dans les PME.....	31
Tableau 3.1 : Description des variables du cadre théorique.....	38
Tableau 3.1 (suite) : Description des variables du cadre théorique.....	39
Tableau 3.1 (suite) : Description des variables du cadre théorique.....	40
Tableau 3.2 : Cadre théorique : Hypothèses de la variable dépendante	41
Tableau 3.3 : Cadre théorique : Hypothèses des variables indépendantes.....	41
Tableau 3.3 (suite) : Cadre théorique : Hypothèses des variables indépendantes.....	42
Tableau 3.3 (suite) : Cadre théorique : Hypothèses des variables indépendantes.....	43
Tableau 3.4 : Structure des énoncés des sous-questions 9.1 à 14.8 du questionnaire	51
Tableau 3.5 : Validation des données recueillies.....	58
Tableau 4.1 : Fréquences des observations – Variable dépendante (Y).....	72
Tableau 4.2 : Fréquences des observations – Variables indépendantes (X1 à X16 et X21)	73
Tableau 4.2 (suite) : Fréquences des observations – Variables indépendantes (X1 à X21)	74
Tableau 4.3 : Fréquences des observations - Variable indépendante (X17)	76
Tableau 4.4 : Fréquences des observations – Variable indépendante (X18).....	76

Tableau 4.5 : Fréquences des observations – Variable indépendante (X19).....	77
Tableau 4.6 : Fréquences des observations – Variable indépendante (X20).....	77
Tableau 4.7 : Résultats de l’analyse bivariée – Test Spearman.....	81
Tableau 4.8 : Calibration des données fsQCA	83
Tableau I.1 : Questionnaire	141
Tableau I.1 : Questionnaire (suite)	142
Tableau I.1 : Questionnaire (suite)	143
Tableau I.1 : Questionnaire (suite)	144
Tableau I.1 : Questionnaire (suite)	145
Tableau I.1 : Questionnaire (suite)	146
Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise	148
Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite).....	149
Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite).....	150
Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite).....	151
Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite).....	152
Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite).....	153
Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques	154
Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite).....	155
Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite).....	156

Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite).....	157
Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite).....	158
Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite).....	159
Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite).....	160
Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple.....	161
Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple (suite).....	162
Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple (suite).....	163
Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple (suite).....	164
Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple (suite).....	165
Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré	166
Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré (suite).....	167
Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré (suite).....	168

Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré (suite).....	169
Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré (suite).....	170
Tableau I.6 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité complexe.....	171
Tableau I.6 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité complexe (suite).....	172
Tableau I.6 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité complexe (suite).....	173
Tableau II.1 : Définition des variables.....	175
Tableau II.1 : Définition des variables (suite).....	176
Tableau III.1 : Analyse descriptive complète des variables observées.....	178
Tableau III.2 : Résultats de l'analyse bivariée.....	179
Tableau IV.1 : Analyse descriptive; Test de fiabilité Cronbach.....	182
Tableau IV.2 : Analyse fsQCA; Données intramtes.....	183
Tableau IV.2 : Analyse fsQCA; Données intramtes (suite).....	184

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Organigramme de la procédure exploratoire et des résultats par étape	14
Figure 2.2 : Cadre conceptuel des facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Rousseau et Gamache, 2023).....	32
Figure 2.3 : Huit facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0.....	34
Figure 3.1 : Synthèse du questionnaire.....	46
Figure 3.2 : Schéma temporel de l'accès technologique de l'industrie 4.0	48
Figure 3.3 : Définition des degrés de complexité technologique.....	48
Figure 4.1 : Graphique radar des moyennes des variables X1 à X16.....	70
Figure 4.2 : Graphique à barres des moyennes des variables X1 à X16	70
Figure 4.3 : Test de fiabilité Cronbach	71
Figure 4.4 : Diagramme en boîte des observations	78
Figure 4.5 : Diagramme en boîte (X-ANNÉE seulement).....	78
Figure 4.6 : Test de normalité Y	79
Figure 4.7 : Histogramme Y.....	80
Figure 4.8 : Résultats fsQCA – Performance positive Y (X1 à X8 SET).....	85
Figure 4.9 : Résultats fsQCA – Performance positive Y (X1 à X8 UNSET)	87
Figure 4.10 : Résultats fsQCA – Performance positive Y (X9 à X16 SET).....	89
Figure 4.11 : Résultats fsQCA – Performance positive Y (X9 à X16 UNSET).....	91

Figure I.1 : Lettre de présentation	147
Figure IV.1 : Analyse descriptive; Données intrantes SPSS	181
Figure IV.1 : Analyse descriptive; Données intrantes SPSS (suite)	181

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION

1.1 - Problématique

Les petites et moyennes entreprises (PME) représentent 99,8 % des organisations au Canada (Gouvernement du Canada, 2020 ; Jiang et Sekkel, 2024) et contribuent de manière significative à la création de valeur, générant entre 50 % et 60 % de la valeur ajoutée dans les pays de l'OCDE (Matt, Modrák et Zsifkovits, 2020). Bien que seulement 21,3 % des PME œuvrent dans le secteur des biens, contre 78,7 % dans le secteur des services (Gouvernement du Canada, 2020), le secteur des biens, a généré la plus forte contribution au PIB entre 2017 et 2020, avec une moyenne de 50,8 %, comparativement à 46,4 % pour le secteur des services (Innovation, Sciences et Développement économique Canada, 2024). Représentant une majorité des emplois du secteur des biens, le sous-secteur de la fabrication occupe une place centrale dans l'économie (Innovation, Sciences et Développement économique Canada, 2023). En 2023, ce secteur a poursuivi sa croissance pour une troisième année consécutive, atteignant un revenu total de 935,6 milliards de dollars, dont 93,4 % provenaient directement de la fabrication de biens (Statistique Canada, 2024).

Dans le contexte actuel, ces entreprises font face à des pressions importantes pour rester compétitives, tout en devant composer avec des contraintes majeures : rareté de main-d'œuvre, ressources financières limitées, volatilité des marchés, contexte géopolitique et accélération du progrès technologique (Teerasoponpong et Sopadang, 2022). L'intégration de technologies modernes apparaît ainsi comme une solution

privilégiée pour surmonter ces défis (Dossou, Laouénan et Didier, 2022 ; Chavez, Hauge et Bellgran, 2021 ; Buer, Strandhagen, Semini et Strandhagen, 2021). Les PME investissent toutefois davantage dans les actifs physiques que dans les technologies numériques (Banque de développement du Canada, 2020). En 2019, le ratio d'investissement dans les actifs incorporels par rapport aux actifs corporels était de 1 pour 7 (Banque du développement du Canada, 2020). Les données plus récentes indiquent qu'à l'échelle nationale, l'investissement dans les actifs numériques progresse sensiblement (+2,58 %/an contre +2,02 %/an pour les actifs physiques), mais demeure inférieur, représentant environ 83 % de celui dans les actifs corporels en 2019 (Statistique Canada, 2025).

Cette situation entraîne une dette technologique, les PME adoptant les technologies numériques à un rythme nettement inférieur à celui auquel ces technologies se développent sur le marché (Hansen et Bøgh, 2021). Plusieurs obstacles freinent l'accès aux technologies, dont les plus fréquemment cités sont : le coût élevé des technologies, le manque d'expertise interne, l'absence d'évaluation claire des besoins, ou encore le manque d'information disponible au sein de l'organisation (Martikkala, David, Lobov, Lanz et Ituarte, 2021 ; Chavez et al., 2021). De plus, un désalignement stratégique au sein de la direction peut également compromettre la réussite de l'implantation technologique (Ghobakhloo et Ching, 2019). Ces défis peuvent mener à des choix technologiques inadaptés, à des retards de retour sur investissement ou à des échecs d'implantation. Ils peuvent aussi conduire les entreprises, malgré certains investissements, à prendre des décisions sous-optimales faute de disposer des connaissances, des moyens financiers ou des ressources humaines nécessaires pour choisir et déployer la solution la plus adaptée.

Dans la littérature, plusieurs travaux ont tenté de pallier ces enjeux par le développement de modèles d'évaluation de la maturité numérique (Jayashree, Reza, Malarvizhi et Mohiuddin, 2021) ou de planification de la transformation fondés sur l'identification de facteurs décisionnels clés (Trstenjak, Opetuk, Cajner et Hegedić, 2022). Ces approches, centrées sur la situation actuelle de l'entreprise, proposent des pistes d'adaptation aux exigences de la transformation numérique. Toutefois, compte tenu du retard d'intégration et des contraintes propres aux PME manufacturières, il devient essentiel d'analyser les conditions qui influencent leur capacité à adopter et à intégrer de nouvelles technologies. Peu d'études traitent directement de cette accessibilité technologique, souvent abordée de façon indirecte à travers l'analyse des freins ou la présentation de solutions techniques ponctuelles.

Par exemple, Brodeur, Pellerin et Deschamps (2022) décrivent une collaboration interentreprises dans le secteur aérospatial ayant permis de développer conjointement une solution numérique, réduisant les coûts et optimisant la gestion des ressources, rendant ainsi la technologie plus accessible, sans que cet aspect ne constitue l'objectif de l'étude. De même, Garcia, Bregon et Martínez-Prieto (2022) et Leona Niemeyer, Gehrke, Müller, Küsters et Gries (2020) proposent des approches de « retrofitting », consistant à moderniser des équipements existants plutôt qu'à les remplacer. Cette démarche réduit les coûts, soutient la durabilité et améliore indirectement l'accessibilité aux technologies numériques, bien que cet effet ne soit pas explicitement analysé. Ainsi, l'accès technologique de l'industrie 4.0 dans les PME manufacturières, bien qu'il s'agisse d'une problématique structurante, demeure peu étudié de manière explicite et systématique.

1.2 - Questions de recherche

Afin de répondre à la problématique présentée précédemment, cette recherche s'appuie sur un ensemble de questions directrices. La première vise à déterminer les facteurs qui influencent l'accès aux technologies de l'industrie 4.0 chez les PME manufacturières. La deuxième cherche à identifier les liaisons entre ces facteurs, ceux-ci n'agissant pas isolément : leurs interactions peuvent au contraire se renforcer ou se neutraliser. L'analyse de ces interrelations permet de mieux comprendre comment certaines combinaisons peuvent accélérer ou freiner l'accès technologique de l'industrie 4.0 de l'industrie 4.0 des PME. Enfin, la recherche s'attarde à déterminer les facteurs ou combinaisons ayant un effet significatif sur le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0, ainsi que la nature de ces effets.

Les questions de recherche sont formulées comme suit :

1. Quels sont les facteurs qui influencent l'accès aux technologies de l'industrie 4.0 chez les PME manufacturières?
2. Quelles sont les liaisons entre ces facteurs?
3. Quels sont les facteurs ou combinaisons ayant un impact réellement significatif sur le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0?
4. Quels sont les impacts de ces facteurs ou combinaisons sur l'accès technologique de l'industrie 4.0?

Ensemble, ces questions visent à éclairer les mécanismes qui ralentissent ou accélèrent l'accès aux technologies numériques dans les PME manufacturières.

1.3 - Objectifs de recherche

L'objectif de cette recherche est de comprendre les facteurs et les interactions qui influencent l'accès aux technologies de l'industrie 4.0 au sein des PME manufacturières, ainsi que leur effet sur le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0. Comme le soulignent Omowole, Ofodile, Olufemi-Phillips et Eyo-Udo (2024), les contraintes freinant l'accès aux technologies numériques dans les PME influencent directement le délai d'intégration en amont du projet. Dans cette perspective, la présente recherche vise à identifier les facteurs qui contribuent à accélérer ou à prolonger ce délai.

Ce délai est défini comme l'intervalle entre l'émergence d'un besoin technologique, correspondant à la phase initiale de réflexion stratégique, et le début concret de son intégration, marqué par la mise en œuvre effective de la solution retenue, ou « Go Live ». Cette définition sera maintenue tout au long du présent ouvrage.

L'étude vise également à mettre en lumière et d'analyser les interactions potentielles entre ces facteurs, afin de mieux comprendre les dynamiques qui peuvent accélérer, freiner ou conditionner le processus d'accès technologique de l'industrie 4.0 dans ces organisations. Elle cherche aussi à évaluer l'influence de ces facteurs, qu'elle soit significative ou non, sur le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0. À partir de ces résultats, des recommandations seront formulées à l'intention de l'écosystème des PME manufacturières afin de favoriser un accès plus efficace aux technologies de l'industrie 4.0.

Les objectifs de recherche sont formulés comme suit :

1. Identifier les facteurs réduisant de façon significative le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 chez les PME manufacturières.
2. Analyser les liaisons et interactions possibles entre ces facteurs.
3. Évaluer les facteurs ou combinaisons ayant un effet significatif sur le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0.
4. Formuler des recommandations à l'écosystème des PME manufacturière, selon les résultats obtenus.

1.4 - Méthodologie résumée

Afin de répondre aux questions et objectifs de recherche, cette étude adopte une approche en deux étapes complémentaires, combinant une revue de la littérature et une collecte de données provenant de PME manufacturières.

Dans un premier temps, une revue de la littérature a été réalisée afin d'identifier les facteurs mentionnés dans les écrits scientifiques qui influencent, a priori, l'accès technologique de l'industrie 4.0 en contexte de PME. Cette phase répond à la première question de recherche, l'identification des facteurs, ainsi qu'à la seconde, portant sur les liaisons possibles entre eux. Elle permet également de dresser un portrait de la manière dont le sujet est actuellement traité dans la littérature.

Dans un second temps, à partir des facteurs et constats issus de la revue de littérature, une analyse fondée sur des données terrain, recueillies par questionnaire auprès de PME manufacturières, a été menée afin de répondre aux troisième et quatrième questions de recherche. L'objectif de cette phase est d'identifier les facteurs réellement

significatifs et de préciser la nature de leurs impacts sur l'accès technologique de l'industrie 4.0.

À la lumière des résultats obtenus, des recommandations sont formulées à l'intention de l'écosystème manufacturier et du milieu de la recherche, afin d'orienter les initiatives et de soutenir la prise de décision des acteurs concernés. Elles s'adressent également aux PME, pour les aider à cibler leurs efforts et à concentrer leurs ressources là où elles auront le plus d'impact.

1.5 - Définition des concepts clés

Afin d'assurer une compréhension uniforme des termes employés, cette section présente les principaux concepts mobilisés. Les définitions retenues sont adaptées au contexte des PME manufacturières en transformation numérique et visent à clarifier la terminologie utilisée tout au long du mémoire.

Technologie 4.0

Ce terme désigne tout outil technologique relevant des neuf piliers de l'industrie 4.0, tels que définis par Rübmann, Lorenz, Gerbert et al. (2015) :

- Réalité augmentée;
- Analyse de données massives (Big Data Analytics);
- Robot autonome;
- Jumeau numérique et la simulation;
- Intégration horizontale et verticale numérique;

- Internet des objets (IoT);
- Infonuagique (Cloud);
- Cybersécurité;
- Fabrication additive.

Afin de situer les participants du sondage, les notions d'intégration horizontale et verticale ont été illustrées à l'aide d'exemples tels que l'ERP, le MES ou encore l'APS. Bien qu'ils ne constituent pas en eux-mêmes des technologies 4.0, ces outils représentent des moyens concrets de gestion et de circulation des données favorisant une prise de décision intégrée (El Kalach, Solanki et Todkar, 2024).

Accès technologique de l'industrie 4.0 (la variable dépendante « Y »)

Ce terme est défini comme le délai séparant l'émergence d'un besoin technologique (phase de réflexion stratégique initiale) du « Go Live », soit la mise en service officielle de la solution retenue. Ce délai, mesuré pour chaque projet technologique, constitue la variable dépendante principale « Y » de l'étude.

« Go Live »

Ce terme désigne le moment où la solution technologique devient opérationnelle et utilisée par les employés. Il marque la transition entre la phase de planification et l'usage effectif. Bien qu'emprunté à l'anglais, ce terme est conservé en raison de son emploi courant dans le domaine des projets numériques.

PME / PME manufacturière

Selon la Commission européenne, une PME compte moins de 250 employés et un chiffre d'affaires annuel inférieur à 50 millions d'euros (Matt et al., 2020). Cette définition, largement adoptée dans la littérature (Mittal, Khan, Romero et Wuest, 2018 ; Cotrino, Sebastián et González-Gaya, 2020 ; Grube, Malik et Bilberg, 2017), est retenue ici. Une PME manufacturière désigne une PME dont l'activité principale relève du secteur secondaire, soit la transformation de biens matériels. Par souci de concision, le terme PME fait référence dans ce mémoire à la PME manufacturière, sauf mention contraire.

1.6 - Structure du mémoire

Ce mémoire est structuré en sept sections principales, qui suivent une progression logique allant de la contextualisation du problème à la présentation des résultats et recommandations.

- Introduction : présente la problématique, les objectifs, les questions de recherche, les concepts clés et un aperçu méthodologique.
- Revue de la littérature : expose l'état des connaissances, les obstacles à l'intégration technologique, les modèles d'adoption et les facteurs influents. Elle propose un cadre théorique et une synthèse des fondements de la recherche.
- Méthodologie : décrit les choix méthodologiques, la collecte et l'analyse des données, ainsi que les limites de l'étude.
- Résultats : présente les observations issues des analyses, selon la même structure que la section méthodologie.

- Discussion : comprend deux volets, l'interprétation des résultats selon les analyses, puis leur mise en perspective avec la littérature existante ; elle aborde aussi les apports et limites de l'étude.
- Conclusion : résume les principaux résultats, répond aux questions de recherche et propose des recommandations destinées aux PME et aux parties prenantes.
- Références et annexes : regroupent les sources citées et les documents complémentaires.

CHAPITRE 2 - REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 - Démarche de revue de la littérature

Cette section constitue la première étape méthodologique de la recherche. Elle présente une revue de la littérature sur les facteurs influençant l'accès aux technologies modernes dans les PME manufacturières. L'objectif est de recenser et structurer les facteurs étudiés, d'identifier leurs relations potentielles et de proposer un cadre conceptuel servant de base à l'analyse empirique ultérieure.

La démarche s'inspire de la méthode PRISMA « Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses » (Moher, Liberati, Tetzlaff et Altman, 2009). Elle comprend quatre étapes :

1. Identification : sélection des mots-clés et des bases de données pour établir un premier ensemble d'ouvrages ;
2. Sélection : élimination des doublons et tri initial par lecture des titres ;
3. Éligibilité : filtrage selon des critères précis liés à l'objectif de recherche, sur la base des résumés ;
4. Inclusion : conservation finale des articles pertinents pour l'analyse.

La base de données Scopus a été retenue comme unique source, à la fois pour sa notoriété et parce qu'elle constituait l'unique accès institutionnel disponible à l'auteur. Il s'agit d'une base multidisciplinaire reconnue pour la qualité de son contenu évalué par les pairs (Bittencourt, Alves et Leão, 2021).

La phase exploratoire a permis de préciser le choix des mots clés retenus dans l'étape d'identification pour cette revue de littérature. Au total, 57 articles ont été entièrement analysés à partir d'une recherche effectuée avec divers mots clés : « SME », « manufacturing », « challenge », « resources », « supply chain », « extended enterprise », « collaboration », « integration », « 4.0 », « technology », « application » et « need ». L'objectif était d'obtenir une couverture large et d'identifier les termes les plus fréquents dans les publications traitant de l'accès aux technologies de l'industrie 4.0.

Cette exploration a révélé que la plupart des études traitent l'accessibilité technologique de façon indirecte, en proposant des solutions ponctuelles ou en analysant des cas où l'accès apparaît comme un effet secondaire du sujet principal. Par exemple, Łabędzka (2021) analyse les aides financières gouvernementales offertes aux PME manufacturières : bien que son objectif porte sur le financement, elle évoque indirectement le manque de ressources comme frein majeur au virage numérique.

Les mots-clés finalement retenus pour l'identification reflètent donc les termes les plus récurrents dans ces 57 articles exploratoires. Pour restreindre la recherche au secteur manufacturier, les termes « manufacturing » et « manufacture » ont été ajoutés. Le terme « Industry 4.0 », malgré certaines variantes terminologiques, demeure le plus couramment employé pour désigner la quatrième révolution industrielle dans les publications récentes. Enfin, un seul des termes « Access », « Implementation », « Integration », « Challenge », « Need » ou « Application » était inclus dans chaque requête afin de maximiser la probabilité de repérer les travaux abordant l'accès, même indirectement. Ces termes correspondent à ceux les plus fréquemment rencontrés lors de la phase exploratoire.

L'étape d'exploration a donc permis de définir les mots-clés pertinents. Puis, la phase d'identification a ensuite été amorcée dans Scopus, à l'aide de la chaîne 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 a permis un premier filtre plus large, qui incluait une variété d'ouvrages gérée dans les étapes suivantes de la méthodologie inspirée de la méthode PRISMA. La traduction française de cette recherche n'offrait aucun résultat. Avec la chaîne proposée, 336 documents sont obtenus.

Les auteurs et titres des résultats ont été exportés dans Excel pour le suivi méthodologique. Aucun doublon n'a été relevé, la base Scopus étant unique. Toutefois, 21 documents sans auteur ont été exclus, leurs textes n'étant pas accessibles, de même que quatre ouvrages inaccessibles pour des raisons d'abonnement aux maisons d'édition. Tous les résultats étaient en anglais, conformément aux mots-clés utilisés.

Un premier tri a été effectué par lecture des titres, afin de déterminer si les textes abordaient directement ou indirectement la question de l'accessibilité technologique. 116 documents ont été conservés. Un second tri, basé sur la lecture des résumés, a ensuite été réalisé. Les articles ne présentant aucune piste de solution à une problématique d'application d'une technologie 4.0 ont été écartés, ce critère constituant le principe d'élimination. 39 articles ont ainsi été retenus pour lecture intégrale. À l'issue de cette dernière étape, 10 documents ont été exclus pour non-pertinence (contenu non aligné à

l'objectif de recherche ou données jugées incomplètes). La figure 2.1 illustre la démarche complète de cette revue de littérature inspirée du cadre PRISMA.

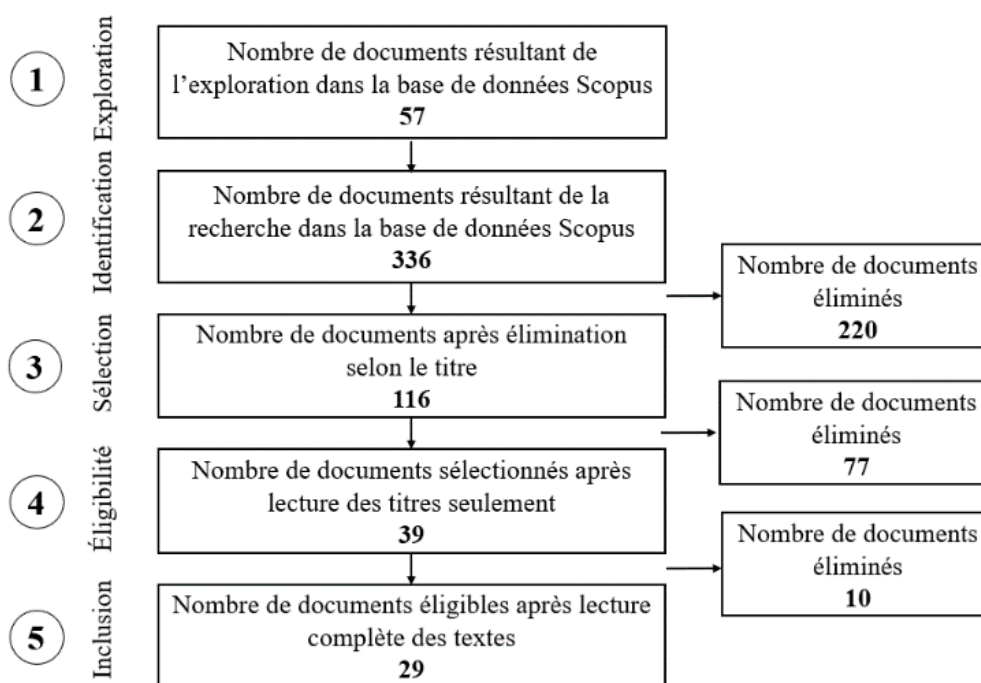


Figure 2.1 : Organigramme de la procédure exploratoire et des résultats par étape

Parmi les 29 ouvrages finalement retenus, les facteurs influençant l'accès technologique de l'industrie 4.0 ont été identifiés et comptabilisés. Un facteur était considéré comme pertinent lorsqu'un auteur mentionnait explicitement un lien entre un élément étudié et son effet sur l'accès technologique de l'industrie 4.0. Par exemple, Beltrami et Orzes (2021) analysent l'intégration de la fabrication additive dans les PME. Bien que leur objectif principal soit d'évaluer son rôle dans la chaîne d'approvisionnement de demain, ils mettent en évidence la réduction des coûts de production comme moyen

d'en améliorer l'accessibilité, ce qui en fait un facteur d'accès technologique de l'industrie 4.0.

À l'instar de cet exemple, le Tableau 2.1 présente un portrait synthèse des facteurs identifiés dans les 29 ouvrages analysés. Sept facteurs distincts ont été isolés comme ayant un impact sur l'accès technologique de l'industrie 4.0 des PME manufacturières :

1. Le coût des technologies 4.0 ;
2. L'accès à l'information ;
3. La gestion managériale interne ;
4. La servicisation ;
5. L'aide gouvernementale ;
6. Le soutien des fournisseurs de technologie ;
7. La collaboration interentreprises.

Tableau 2.1 : Facteurs d'accès à la technologie dans la revue de littérature

Numéro	Référence	Coût	Gestion managériale	Accès à l'information	Servicisation	Aide gouvernementale	Fournisseurs de technologie	Collaboration inter-entreprise
1	(Abdulnour, Baril, Abdulnour et Gamache, 2022)			x				
2	(Beltrami et Orzes, 2021)	x						
3	(Bettiol et al., 2021)	x	x		x			
4	(Bortoluzzi et al., 2022)	x	x		x			
5	(Brodeur et al., 2022)	x	x	x				x
6	(Buer et al., 2021)		x					
7	(Chavez et al., 2021)	x	x	x				
8	(Cottrino et al., 2020)	x		x				
9	(Dossou et al., 2022)			x				
10	(Gamache, Abdul-Nour et Baril, 2020)	x						
11	(García, Bregon et Martínez-Prieto, 2022)	x						
12	(Ghobakhloo et al., 2019)		x	x		x	x	
13	(Ghobakhloo et al., 2022)	x	x			x	x	
14	(Grube, Malik et Bilberg, 2017)	x						
15	(Haben, Vogel-Heuser, Najjari, Seitz, Trunzer et Salazar, 2021)	x						
16	(Hansen et al., 2021)	x						
17	(Łabędzka, 2021)			x		x		
18	(Leona Niemeyer, Gehrke, Müllr, Küsters et Gries, 2020)	x						
19	(Louw et Walker, 2018)	x						
20	(Martikkala et al., 2021)	x						
21	(Masood et Sonntag, 2020)		x					
22	(Matt et al., 2020)	x						
23	(Mittal, Khan, Romero et Wuest, 2018)		x	x				
24	(Mittal, Khan, Purohit, Menon, Romero et Wuest, 2019)	x						
25	(Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo et Barbaray, 2018)	x		x				
26	(Ramírez-Durán et al., 2021)	x	x		x		x	
27	(Schönfuß, McFarlane, Hawkrigde, Salter, Athanassopoulou et Silva, 2021)			x				
28	(Trstenjak et al., 2022)		x	x				
29	(Vrchota, Řehoř, Maříková et Pech, 2021)		x					
	Total de documents	19	12	11	3	3	3	1
	Pourcentage des documents	66%	41%	38%	10%	10%	10%	3%

2.1.1 - Coût technologique

Le coût des technologies 4.0 a été retenu comme facteur d'accès technologique de l'industrie 4.0, puisqu'il constitue une réponse centrale aux difficultés rencontrées par les

PME dans leur transition numérique. Plus de la moitié des documents examinés (66 %) soulignent l'importance de solutions abordables ou adaptées aux besoins réels, permettant ainsi d'éviter des investissements excessifs et superflus. Plusieurs auteurs, dont Beltrami et Orzes (2021), Chavez et al. (2021), Cotrino et al. (2020), Gamache, Abdul-Nour et Baril, (2020), Haben, Vogel-Heuser, Najjari, Seitz, Trunzer et Salazar (2021), Hansen et Bøgh (2021), Louw et Walker (2018), Martikkala et al. (2021), Matt et al. (2020) ainsi que Mittal, Khan, Purohit, Menon, Romero et Wuest (2019), présentent des exemples concrets de technologies de pointe à faible coût. Ils mettent en évidence la possibilité de concevoir certaines composantes de manière à réduire leur valeur marchande tout en maintenant les critères essentiels au contexte de l'industrie 4.0, tels que la connectivité, en proposant aux fabricants des méthodes pour y parvenir.

Sans dresser une liste exhaustive, plusieurs auteurs mettent en évidence un large éventail de technologies 4.0, allant de l'Internet des objets (IoT) et des systèmes cyber-physiques (CPS) à l'intelligence artificielle (IA), l'infonuagique, la fabrication additive et la RFID, souvent en lien avec la transformation numérique, les systèmes manufacturiers intelligents ou la cybersécurité (Beltrami et Orzes, 2021; Cotrino et al., 2020; Gamache et al., 2020; Hansen et Bøgh, 2021; Louw et Walker, 2018; Matt et al., 2020; Mittal et al., 2019). Certaines études se focalisent sur des technologies particulières, comme les données en temps réel, les systèmes SCADA, ou encore la réalité virtuelle et augmentée (Chavez et al., 2021; Martikkala et al., 2021; Mittal et al., 2019). Enfin, d'autres travaux mettent en avant le « retrofitting », qui consiste à moderniser l'équipement existant par l'ajout de capteurs ou d'accessoires pour en faciliter l'intégration dans l'industrie 4.0 (Garcia et al.,

2022; Leona Niemeyer et al., 2020; Moreno, De Los Rios et Charnley, 2016). Il s'agit donc d'ouvrages où le facteur du coût est mis en lumière comme une solution, explorée de façon explicite dans le contexte particulier de chaque étude, en lien avec une technologie spécifique.

Le coût technologique est abordé dans la littérature sous différents angles. Plusieurs auteurs soulignent que la complexité des technologies doit être modulée en fonction du contexte, et que la réalisation d'une analyse approfondie des besoins constitue une étape cruciale (Ghobakhloo, Iranmanesh, Vilkas, Grybauskas et Amran, 2022; Grube et al., 2017; García et al., 2022). En proposant des technologies simplifiées, ciblées et non exagérées, il devient possible de réduire les investissements requis, de faciliter leur intégration à l'architecture existante et, par conséquent, d'améliorer leur accessibilité pour les PME manufacturières. Dans la présente revue, les auteurs qui abordent le facteur du coût technologique semblent partir de la prémisse que la solution demeure pertinente dès lors qu'elle répond adéquatement aux besoins spécifiques du contexte étudié. Par exemple, García et al. (2022) présentent une solution de maintenance 4.0 à faible coût, conçue pour combler l'ensemble des besoins de l'entreprise visée. De même, le choix d'un niveau d'automatisation adapté permet non seulement de limiter les investissements superflus, mais aussi de prévenir certaines difficultés telles que le manque d'expertise interne pour assurer le suivi autonome ou l'inflexibilité des opérations (Grube et al., 2017).

Plus largement, l'offre de technologies à moindre coût apparaît comme le facteur d'accès le plus souvent mentionné dans la littérature. Ghobakhloo et al. (2022) indiquent que 21,6 % des articles recensés dans leur revue soulignent le caractère coûteux des

technologies 4.0 et les difficultés d'acquisition pour les PME, contre seulement 2,7 % qui observent une diminution récente des coûts pouvant agir comme levier d'adoption. Enfin, plusieurs auteurs rappellent que le contexte actuel, marqué par la rareté de main-d'œuvre et l'instabilité des chaînes d'approvisionnement, accentue l'urgence d'adopter des solutions adaptées et abordables (Dossou et al., 2022). Dans cette perspective, éviter le surdéveloppement technologique tout en ciblant les besoins réels permet non seulement de réduire le coût d'acquisition, mais aussi de limiter les dépenses liées à l'implantation, à la maintenance et à la gestion des ressources mobilisées.

En somme, le coût des technologies 4.0 ressort comme un facteur central d'accessibilité, largement discuté dans la littérature. Qu'il s'agisse de proposer des solutions simplifiées, de recourir au « retrofitting » ou d'adapter le niveau d'automatisation, l'objectif demeure de concevoir des technologies abordables et alignées sur les besoins réels des PME.

2.1.2 - Gestion managériale

La gestion managériale renvoie à l'organisation du personnel et à la répartition des rôles et responsabilités au sein d'une PME. Elle englobe la structure hiérarchique, les compétences des gestionnaires, les talents disponibles ainsi que la disposition des départements, tous des éléments influençant l'accès aux technologies modernes. Considérée comme un facteur d'accès à la technologie, elle est régulièrement citée dans la littérature comme ayant un impact déterminant sur le déroulement des projets d'intégration

technologique. 41 % des documents analysés soulignent d'ailleurs son rôle central dans la mise en œuvre de solutions 4.0 (tableau 2.1).

Ghobakhloo et al. (2019) et Masood et Sonntag (2020) soulignent le rôle central de l'équipe de direction dans les projets d'intégration technologique. Masood et Sonntag (2020) insistent sur l'influence de la culture organisationnelle et de l'attitude générale, tandis que Ghobakhloo et al. (2019) rappellent que la volonté des dirigeants constitue la base d'un virage vers l'industrie 4.0. Pour leur part, Buer et al. (2021) et Mittal et al. (2018) mettent l'accent sur l'importance de l'attribution des ressources au sein des PME manufacturières. Dans la plupart des PME manufacturières, les employés les plus expérimentés en haute technologie sont principalement mobilisés au sein du département de recherche et développement, afin de créer de la valeur ajoutée aux produits. Leur expertise spécialisée demeure ainsi sous-utilisée pour l'amélioration des méthodes de production internes, ce qui limite le potentiel d'intégration technologique à l'échelle de l'organisation (Buer et al., 2021). Mittal et al. (2018) et Chavez et al. (2021) soulignent que les PME, disposant de ressources plus limitées, comptent davantage sur du personnel multitâche et moins sur une main-d'œuvre spécialisée que les grandes entreprises. Cette réalité freine l'avancement de plusieurs projets, notamment ceux liés aux technologies 4.0. Trstenjak et al. (2022) et Vrchota, Řehoř, Maříková et Pech (2021) rappellent par ailleurs que le facteur humain demeure déterminant dans l'intégration de nouvelles technologies. Selon Trstenjak et al. (2022), la préparation et l'organisation des ressources humaines constituent même un élément central pour assurer le succès de l'adoption technologique. Selon Vrchota et al. (2021), 75% des projets numériques échouent avant même la phase

d'implantation. Les résultats de cette étude mettent en lumière l'expérience et le « leadership » comme étant deux facteurs à succès d'adoption d'une nouvelle technologie.

En somme, la gestion managériale constitue un facteur clé de l'accès technologique de l'industrie 4.0, influençant directement la réussite des projets d'intégration. Les recherches soulignent l'importance du rôle de la direction, de la culture organisationnelle, de l'attribution des ressources et de la préparation des équipes. Dans un contexte où les PME disposent souvent de ressources limitées et d'une main-d'œuvre multitâche, le leadership, l'expérience et une gestion adaptée des ressources humaines apparaissent comme des conditions essentielles pour assurer le succès de l'adoption des technologies 4.0.

2.1.3 - Accès à l'information

L'accès à l'information est également reconnu dans la littérature comme un facteur déterminant, fréquemment présenté comme une réponse aux difficultés rencontrées par les PME manufacturières dans leur virage numérique. Il constitue le deuxième facteur le plus cité, apparaissant dans 38 % des articles recensés (tableau 2.1). Selon Ghobakhloo et al. (2019), il agit comme un levier essentiel pour réduire l'écart entre la théorie et la pratique en matière d'intégration numérique, favorisant ainsi une meilleure accessibilité aux technologies pour les PME.

Les ouvrages qui abordent ce facteur l'illustrent à travers divers contextes spécifiques et proposent plusieurs exemples concrets. Abdulnour, Baril, Abdulnour et Gamache (2022), Cotrino et al. (2020) et Ghobakhloo et al. (2019) mettent notamment de

l'avant l'utilisation de feuilles de route, qui fournissent aux entreprises une information structurée sur les méthodes et les étapes à suivre, constituant ainsi de véritables plans à court ou à long terme. Selon Cotrino et al. (2020), l'identification claire des besoins et l'élaboration d'un plan stratégique sont essentielles pour assurer la cohérence de ces feuilles de route, tandis que Ghobakhloo et al. (2019) soulignent l'importance de les personnaliser afin qu'elles demeurent flexibles et évolutives, réduisant ainsi le risque technologique pour l'organisation.

D'autres formes d'outils d'aide à l'information sont également recensées. Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo et Barbaray (2018) proposent un cadre méthodologique, tandis que Chavez et al. (2021) et Mittal et al. (2018) présentent des modèles de maturité. Le cadre définit une méthode fondée sur des procédures cohérentes, alors que le modèle de maturité trace un plan pour atteindre un niveau cible dans un domaine donné (Mittal et al., 2018). Ces approches mettent en évidence des dimensions telles que l'autonomie, l'optimisation, le contrôle et la surveillance continue (Moeuf et al., 2018), ainsi que des caractéristiques comme la flexibilité, la connectivité ou la robustesse (Chavez et al., 2021).

D'autres auteurs privilégient des outils axés directement sur la performance, comme celui de Dossou et al. (2022), ou sur son évaluation, comme chez Trstenjak et al. (2022), qui identifient trois critères clés : la planification de processus intelligents, les infrastructures et l'organisation des ressources humaines. Ces différents dispositifs contribuent à faciliter l'adoption des technologies 4.0, mais leur efficacité dépend fortement de la situation initiale du système manufacturier de la PME (Mittal et al., 2018).

Enfin, certains travaux se concentrent sur les plateformes de partage de connaissances. Łabędzka (2021) et Schönfuß, McFarlane, Hawkrigde, Salter, Athanassopoulou et Silva (2021) citent par exemple « The Future Industry Platform », un écosystème collaboratif d'entrepreneurs en transformation numérique, ainsi que le « Catalonia's Digital Innovation Hub (DIH4CAT) », qui offrent des résultats concrets d'aide à l'intégration technologique. Parfois soutenues par les instances gouvernementales, ces plateformes jouent un rôle clé en centralisant l'expertise et en accélérant l'accès à l'information pour les PME.

La littérature souligne que la responsabilité de rendre l'information accessible est par contre diffuse entre les différents acteurs. Certains imputent aux PME leur manque d'initiatives en raison de ressources limitées (Rauch, Dallasega et Unterhofer, 2019), d'autres critiquent l'action insuffisante des gouvernements (Huang, Chicoma et Huang, 2019), tandis que certains pointent le rôle des fournisseurs dans la transmission du savoir technologique (Ghobakhloo et al., 2019). Dans tous les cas, l'absence de communication claire entre PME, fournisseurs et instances publiques crée un frein majeur à l'accès à l'information et ralentit l'intégration des technologies de l'industrie 4.0 (Łabędzka, 2021; Chavez et al., 2021).

Dans l'ensemble, l'accès à l'information ressort donc comme un facteur déterminant, cité dans plus du tiers des ouvrages analysés. Qu'il s'agisse de feuilles de route, de cadres méthodologiques, de modèles de maturité, d'outils de performance ou de plateformes collaboratives, les solutions proposées visent toutes à combler l'écart entre la théorie et la pratique. Toutefois, leur efficacité dépend largement de la capacité des PME à

définir clairement leurs besoins et à collaborer avec les autres acteurs de l'écosystème, condition essentielle pour transformer l'information disponible en un véritable levier d'accessibilité technologique.

2.1.4 - Servicisation

Le modèle d'affaires de la servicisation est également identifié comme un facteur d'accès, puisqu'il est présenté dans la littérature comme une solution facilitant l'adoption des technologies dans différents contextes. Trois ouvrages recensés dans cette revue en font mention (tableau 2.1). Ce modèle, proposé notamment par les manufacturiers, consiste à vendre l'usage d'un produit plutôt que le produit lui-même (Bortoluzzi et al., 2022).

Les auteurs l'abordent sous différents angles. Bettiol, Capestro, Di Maria et Micelli (2021) et Bortoluzzi, Chiarvesio, Romanello, Tabacco et Veglio (2022) discutent des avantages et des limites de ce modèle, tandis que Ramírez-Durán, Berges et Illarramendi (2021) proposent une méthodologie de développement de technologies adaptées à ce principe. Pour une PME, adopter une technologie sous forme de servicisation permet de réduire le risque d'intégration en limitant l'affectation de ses propres ressources et expertises, tout en transformant l'investissement initial en une charge financière liée à l'usage réel (Bettiol et al., 2021). Bortoluzzi et al. (2022) introduisent par ailleurs le concept de « servicisation digitale », appliqué plus spécifiquement aux technologies de l'industrie 4.0. Leur étude démontre que ce modèle peut agir comme un moteur de création de valeur lorsqu'il est intégré à la stratégie organisationnelle.

Plusieurs bénéfices sont soulignés, tels qu'une plus grande stabilité des revenus, une profitabilité accrue, une offre distinctive face à la concurrence, une fidélisation renforcée de la clientèle et une réduction des gaspillages, rejoignant ainsi les principes de l'économie circulaire (Bortoluzzi et al., 2022). Néanmoins, certains désavantages sont relevés : le changement culturel requis par un modèle d'affaires non traditionnel, le risque de revenus négatifs si le niveau de service est mal estimé, ainsi que des coûts initiaux supplémentaires (Bortoluzzi et al., 2022). Enfin, Ramírez-Durán et al. (2021) rappellent que le développement de solutions numériques sous ce modèle doit reposer sur une compréhension fine des besoins du client et du cycle de vie du produit. Il indique d'ailleurs les effets sur les coûts d'implantation ainsi que sur la gestion de projet.

La servicisation se présente comme un modèle d'affaires ayant une influence sur l'accès technologique de l'industrie 4.0 des PME manufacturières. En réduisant les charges financières initiales ainsi que les ressources requises pour l'intégration et l'implantation, elle constitue une solution facilitatrice d'adoption des technologies modernes. Toutefois, la littérature met en évidence un manque de clarté quant aux stratégies d'application et aux impacts réels de ce modèle selon les contextes, ce qui justifie la nécessité de recherches supplémentaires pour mieux définir son rôle comme levier d'accessibilité technologique (Bortoluzzi et al., 2022).

2.1.5 - Aide gouvernementale

L'aide gouvernementale peut prendre différentes formes pour les PME manufacturières. Elle a été identifiée comme un facteur d'accès aux technologies, puisque

plusieurs ouvrages recensés mettent en évidence son influence sur certains projets technologiques ou contextes spécifiques. Au total, 10 % des publications analysées dans cette revue y font référence (tableau 2.1). Deux formes d'aide se distinguent particulièrement : l'aide financière et l'aide informationnelle.

Dans les ouvrages recensés, Ghobakhloo et al. (2019) soulignent l'écart entre le soutien dont les PME manufacturières auraient réellement besoin et l'aide qu'elles reçoivent. Un exemple concret est l'impossibilité, pour certaines organisations, de participer à des formations sur les technologies de l'information liées à la fabrication intelligente en raison de contraintes financières. Tant dans les pays développés que dans ceux en développement, la lenteur du rythme d'adoption des technologies modernes pourrait être réduite grâce à un appui accru des instances gouvernementales (Ghobakhloo et al., 2022). L'étude de Łabędzka (2021) met en évidence les politiques actuellement en place dans certaines régions européennes, tout en montrant que les PME manufacturières ont besoin d'un soutien plus important. Cet ouvrage insiste également sur un manque crucial en matière d'éducation et de diffusion de l'information.

En somme, l'aide gouvernementale constitue un facteur d'accès important, mais la littérature met en évidence un écart persistant entre le soutien offert et les besoins réels des PME manufacturières. Qu'il s'agisse d'aides financières, de programmes d'évaluation ou de plateformes d'échange, ces formes de support demeurent jugées insuffisantes. Plusieurs auteurs soulignent dès lors la responsabilité des gouvernements d'adapter leurs interventions, compte tenu non seulement du rôle économique central des PME, mais aussi

de leur contribution déterminante à la création d'emplois (Ghobakhloo et al., 2019; Łabędzka, 2021).

2.1.6 - Fournisseurs de technologie

Le soutien offert par les fournisseurs de technologies 4.0 a également été identifié comme un facteur influençant l'accès technologique de l'industrie 4.0. Il est mentionné dans trois articles recensés (tableau 2.1). Ces travaux soulignent le rôle clé de ces acteurs dans l'accompagnement des PME, en illustrant leur impact à travers différents exemples concrets.

Ghobakhloo et al. (2022) soulignent le manque d'experts externes disponibles pour accompagner les PME manufacturières dans leur transformation numérique, ce qui constitue un frein critique à l'adoption de l'industrie 4.0. Ghobakhloo et al. (2019) ajoutent que plusieurs fournisseurs introduisent des technologies sans réaliser d'évaluation préalable de leur compatibilité avec l'organisation, ce qui représente une responsabilité non assumée et peut entraîner des conséquences négatives pour les deux parties. De leur côté, Ramírez-Durán et al. (2021) insistent sur l'importance d'une communication claire et détaillée de la part des fournisseurs. Une description précise des produits et services, accompagnée d'une présentation visuelle améliorée, peut enrichir l'expérience client et faciliter la prise de décision.

En résumé, même si le rôle des fournisseurs de technologies 4.0 est peu approfondi dans la littérature, il est reconnu comme un facteur stratégique dans l'accompagnement des PME vers l'industrie 4.0. Leur expertise peut contribuer à combler certaines lacunes

internes, à condition qu'ils assument pleinement leur responsabilité d'évaluation et de communication. En raffinant l'information liée aux solutions qu'ils proposent et en s'assurant de leur compatibilité avec les besoins réels des entreprises, les fournisseurs peuvent faciliter l'adoption, améliorer la compréhension des technologies avancées et accélérer leur intégration au sein des PME manufacturières. Cette responsabilité est d'autant plus importante lorsque les PME ne disposent pas des connaissances et des compétences nécessaires pour connaître, définir et exprimer clairement leurs besoins technologiques réels.

2.1.7 - Collaboration interentreprise

Enfin, le dernier facteur identifié dans la littérature comme ayant un impact sur l'accès technologique de l'industrie 4.0 est la collaboration interentreprises. Mentionnée dans un seul article recensé (tableau 2.1), elle renvoie au travail collectif entre organisations visant à mobiliser plusieurs acteurs pour faciliter l'intégration d'une technologie numérique.

Un modèle d'affaires collaboratif peut contribuer à réduire à la fois les coûts et les risques technologiques (Brodeur et al., 2022). Dans un cas d'application aérospatiale, une architecture commune a été développée afin d'éviter deux projets parallèles de conception par des entreprises adjointes. Cette mise en commun a permis de limiter les ressources nécessaires, de partager les coûts et d'assurer la compatibilité inter organisationnelle, ce qui a considérablement accru les chances de succès du projet. La collaboration interentreprises offre ainsi des bénéfices tangibles tels que la répartition de la charge

financière, le partage des ressources humaines et managériales, ainsi que la mutualisation de l'expertise. Toutefois, elle nécessite une gouvernance claire pour encadrer la prise de décision et assurer la bonne gestion d'un projet impliquant plusieurs parties prenantes.

La collaboration inter entreprise apparaît comme le facteur d'accès technologique de l'industrie 4.0 le moins développé dans la littérature, probablement en raison de son caractère ponctuel et contextuel. Elle ne constitue pas un levier direct et généralisé, mais peut agir comme un modèle facilitant l'intégration dans des cas précis. En répartissant le risque et en partageant les ressources, la charge de chaque entreprise collaborative associée à un projet technologique 4.0 est diminuée (Brodeur et al., 2022).

2.2 - Cadre conceptuel

Le tableau 2.1 met en évidence que la majorité des articles recensés convergent vers un noyau constitué de trois facteurs récurrents: le coût technologique, la gestion managériale et l'accès à l'information. Ce regroupement dominant met en évidence leur rôle structurant dans l'analyse de l'accès technologique à l'industrie 4.0 pour les PME manufacturières. Les autres facteurs identifiés, tels que l'aide gouvernementale, la collaboration interentreprises, la servicisation ou encore le rôle des fournisseurs, se rattachent toujours à l'un de ces trois facteurs centraux. Ainsi, l'analyse permet non seulement d'identifier les sept facteurs distincts du tableau 2.1, mais aussi de mettre en lumière les interrelations qui structurent leur impact. C'est sur la base de ce constat qu'un tableau de synthèse est proposé (tableau 2.2), afin d'illustrer les liens observés entre les différents facteurs, lesquels serviront de fondement au cadre conceptuel.

Au total, huit liens ont pu être identifiés entre les sept facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0. Le tableau 2.2 en présente des exemples accompagnés de leurs références. Les trois premières colonnes indiquent les facteurs concernés par le lien. Les indicateurs « DE » et « À » précisent le sens du lien. À titre d'exemple, Ghobakhloo et al. (2019) montrent que l'accès facilité à l'information technologique, facteur central pour la PME, résulte du soutien indirect offert par le fournisseur de la technologie. Ce lien peut ainsi être consigné comme suit : « DE » soutien du fournisseur de technologie « À » accès facilité à l'information, avec pour effet global de renforcer l'accessibilité technologique. Enfin, la colonne « Liaison » décrit la nature du lien tel qu'il est formulé dans la littérature, et la colonne « Référence » présente un exemple d'étude l'ayant mis en évidence.

Tableau 2.2 : Liens entre les facteurs d'accès à la technologie 4.0 dans les PME

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

Alors que le tableau 2.2 présente des liens ponctuels identifiés dans la littérature, la figure 2.2 les illustre dans une vision globale, permettant d'en saisir la logique d'ensemble. La colonne « # » du tableau 2.2, numérotée de 1 à 8, renvoie directement aux correspondances représentées dans la figure 2.2. Cette dernière intègre la problématique et l'objectif de la recherche, de manière à formuler une proposition de cadre conceptuel qui servira de fondement à l'analyse subséquente et permettra de répondre aux questions de recherche.

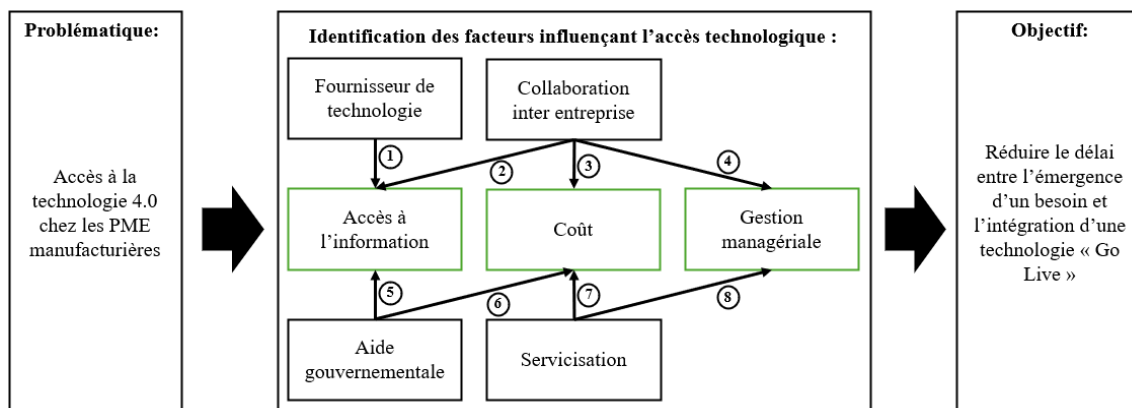


Figure 2.2 : Cadre conceptuel des facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Rousseau et Gamache, 2023)

La figure 2.2 illustre trois blocs principaux : la problématique, l'identification des facteurs influençant l'accès technologique de l'industrie 4.0 et, enfin, l'objectif de la recherche. Les sept facteurs d'accès sont représentés par des rectangles situés au centre, dans la section « Identification des facteurs influençant l'accès technologique de l'industrie 4.0 ». Parmi eux, l'accès à l'information, le coût technologique et la gestion managériale, apparaissent en vert dans la figure 2.2, soulignant leur rôle central. Les liens entre les facteurs sont indiqués par des flèches numérotées, correspondant aux références de la première colonne du tableau 2.2.

2.3 - Synthèse

L'objectif de cette revue de la littérature est de mettre en lumière les solutions actuellement explorées pour soutenir l'accès des PME manufacturières aux technologies modernes, en lien avec les principes de l'industrie 4.0. La démarche s'inspire du cadre

PRISMA, précédée d'une phase exploratoire, et retient 29 documents pour l'analyse présentée dans ce mémoire.

L'examen des ouvrages recensés a permis d'identifier sept facteurs influençant l'accessibilité technologique des PME : les solutions à faibles coûts, l'accès à l'information, les outils de gestion managériale, la servicisation, l'aide gouvernementale, le rôle des fournisseurs de technologies modernes et la collaboration interentreprises. Parmi ceux-ci, les trois premiers apparaissent comme les plus fréquemment discutées dans les écrits. Les autres, bien que moins développées, s'y rattachent en agissant comme leviers ou modulateurs de ces trois facteurs centraux.

Cette observation met en évidence huit liaisons, dont des exemples sont présentés au tableau 2.2 et ensuite schématisés à la figure 2.2. Ces liaisons constituent le cadre conceptuel reliant la problématique de recherche à ses objectifs. Ces liaisons révèlent que les facteurs ne fonctionnent pas de manière isolée mais en interaction. La littérature souligne en effet rarement un facteur sans le relier au coût technologique, à la gestion managériale ou à l'accès à l'information. C'est pourquoi l'accent sera mis dans ce travail sur l'analyse des liens entre facteurs, car ils reflètent la dynamique réelle observée dans les écrits et constituent un objet d'étude plus pertinent qu'un examen séparé des facteurs isolés.

La figure 2.3 illustre explicitement ces huit liens. Afin d'alléger la lecture et d'assurer la cohérence terminologique pour la suite du mémoire, le terme « facteur » sera désormais utilisé pour désigner les huit regroupements identifiés dans le cadre conceptuel (figure 2.2). Ces regroupements correspondent en réalité à des liaisons entre les facteurs

recensés dans la littérature, mais leur nature transversale justifie de les considérer comme des entités à part entière. Il a donc été jugé pertinent, pour la clarté et la fluidité de l'analyse, de regrouper ces liaisons sous le terme commun de « facteurs ».

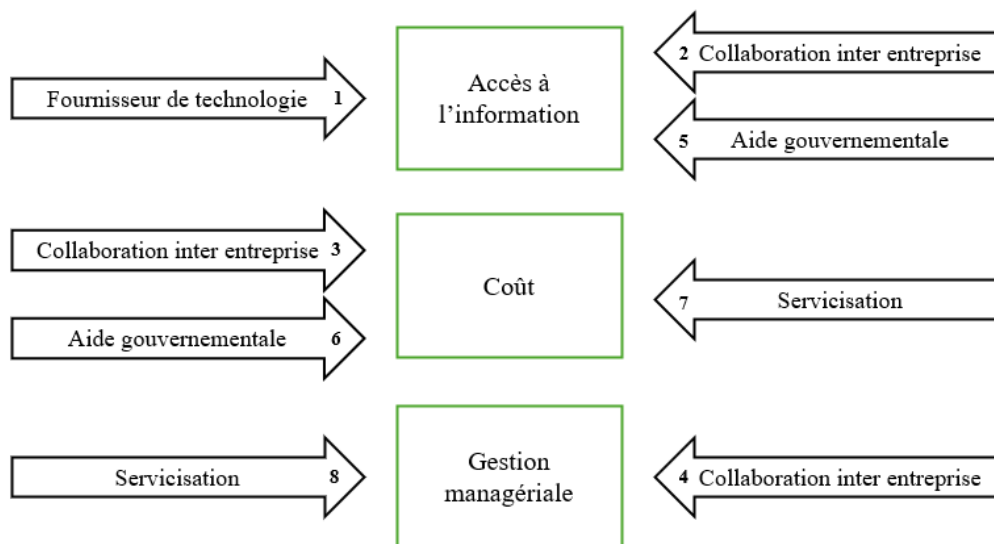


Figure 2.3 : Huit facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0

À la figure 2.3, les huit facteurs sont numérotés en fonction des références de la première colonne du tableau 2.2, numérotation qui correspond également à celle utilisée dans schéma de la figure 2.2. L'identification de ces facteurs permet ainsi de répondre aux deux premières questions de recherche :

1. Quels sont les facteurs qui influencent l'accès aux technologies de l'industrie 4.0 chez les PME manufacturières?
2. Quelles sont les liaisons entre ces facteurs?

Cette revue contient quelques limitations à considérer. D'abord, une seule base de données n'a été utilisée pour la revue de littérature. 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'incluaient pas les termes « smart » ainsi qu'« industrie 5.0 ». Ceci peut avoir éliminé des articles dès la première étape de la méthodologie inspirée de la méthode PRISMA, car il s'agit là de synonymes parfois utilisés 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 dix 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 de l'industrie 4.0. 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 éliminés en raison du manque d'information complète dans le titre ou dans le résumé, ou encore en raison de l'accès limité de l'auteure à certaines bases de données.

CHAPITRE 3 - MÉTHODOLOGIE

3.1 - Démarche de recherche et formulation des hypothèses

La revue de littérature révèle un déficit de recherche : aucun travail recensé n'aborde directement la question de l'accès aux technologies modernes dans les PME manufacturières. Les études existantes traitent plutôt de thèmes connexes tels que l'adoption, la maturité numérique ou les freins organisationnels, sans mesurer concrètement les dynamiques ni les délais d'accès technologique de l'industrie 4.0.

Pour combler cette lacune, de nouvelles données doivent être recueillies afin de répondre à la troisième question de recherche : quels facteurs ou combinaisons influencent significativement le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0? Une série d'hypothèses (tableaux 3.2 et 3.3), formulée à partir du cadre conceptuel (figure 2.2), établit les relations potentielles entre les variables et leur influence sur le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 observé.

Les hypothèses ont été testées à l'aide d'un questionnaire diffusé auprès d'entreprises ayant récemment intégré des technologies 4.0. Cette méthode, reconnue pour sa capacité à comparer des cas réels et à identifier des relations statistiques significatives (Gavard-Perret et al., 2011), a permis d'analyser les liens entre les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (X) et le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Y).

Les huit facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 retenus suite à la revue de littérature ont été mesurés deux fois; à l'émergence du besoin et au « Go Live », afin d'évaluer leur influence respective aux deux extrémités du délai d'accès technologique de

l'industrie 4.0. Ces données sont identifiées par les variables X1 à X16 (tableau 3.1). Des variables complémentaires sont ajoutées (X17 à X21) décrivant les caractéristiques propres à chaque projet : année d'intégration, technologie utilisée, complexité perçue, coût et évaluation du déroulement. Bien que secondaires, elles enrichissent l'analyse en tenant compte des conditions réelles des projets, susceptibles d'influer sur le délai (Y).

Comme le soulignent Hennig et Sauerbrei (2019), l'intégration de variables secondaires exige une vigilance quant à leurs effets potentiels. Dans le cas présent, chaque facteur d'accès technologique à l'industrie 4.0 est analysé isolément, ce qui justifie le recours à des analyses bivariées. Une hypothèse est ainsi posée: le risque associé aux variables secondaires peut être considéré comme négligeable pour les objectifs de la présente recherche

Les variables décrites au tableau 3.1 constituent celles mises en relation dans les hypothèses présentées aux tableaux 3.2 et 3.3. Le niveau observé de chaque variable indique le degré de présence du facteur dans un projet d'intégration technologique 4.0. Par exemple, la variable X2 représente le soutien offert par un collaborateur externe. Dans le cas d'une implantation du Cloud, cela peut correspondre à un accompagnement important pour planifier le projet et définir les besoins de l'entreprise. Ce principe s'applique à l'ensemble des variables, qui traduisent la présence effective des facteurs d'accès tout au long du processus d'intégration.

Afin de faciliter la lecture lors de la présentation des résultats, des codes ont été attribués aux variables et sont présentés au tableau 3.1. La logique de codification est

simple : la première lettre indique le type de variable (« X » pour les indépendantes, « Y » pour la dépendante). Deux lettres suivent pour identifier le facteur d'accès technologique 4.0 « DE » et « À » tel explicité au tableau 2.2. Par exemple, FI pour « DE » Fournisseur « À » l'accès à l'Information, ou encore GC pour « DE » l'aide Gouvernementale « À » Coût technologique. Enfin, la dernière lettre précise le moment d'évaluation : « É » pour l'émergence du besoin et « G » pour le « Go Live ». Les variables secondaires X17 à X21 constituent une exception : elles reçoivent uniquement un mot-clé descriptif, puisqu'elles ne sont associées ni à un facteur d'accès technologique 4.0 ni à un moment temporel spécifique.

Tableau 3.1 : Description des variables du cadre théorique

Variable	Code	Description
Y	Y-DÉLAI	Délai entre l'émergence du besoin en technologie 4.0 et l'intégration de cette technologie « Go Live »
X1	X-FI-É	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau d'accès à l'information que le fournisseur d'une technologie a fourni à l'entreprise pour y répondre
X2	X-CI-É	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau d'accès à l'information offerte par un collaborateur quelconque pour le projet d'intégration y répondant
X3	X-GI-É	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau d'accès à l'information offerte par le gouvernement (ressource quelconque gouvernementale) à l'entreprise pour l'aider
X4	X-CC-É	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel la collaboration avec une autre entreprise a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant
X5	X-GC-É	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel l'aide gouvernementale a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant
X6	X-SC-É	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel l'utilisation d'un modèle tel que la servicisation a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant

Tableau 3.1 (suite) : Description des variables du cadre théorique

Variable	Code	Description
X7	X-CM-É	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel la collaboration avec une autre entreprise a permis d'optimiser la gestion managériale pour la solution y répondant
X8	X-SM-É	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel l'utilisation d'un modèle tel la servicisation a permis d'optimiser la gestion managériale pour la solution y répondant
X9	X-FI-É	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau d'accès à l'information que le fournisseur d'une technologie a fourni à l'entreprise pour y répondre
X10	X-CI-G	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau d'accès à l'information offerte par un collaborateur quelconque pour le projet d'intégration y répondant
X11	X-GI-G	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau d'accès à l'information offerte par le gouvernement (ressource quelconque gouvernementale) à l'entreprise pour l'aider
X12	X-CC-G	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel la collaboration avec une autre entreprise a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant
X13	X-GC-G	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel l'aide gouvernementale a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant
X14	X-SC-G	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel l'utilisation d'un modèle tel que la servicisation a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant
X15	X-CM-G	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel la collaboration avec une autre entreprise a permis d'optimiser la gestion managériale pour la solution y répondant
X16	X-SM-G	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel l'utilisation d'un modèle tel la servicisation a permis d'optimiser la gestion managériale pour la solution y répondant
X17	X-ANNÉE	L'année d'intégration de la technologie 4.0
X18	X-TECHNO	La technologie 4.0
X19	X-COMPLEX	Le degré de complexité de la technologie 4.0 intégrée

Tableau 3.1 (suite) : Description des variables du cadre théorique

Variable	Code	Description
X20	X-COÛT	Le coût de la technologie 4.0 intégrée
X21	X-ÉVAL	L'évaluation subjective de l'intégration technologique par le répondant

La première hypothèse concerne la variable dépendante (Y), soit le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0. Elle vise uniquement à vérifier la normalité de sa distribution (tableau 3.2), étape préalable au choix des tests statistiques appropriés.

Les hypothèses relatives aux huit facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (tableau 3.3) totalisent 16 tests, évaluant chacun la relation entre un facteur d'accès et le délai d'intégration, à deux moments distincts du processus (émergence du besoin et « Go Live »). Pour simplifier la lecture, les variables associées à un même facteur (Ex. : X1 et X9) sont regroupées.

Les hypothèses concernant X1 à X16 font apparaître le facteur d'accès « DE » en rouge et le facteur « À » en vert, suivant la logique des liaisons du tableau 2.2. La variable dépendante (Y) apparaît en italique. Les hypothèses liées aux variables secondaires (X17–X21) sont formulées différemment, puisqu'elles ne comportent ni dimension temporelle ni relation « DE / À ». Elles décrivent plutôt des caractéristiques de projet (ex. coût, complexité, année d'intégration) pouvant influencer le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0.

Tableau 3.2 : Cadre théorique : Hypothèses de la variable dépendante

Variable	H	Hypothèse
Y (Y-DÉLAI)	H0	La variable dépendante Y suit une distribution normale.
	H1	La variable dépendante Y ne suit pas une distribution normale.

Tableau 3.3 : Cadre théorique : Hypothèses des variables indépendantes

Variable	H	Hypothèse
X1-X9 (X-FI-É & X-FI-G)	H0	Un fournisseur facilitant l'accès à l' information pour le choix d'une technologie moderne ne diminue pas de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	Un fournisseur facilitant l'accès à l' information pour le choix d'une technologie moderne diminue de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X2-X10 (X-CI-É & X-CI-G)	H0	La collaboration avec une ou plusieurs entreprises pour amasser assez d' information sur le choix d'une technologie moderne ne diminue pas de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	La collaboration avec une ou plusieurs entreprises pour amasser assez d' information sur le choix d'une technologie moderne diminue de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X3-X11 (X-GI-É & X-GI-G)	H0	L' aide gouvernementale pour amasser l' information sur le choix d'une technologie moderne ne diminue pas de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	L' aide gouvernementale pour amasser l' information sur le choix d'une technologie moderne diminue de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X4-X12 (X-CC-É & X-CC-G)	H0	La collaboration avec une ou plusieurs entreprises permettant de minimiser le coût d'une technologie moderne ne diminue pas de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	La collaboration avec une ou plusieurs entreprises permettant de minimiser le coût d'une technologie moderne diminue de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X5-X13 (X-GC-É & X-GC-G)	H0	L' aide gouvernementale permettant de minimiser le coût d'une technologie moderne ne diminue pas de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	L' aide gouvernementale permettant de minimiser le coût d'une technologie moderne diminue de façon significative le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .

Tableau 3.3 (suite) : Cadre théorique : Hypothèses des variables indépendantes

Variable	H	Hypothèse
X6-X14 (X-SC-É & X-SC-G)	H0	La location selon l'usage (servicisation) permettant de minimiser le coût d'une technologie moderne ne diminue pas de façon significative le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	La location selon l'usage (servicisation) permettant de minimiser le coût d'une technologie moderne diminue de façon significative le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X7-X15 (X-CM-É & X-CM-G)	H0	La collaboration avec une/ d'autres entreprise/ s permettant d'optimiser la gestion managériale du projet d'acquisition d'une technologie moderne ne diminue pas de façon significative le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	La collaboration avec une ou plusieurs entreprises permettant d'optimiser la gestion managériale du projet d'acquisition d'une technologie moderne diminue de façon significative le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X8-X16 (X-SM-É & X-SM-G)	H0	La location selon l'usage (servicisation) permettant d'optimiser la gestion managériale du projet d'acquisition d'une technologie moderne ne diminue pas de façon significative le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	La location selon l'usage (servicisation) permettant d'optimiser la gestion managériale du projet d'acquisition d'une technologie moderne diminue de façon significative le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X17 (X-ANNÉE)	H0	L' année d'intégration de la technologie moderne n'a pas d'impact significatif sur le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	L' année d'intégration de la technologie moderne a un impact significatif sur le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X18 (X-TECHNO)	H0	Le type de technologie moderne n'a pas d'impact significatif sur le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	Le type de technologie moderne a un impact significatif sur le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X19 (X-COMPLEX)	H0	Le niveau de complexité de la technologie n'a pas d'impact significatif sur le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	Le niveau de complexité de la technologie a un impact significatif sur le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
X20 (X-COÛT)	H0	Le coût de la technologie n'a pas d'impact significatif sur le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	Le coût de la technologie a un impact significatif sur le <i>décal entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .

Tableau 3.3 (suite) : Cadre théorique : Hypothèses des variables indépendantes

Variable	H	Hypothèse
X21 (X-ÉVAL)	H0	L'évaluation subjective du déroulement global d'intégration de la technologie moderne n'a pas un impact significatif sur le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .
	H1	L'évaluation subjective du déroulement global d'intégration de la technologie moderne a un impact significatif sur le <i>délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y)</i> .

Avant de tester les hypothèses, les données recueillies auprès des PME manufacturières ont d'abord fait l'objet d'une analyse descriptive. Celle-ci a permis d'examiner la distribution, les tendances centrales et la dispersion des variables, offrant un aperçu initial des relations possibles entre les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (X) et le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Y). Un test de normalité a ensuite été appliqué à la variable dépendante (Y) pour déterminer la nature des analyses statistiques à effectuer. Selon la distribution observée, l'analyse est de type paramétrique ou non paramétrique (Denis, 2020). Comme les hypothèses sont bivariées, cette étape est essentielle pour sélectionner les tests adéquats.

Une fois la nature des données établie, les analyses bivariées ont permis d'évaluer l'effet individuel de chaque facteur d'accès technologique 4.0 (X1 à X16) et des variables secondaires (X17 à X21) sur le délai technologique (Y). Lorsque la distribution de Y est normale, la corrélation de Pearson est utilisée ; sinon, les coefficients non paramétriques de Kendall ou Spearman sont appliqués. Une relation est jugée significative lorsque la valeur ρ est inférieure au seuil de 0,05 ou 0,01 (Denis, 2020). Les analyses ont été réalisées

à l'aide du logiciel IBM SPSS, choisi pour sa fiabilité et sa capacité à réduire les erreurs de calcul.

Comme la troisième question de recherche porte aussi sur les combinaisons possibles de facteurs, une analyse exploratoire complémentaire a été menée à l'aide de la méthode fsQCA (fuzzy set Qualitative Comparative Analysis). Celle-ci permet d'identifier les configurations de facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (X) associées à des délais courts ou longs (Y) et complète utilement les analyses bivariées en explorant les interactions potentielles entre variables. La fsQCA est particulièrement adaptée aux contextes où plusieurs trajectoires causales peuvent mener à un même résultat et où les cas présentent des degrés d'appartenance graduels (de 0 à 1) (Pappas et Woodside, 2021). Cette propriété convient au présent travail, qui repose sur des niveaux progressifs de présence des facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 détaillés dans la section suivante.

3.2 - Collecte de données

3.2.1 - Élaboration du questionnaire

Le questionnaire a permis de documenter des projets technologiques réalisés dans des PME manufacturières. Ces données ont servi à identifier les facteurs ayant influencé leur délai d'accès technologique de l'industrie 4.0. La population ciblée regroupait des personnes directement impliquées dans ces projets, associés, directeurs stratégiques ou superviseurs d'opérations. Chaque répondant devait décrire les trois derniers projets technologiques menés dans son entreprise, afin d'accroître le volume de données et de

compenser le risque de faible participation d'une population restreinte. L'objectif minimal était de 30 projets documentés, seuil jugé suffisant pour une recherche exploratoire.

Le questionnaire a été conçu selon la méthodologie de de Leeuw, Hox et Dillman (2008). Après la définition des objectifs de recherche, les questions ont été formulées pour en mesurer directement l'atteinte, en privilégiant des formulations claires, concises et pertinentes. Comme l'ordre des questions influence la qualité des réponses (Schuman et Presser, 1981 ; Schwarz et Sudman, 1992 ; Tourangeau, Rips et Rasinski, 2000), le questionnaire a été structuré en cinq sections distinctes, invisibles pour le répondant afin de préserver la fluidité du parcours. Selon Dillman, Smyth et Christian (2014), éviter toute information non essentielle contribue à réduire la confusion et le désengagement.

Ces cinq sections sont présentées au tableau I.1 de l'annexe I. Les deux premières portent sur le profil du répondant et de l'entreprise. La troisième traite de la variable dépendante (Y) à partir des trois projets décrits, tandis que la quatrième concerne les variables indépendantes (X), soit les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 évalués pour chaque projet. La dernière section regroupe les informations complémentaires (coordonnées et commentaires). Le questionnaire a été conçu pour être complété en dix minutes, validé par une estimation du temps par question et un prétest auprès du directeur de recherche et d'une PME partenaire.

Les questions étaient majoritairement factuelles. Ceci limite l'ambiguïté et les biais d'interprétation (Marshall, 2005). Cette approche visait à obtenir des données fermes et vérifiables, sans recourir à des questions ouvertes, plus propices aux biais de perception.

De plus, limiter la complexité des questions permet de réduire le risque d'erreur de non-réponse, l'un des principaux biais recensés dans la conception de questionnaires (de Leeuw et al., 2008). Enfin, les premières questions administratives servaient à instaurer la confiance du répondant et à favoriser son engagement dès le début du processus (Marshall, 2005).

Bien que le tableau I.1 de l'annexe I présente la version complète du questionnaire, la figure 3.1 en offre une synthèse visuelle, illustrant les cinq sections, un résumé de leur contenu et les numéros de questions correspondants.

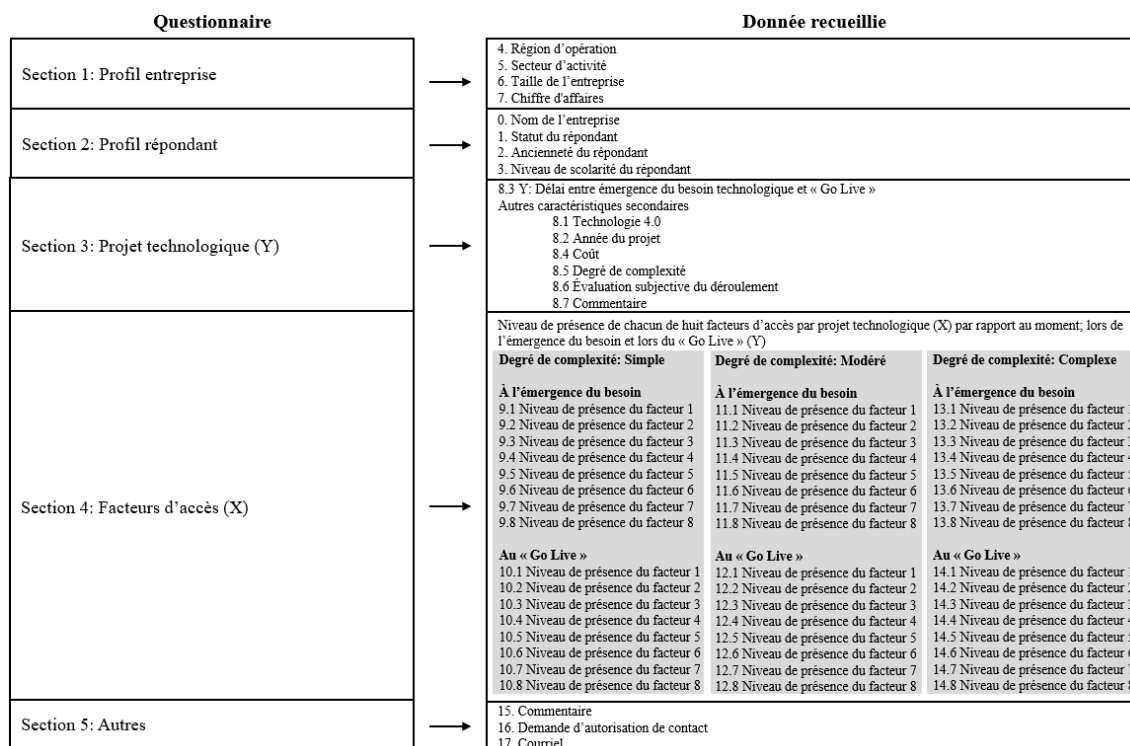


Figure 3.1 : Synthèse du questionnaire

Les questions 0 à 3, regroupées dans la section du profil du répondant, portaient sur le nom de l'entreprise, le statut, l'ancienneté et le niveau de scolarité. Bien que secondaires et non utilisées dans les analyses, elles servaient à contextualiser les réponses et à instaurer la confiance en début de questionnaire. Ces informations, saisies via un champ libre pour le nom et des menus déroulants pour les autres items, offrent aussi un potentiel exploratoire pour de futures études.

Les questions 4 à 7, relatives à la section du profil de l'entreprise, visaient la région d'opération, le secteur d'activité, la taille et le chiffre d'affaires. Ces dernières variables permettent de valider le statut de PME et de confirmer l'appartenance manufacturière. Seule la région constitue une donnée secondaire recueillie à des fins exploratoires. Toutes les questions utilisaient des menus déroulants, sauf le chiffre d'affaires, saisi dans un champ de texte court pour assurer la précision des valeurs. Ce format permettait de standardiser les données et réduire les risques d'erreur.

La section suivante portait sur l'accès technologique de l'industrie 4.0, soit la variable dépendante (Y). Sept questions (8.1 à 8.7) étaient posées pour chacun des trois projets : technologie 4.0, année de réalisation, délai entre besoin et « Go Live », coût total, évaluation du déroulement (échelle de Likert), complexité perçue et commentaire facultatif. La variable clé est le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (8.3), les autres servant à enrichir la description des projets pour d'éventuelles analyses exploratoires.

Les questions ouvertes ont été limitées afin de réduire le risque d'erreur de réponse (Dillman et al., 2014), tout en conservant un apport qualitatif complémentaire. Le délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » est illustré à la figure 3.2, intégrée au questionnaire et reprise dans les sections 9 à 14 (tableau I.1, annexe I). Des illustrations schématisées, recommandées par Dillman et al. (2014), visent à clarifier les consignes, accroître la précision et améliorer la qualité des données recueillies.

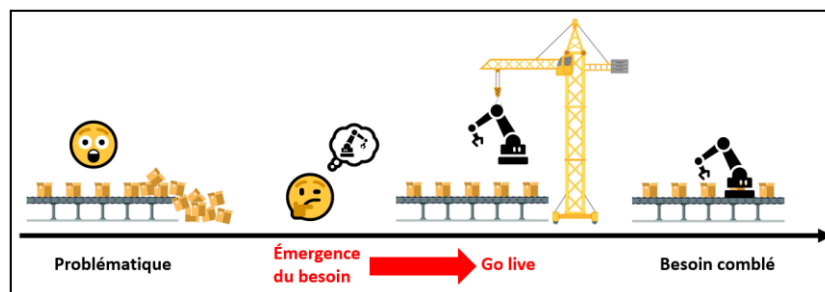


Figure 3.2 : Schéma temporel de l'accès technologique de l'industrie 4.0

Les degrés de complexité sont définis à la figure 3.3, affichée à la question 8.6 du questionnaire (voir tableau I.1, annexe I). Cette représentation visuelle aide le répondant à classer son projet selon une définition normalisée, assurant ainsi une évaluation cohérente et comparable entre l'ensemble des projets technologiques recensés.

Degré de complexité
Simple : Ça s'est très bien passé. Je referais ce type de projet n'importe quand, en utilisant les mêmes ressources.
Modéré : Ça s'est bien passé. Nous avons dû nous faire accompagner ici et là, mais somme toute, le projet s'est déroulé selon un degré de complexité acceptable.
Complexe : Si c'était à refaire, nous ferions les choses différemment et nous gérerions nos ressources différemment. Le projet était lourd et difficile à réaliser.

Figure 3.3 : Définition des degrés de complexité technologique

Un menu déroulant guide le répondant dans l'identification de son projet technologique, assurant que seules les initiatives correspondant à la définition d'une

technologie 4.0 soient retenues. Cette conception évite la saisie de projets ne relevant pas du champ d'étude. L'année du projet est inscrite dans un champ de texte libre, offrant une flexibilité de réponse, tandis que le délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live » ainsi que le coût total sont recueillis par menus déroulants afin de garantir des données standardisées et comparables entre répondants. L'évaluation subjective du déroulement du projet repose sur une échelle de Likert à cinq niveaux, allant de 1 (Totalement en désaccord) à 5 (Totalement en accord), produisant des données ordinales cohérentes pour d'éventuelles analyses exploratoires. Le degré de complexité est quant à lui évalué à l'aide d'un choix explicite (simple, modéré, complexe), permettant le regroupement analytique des projets selon leur nature technologique. Enfin, un champ de texte court en fin de section offre au répondant la possibilité d'ajouter des commentaires libres ou des précisions contextuelles.

Les questions 9 à 14 détaillent chaque projet technologique selon les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (X) influençant l'accès technologique de l'industrie 4.0 (Y). Chacune reprend les huit sous-questions (9.1 à 14.8) visant à mesurer le niveau de présence des facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0. Pour optimiser le temps de réponse, ces questions s'affichent de manière conditionnelle selon le degré de complexité déclaré à la question 8.6 : seules les sections correspondant aux projets identifiés (simple, modéré ou complexe) sont présentées. Par exemple, un répondant ayant décrit un projet simple verra apparaître uniquement les sections 9 et 14, tandis que l'absence de projet modéré masquera les sections 11 et 12. Cette logique adaptative permet de réduire la charge de réponse tout en maintenant la cohérence du jeu de données. Les projets étant regroupés par niveau de complexité d'intégration plutôt que par technologie

spécifique, l'approche facilite la comparaison entre les projets et la manipulation analytique. Comme le rappelle Gauthier (2013), « lorsque les éléments à décrire sont nombreux et complexes, les regrouper en types facilite la manipulation des données ».

La figure 3.1 résume la structure des sous-questions 9 à 14, numérotées de 9.1 à 14.8. Chaque série de huit sous-questions (9.1-9.8, 10.1-10.8, etc.) évalue les huit facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 à deux moments clés du projet : l'émergence du besoin et le « Go Live ». Les paires 9-10, 11-12 et 13-14 correspondent respectivement aux projets de complexité simple, modérée et complexe. Les énoncés demeurent identiques d'une série à l'autre, seules les deux dimensions, le degré de complexité et le moment d'évaluation, varient. Le tableau 3.4 illustre cette structure matricielle : le croisement des trois niveaux de complexité et des deux moments temporels génère six ensembles de questions principales (9 à 14), chacun comprenant huit sous-questions associées aux huit facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 ce qui résulte de sous-questions au total. Ce découpage explique le choix d'un affichage conditionnel, qui permet de limiter les questions visibles au profil de projet déclaré, réduisant ainsi le temps de réponse tout en maintenant une exhaustivité analytique.

Tableau 3.4 : Structure des énoncés des sous-questions 9.1 à 14.8 du questionnaire

Partie 1 de l'énoncé	Partie 2 de l'énoncé	Partie 3 de l'énoncé
Degré de complexité	Moment dans le temps	Facteur d'accès évalué
Pour les projets de degré - Simple - Modéré - Complexe	Ayant été réalisés, au moment - de l'émergence du besoin - du « Go Live » d'une technologie moderne dans votre entreprise...	Nous avons eu de la facilité à amasser l'information nécessaire pour choisir la meilleure technologie moderne. (Facteur 1)
		Nous avons collaboré avec d'autres entreprises (fournisseurs, clients ou autres) pour amasser assez d'information sur les technologies modernes pouvant combler notre besoin. (Facteur 2)
		Les ressources gouvernementales nous ont aidé à avoir la bonne information pour le choix technologique. (Facteur 3)
		La collaboration avec d'autres entreprises nous a permis de trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique. (Facteur 4)
		Les ressources gouvernementales nous ont aidé à trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique. (Facteur 5)
		La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de minimiser le coût. (Facteur 6)
		La collaboration avec d'autres entreprises a permis de simplifier et optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie. (Facteur 7)
		La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie. (Facteur 8)

À titre d'exemple, un répondant ayant identifié trois projets de complexité simple dans la section 3 du questionnaire n'a accès qu'aux questions 9 et 10, totalisant 16 sous-questions. Les sections 11 à 14, réservées aux projets modérés et complexes, ne s'affichent pas. Dans ce cas, le répondant évalue les huit facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 à deux moments clés du projet : lors de l'émergence du besoin technologique (questions

9.1 à 9.8) et au « Go Live » (questions 10.1 à 10.8). Chaque sous-question reprend une structure uniforme, adaptée au moment du projet et au facteur observé. Par exemple, pour le facteur lié à l'accès à l'information, l'énoncé se lit : « Pour les projets de complexité simple, lors de l'émergence du besoin technologique, nous avons eu de la facilité à amasser l'information nécessaire pour choisir la meilleure technologie moderne. » Les autres énoncés suivent la même logique pour les différents facteurs, tels que la collaboration interentreprises, l'aide gouvernementale, le coût technologique ou la servicisation, assurant ainsi la comparabilité des réponses entre les moments du projet et entre les niveaux de complexité. De la même manière, un répondant ayant indiqué un projet simple et deux projets complexes répond uniquement aux sous-questions des questions 9-10 (projet simple) et 13-14 (projets complexes), pour un total de 32 sous-questions. Les sections 11 et 12, associées aux projets de complexité modérée, ne s'affichent pas, puisqu'aucun projet de ce type n'a été déclaré. Cette logique conditionnelle permet d'adapter dynamiquement le questionnaire au profil de chaque répondant, réduisant le temps de réponse tout en maintenant la cohérence des données recueillies.

Chaque sous-question des sections 9 à 14 a été rédigée sous forme d'énoncé affirmatif plutôt que de question, afin d'être évaluée sur une échelle de Likert à cinq niveaux : 1 (Totalement en désaccord), 2 (En désaccord), 3 (Neutre), 4 (D'accord) et 5 (Totalement en accord). Comme un même ensemble de sous-questions peut regrouper plusieurs projets d'un même degré de complexité, une option supplémentaire, (Très variable selon le projet), a été intégrée et codée avec la valeur neutre (3), assurant la cohérence des données. Chaque énoncé permet ainsi de mesurer le niveau de présence d'un

des huit facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 à deux moments clés : l'émergence du besoin technologique et le « Go Live » du projet.

L'utilisation d'une échelle de Likert a été privilégiée. Cette méthode de cueillette de données permet d'obtenir des données ordinales comparables et d'assurer une plus grande finesse d'analyse qu'un simple choix dichotomique (oui/non), qui tend à réduire la précision et la qualité des réponses (Marshall, 2005). Ce type d'échelle facilite également le traitement statistique et permet de dégager des tendances sans recourir à une codification complexe (Boone et Boone, 2012). Enfin, ce format répond à l'exigence de la question de recherche 3, qui porte sur les relations entre les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 et le délai technologique. Comme le souligne Gauthier (2013), une telle relation entre deux états doit être étudiée par des structures corrélationnelles, permettant d'analyser efficacement les liens entre les variables en cause.

La dernière section du questionnaire comprend trois questions. Le répondant devait indiquer s'il acceptait d'être recontacté et, le cas échéant, fournir son adresse courriel. Une zone de commentaire facultative clôturait le questionnaire, permettant aux participants de formuler des rétroactions ou d'ajouter toute information jugée pertinente. Ces questions visaient principalement à faciliter d'éventuelles validations de données et à recueillir des observations qualitatives complémentaires.

Sur le plan des types de variables, la variable dépendante (Y) et les variables indépendantes X17 (année d'intégration) et X20 (coût de la technologie) sont de nature quantitative discrète, puisqu'elles traduisent des valeurs numériques mesurables,

notamment le délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live ». Les variables X1 à X16 et X21 sont ordinales, car elles proviennent d'échelles de Likert exprimant une gradation du niveau de présence des facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0. Enfin, les variables X18 (type de technologie) et X19 (degré de complexité) sont nominales, issues de données qualitatives transformées en valeurs numériques par simple codification, afin d'en permettre le traitement statistique ultérieur.

3.2.2 - Population et échantillonnage

Une fois le questionnaire finalisé, il a été soumis au comité d'éthique de la recherche afin d'assurer sa conformité aux exigences du décanat de la recherche et de la création. Bien que le projet implique la participation de personnes humaines, aucun certificat d'éthique n'a été requis, puisque les questions portaient exclusivement sur des projets technologiques d'entreprises, et non sur des opinions, attitudes ou comportements individuels.

Le questionnaire a ensuite été diffusé à l'aide de la plateforme SurveyMonkey, version « Avantage ». Cet outil a été choisi pour ses fonctionnalités avancées de logique conditionnelle, permettant d'afficher dynamiquement les sections 9 à 14 en fonction du degré de complexité technologique (question 8.6). Il facilitait également la présentation en tableaux multi-réponses, nécessaire pour la section 3, où chaque répondant devait détailler jusqu'à trois projets d'intégration technologique (variable Y).

L'instrument a été auto-administré, afin de permettre aux répondants d'y répondre librement selon leur disponibilité. Comme l'indiquent de Leeuw et al. (2008), cette

approche favorise un taux de réponse plus élevé, surtout lorsque le contenu est factuel, concis et exempt d'interprétation subjective. Elle était particulièrement adaptée à la population ciblée, des gestionnaires, superviseurs et dirigeants de PME manufacturières, dont les horaires sont souvent contraignants. Ce mode de collecte présente aussi l'avantage d'être rapide, économique et flexible (Gauthier, 2003).

Le questionnaire a été diffusé via un lien web accessible sur téléphone, ordinateur ou tablette, partagé à travers plusieurs canaux : LinkedIn, Facebook, infolettres de regroupements manufacturiers et envois directs par courriel. Une lettre de présentation accompagnait systématiquement le lien (voir figure I.1, annexe I), expliquant les objectifs et les modalités de participation. Les réseaux sollicités incluaient : Entre Chefs PME, la Chambre de commerce et d'industrie du Cœur-du-Québec (CCICQ), l'Association régionale du développement économique du Centre-du-Québec (ARDECQ), le Centre national intégré du manufacturier intelligent (CNIMI) et le Manufacturier Mauricie Centre-du-Québec (MMCQ). Certains participants ont également été recrutés par contact direct, grâce aux liens professionnels de l'auteure dans le secteur manufacturier.

La participation était volontaire et sans incitatif. Comme le rappellent Bryman et Cramer (2011), un échantillon aléatoire demeure idéal pour assurer la généralisable des résultats. Toutefois, compte tenu du mode de diffusion non probabiliste retenu, l'échantillon de cette étude ne peut être considéré comme aléatoire. Cette caractéristique constitue une limite méthodologique reconnue, inhérente aux recherches exploratoires en contexte industriel.

3.2.3 - Validation des données

Un échantillon d'au moins 30 expériences est généralement considéré comme le seuil minimal pour assurer la pertinence d'une analyse statistique (Hill, 1998). Dans le cadre de la présente recherche, chaque répondant pouvait décrire jusqu'à trois projets technologiques, permettant d'atteindre ce volume minimal avec une dizaine de répondants. Avant la diffusion du questionnaire, une étape de prétest a été réalisée, conformément aux recommandations de de Leeuw et al. (2008). Cette étape, menée auprès de deux participants pilotes expérimentés en milieu manufacturier, a permis de vérifier la compréhension des questions, d'ajuster la formulation de certains énoncés et de valider la structure logique du questionnaire, notamment les affichages conditionnels. Ce prétest a également servi de simulation des données attendues, afin d'évaluer la pertinence des variables retenues et la clarté des consignes avant la mise en ligne officielle.

Une fois la collecte terminée, les données ont été soumises à un processus de validation (voir tableaux I.3 à I.6, annexe I). Quatre filtres successifs ont été appliqués pour assurer la fiabilité, la cohérence et la conformité des réponses avant inclusion dans l'analyse. Le tableau 3.5 présente la séquence de ce processus, les critères d'inclusion et les justifications correspondantes.

1. Complétude du questionnaire : Les questionnaires incomplets ont été écartés. Lorsque le répondant avait autorisé un contact de suivi et fourni une adresse courriel, il a été recontacté pour compléter les sections manquantes.

2. Admissibilité de l'entreprise : Les réponses provenant d'organisations ne répondant pas à la définition d'une PME manufacturière ont été automatiquement exclues.
3. Cohérence des réponses : Une vérification de la constance des réponses sur les échelles de Likert a permis de repérer les comportements de réponse anormaux (ex. : réponses identiques à toutes les questions d'une section). Les répondants concernés ont été contactés pour validation, lorsque possible.
4. Validation qualitative : Un examen global de la cohérence interne des réponses a été effectué pour chaque répondant, en comparant les projets décrits et la logique de leurs réponses. En cas de doute, un suivi a également été effectué lorsque l'autorisation de contact était disponible.

Ces quatre filtres combinés assurent un contrôle équilibré entre rigueur méthodologique et faisabilité pratique, garantissant que seules les données pertinentes, cohérentes et conformes à la population cible soient incluses dans l'analyse. Les réponses rejetées à l'une ou l'autre de ces étapes, et pour lesquelles une validation directe n'a pu être obtenue, ont été exclues du corpus final.

Tableau 3.5 : Validation des données recueillies

Entreprise	Questionnaire incomplet	PME manufacturière	Pas de constance anormale dans les échelles Likert	Cohérence selon le projet technologique (3 projets)	Résultat (Inclusion/Exclusion)	Explication
1	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
2	Non	Oui	Oui	Oui	Inclusion	
3	Non	Oui	Oui	Oui	Inclusion	
4	Non	Oui	Oui	Oui	Inclusion	
5	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
6	Non	Oui	Oui	2x techno 3, 0x techno 2	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
7	Non	Oui	Oui	Manque techno 3	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
8	Non	Oui	Oui	Manque techno 2	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
9	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
10	Non	Non			Exclusion	Pas PME manufacturière
11	Non	Oui	Oui	Oui	Inclusion	
12	Non	Oui	Oui	Oui	Inclusion	
13	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
14	Non	Oui	Oui	Manque techno 3	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
15	Non	Non			Exclusion	Pas PME manufacturière
16	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
17	Non	Oui	Oui	Manque techno 2 et 3	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
18	Non	Oui	Oui	Oui	Inclusion	
19	Non	Oui	Oui	Oui	Inclusion	
20	Non	Oui	Oui	Manque techno 1 2 3	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
21	Non	Oui	Oui	Oui	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
22	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
23	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
24	Non	Oui	Oui	Manque techno 1 et 2	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
25	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
26	Non	Oui	Oui	Manque techno 3	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
27	Oui				Exclusion	Incomplet, impossible de contacter le répondant
28	Non	Oui	Non	Réponse 3x techno 3	Inclusion	Erreur, correction avec le répondant
29	Non	Non			Exclusion	Pas PME manufacturière
30	Non	Oui	Oui	Manque techno 1, mis 2x techno 2	Exclusion	Erreur, impossible de contacter le répondant

3.3 - Méthode d'analyse des données

3.3.1 - Analyse descriptive

L'analyse descriptive constitue une étape préalable essentielle pour obtenir une vue d'ensemble des données avant toute interprétation statistique (Tedoldi, Kim, Sandoval, Forquet et Tassin, 2025). Bien que la recherche vise l'identification de facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 significatifs, cette étape demeure nécessaire pour reconnaître les tendances, détecter les anomalies et caractériser la structure du jeu de données.

Elle comprend l'examen des moyennes, médianes, modes, écarts-types, variances, intervalles et étendues, permettant de décrire la distribution des variables en jeu (Denscombe, 2014). La cohérence interne des variables mesurées par échelle de Likert (X1 à X16, X21) a été évaluée à l'aide du coefficient alpha de Cronbach. Un seuil $\alpha > 0,70$ est généralement considéré comme acceptable pour juger de la consistance interne des variables (Emerson, 2019). Toutefois, comme le souligne Emerson (2019), un alpha élevé indique uniquement que les réponses aux variables sont corrélées entre elles. Il ne permet pas de confirmer avec certitude que toutes les variables mesurent exactement la même dimension du phénomène étudié.

3.3.2 - Analyse de normalité de Y

L'analyse de la normalité a été réalisée sur la variable dépendante Y, commune à l'ensemble des hypothèses. La distribution de Y a d'abord été visualisée à l'aide d'un histogramme, puis évaluée de manière formelle à l'aide des tests d'Anderson-Darling et de

Shapiro-Wilk. Ces deux tests, complémentaires et adaptés aux petits échantillons ($n = 51$), permettent de vérifier la conformité de la distribution à la loi normale (Razali & Wah, 2011). Une valeur de p inférieure à 0,05 dans l'un ou l'autre des tests indique une déviation significative de la normalité, justifiant le recours à des tests non paramétriques pour les analyses bivariées subséquentes.

3.3.3 - Analyse bivariée

L'analyse bivariée répond directement à la question de recherche 3, en identifiant les variables ayant un impact significatif sur le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Y), soit l'intervalle entre l'émergence d'un besoin et le « Go Live » d'une technologie moderne. Elle consiste à mesurer la force et la direction de la corrélation entre deux variables et à déterminer si cette relation est statistiquement significative (Zagré, 2013).

Le choix du test de corrélation dépend des résultats du test de normalité de Y, commune à toutes les hypothèses. Lorsque la distribution de Y est normale, la corrélation de Pearson est utilisée, car elle mesure la relation linéaire symétrique entre deux variables continues (Denis, 2019). Si la distribution de Y s'écarte de la normalité, les corrélations non paramétriques de Spearman ou de Kendall sont privilégiées, puisqu'elles n'exigent pas l'hypothèse de normalité et sont robustes avec de petits échantillons ou des données ordinales (Razali et Wah, 2011 ; Gauthier, 2013).

Les tests de Spearman et Kendall évaluent si deux variables évoluent dans le même sens, même en l'absence de relation linéaire ou de distribution normale (Conover, 1999). Le test de Pearson, lorsqu'applicable, demeure toutefois la référence standard pour

quantifier la force d'une relation linéaire entre deux variables continues. L'utilisation d'un modèle de corrélation uniforme assure la cohérence méthodologique et la comparabilité des résultats entre toutes les hypothèses testées.

3.3.4 - Analyse fsQCA

Une analyse exploratoire fsQCA (fuzzy set Qualitative Comparative Analysis) a également été menée afin d'examiner les combinaisons de conditions pouvant influencer le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Y). Cette démarche permet d'approfondir l'examen des interactions entre les facteurs. Elle convient aux échantillons de taille restreinte et aux interactions causales complexes, en identifiant différents chemins menant à un même résultat, plutôt que l'effet isolé d'une variable (Pappas et Woodside, 2021 ; Gligor et Bozkurt, 2020). Elle offre ainsi un cadre d'analyse configuratoire utile pour explorer des systèmes réels où plusieurs combinaisons peuvent produire des effets similaires (Elliot, 2013).

L'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel fsQCA, largement reconnu dans la littérature scientifique. Seules les variables indépendantes X1 à X16 ont été incluses, puisqu'elles proviennent directement du cadre théorique et représentent les principaux facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0. Les variables secondaires X17 à X21, de nature contextuelle, ont été exclues. Compte tenu du ratio entre le nombre de variables (16) et le nombre de cas observés (51), quatre analyses distinctes ont été réalisées afin de segmenter les données, conformément à la recommandation de Ragin (2007) de limiter chaque analyse à 3 à 8 variables. Les variables X1 à X8 concernent la phase d'émergence

du besoin, et les X9 à X16 la phase de « Go Live ». Chaque groupe a été analysé deux fois : d'abord selon les conditions associées à un délai court, puis à un délai long d'intégration technologique.

La méthode fsQCA s'articule en quatre étapes principales (Ragin, 2007).

1. Calibration des données : Transformation des réponses issues de l'échelle de Likert (1–5) en ensembles flous « fuzzy sets ». Les seuils d'appartenance sont définis à 0,75 pour le « fully in », 0,5 pour la médiane et 0,25 pour le « fully out ». Ces seuils assurent une distribution équilibrée et reflètent la gradation du niveau de présence des facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Pappas et Woodside, 2021).
2. Construction des tables de vérité : Recensement de toutes les combinaisons empiriques possibles des conditions causales. Les configurations vides (valeur 0) doivent être éliminées pour éviter les cas sans fondement empirique (Schneider et Wagemann, 2010).
3. Définition des seuils de fréquence et de consistance : Un seuil de consistance de 0,6 a été retenu (et 0,55 pour l'analyse des délais longs). Ce seuil assure un équilibre entre robustesse empirique et couverture (Elliot, 2013).
4. Génération des solutions : Le logiciel produit trois niveaux de solutions; complexe, intermédiaire et parcimonieuse. Les deux dernières sont privilégiées : la parcimonieuse synthétise les conditions essentielles, tandis que l'intermédiaire s'appuie sur des hypothèses plausibles fondées sur la théorie (Ragin, 2007).

L'interprétation distingue les conditions centrales, présentes à la fois dans les solutions intermédiaire et parcimonieuse, et les conditions périphériques, uniquement dans la solution intermédiaire (Pappas et Woodside, 2021). Cette distinction permet d'identifier les combinaisons de facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 les plus susceptibles d'influencer le raccourcissement ou l'allongement du délai d'intégration technologique.

Cette approche configuratoire complète les analyses statistiques en proposant une lecture combinatoire des conditions d'accès technologique à l'industrie 4.0. Elle met en évidence les configurations de facteurs qui coexistent dans les projets technologiques et révèle les tendances associées tant aux réussites qu'aux échecs d'implantation.

3.4 - Limites méthodologiques

3.4.1 - Limites liées à l'échantillon

Le nombre restreint d'observations constitue une limite majeure à la robustesse statistique des analyses. Bien que le cadre théorique comporte 21 variables, seules 51 observations ont été recueillies, ce qui réduit la puissance statistique des tests et accroît le risque d'erreur de type II (Denis, 2020). Ce ratio relativement faible entre le nombre de variables et la taille de l'échantillon limite la capacité à détecter certains effets significatifs.

De plus, la population ciblée, des acteurs de PME manufacturières impliqués dans des projets d'intégration technologique, est difficile d'accès et peu représentée dans les bases de données publiques. Cette spécificité restreint la généralisation des résultats à l'ensemble du secteur manufacturier. Le recrutement s'est appuyé sur des réseaux professionnels et sectoriels (LinkedIn, associations, regroupements régionaux), ce qui a

facilité la collecte, mais introduit un biais de sélection. En effet, la méthode d'échantillonnage non aléatoire réduit la probabilité que chaque membre de la population ait une chance égale d'être inclus, limitant ainsi la représentativité globale de l'échantillon (de Leeuw et al., 2008).

Enfin, la structure du questionnaire constitue une contrainte supplémentaire. Les sections relatives au consentement et aux coordonnées des répondants figurent en fin de parcours, ce qui augmente le risque d'abandon avant validation. En cas d'interruption prématurée, il est impossible d'obtenir le consentement explicite du participant ou de le recontacter pour compléter les données, entraînant ainsi des pertes d'informations potentiellement précieuses.

3.4.2 - Limites liées aux données

Bien que le questionnaire ait été conçu pour recueillir des données aussi objectives que possible, un biais de perception demeure possible selon le profil du répondant. Les réponses peuvent varier en fonction du rôle occupé dans l'entreprise et du niveau d'implication dans le projet technologique. Par exemple, un superviseur des opérations pourrait ignorer certains aspects financiers ou administratifs, contrairement à un directeur impliqué dans la gestion budgétaire. Ce biais de position peut influencer la précision des réponses, notamment celles évaluées à l'aide d'échelles de Likert.

Les données ont été recueillies à un moment unique, ce qui rend les résultats sensibles au contexte temporel de la collecte. Cette absence de suivi longitudinal limite la capacité à observer l'évolution des pratiques ou des perceptions dans le temps. De plus,

certaines réponses portent sur des projets réalisés plusieurs années auparavant, exposant les données à un biais de mémoire, le répondant pouvant avoir oublié ou reconstitué partiellement certains événements.

Enfin, malgré un effort de conception visant à réduire la durée et la complexité du questionnaire, certaines formulations peuvent avoir généré de la confusion. Le filtrage conditionnel des sections selon le degré de complexité des projets permettait d'écourter le temps de réponse, mais pouvait aussi mener à des erreurs de navigation ou à des omissions involontaires si la logique de sectionnement n'était pas clairement comprise.

3.4.3 - Limites liées aux méthodes statistiques

L'analyse se concentre sur les effets individuels de chaque facteur d'accès sur la variable dépendante (Y). Les interrelations entre facteurs explicatifs n'ont pas été examinées, puisqu'aucune analyse statistique multivariée n'a été menée. Cette absence constitue une limite importante, car une approche multivariée pourrait révéler des effets combinés ou des interactions conditionnelles entre variables, offrant une compréhension plus systémique du phénomène étudié. Par ailleurs, la distribution non normale des données de différentes natures complexifiait fortement l'utilisation de méthodes multifactorielles, ce qui limite les possibilités d'inférences croisées. L'auteur suggère donc que de futurs travaux reposent sur un échantillon beaucoup plus large, avec des données plus précises et des variables de même nature, afin de permettre des analyses multifactorielles robustes et orientées vers un objectif analytique spécifique.

Enfin, la diversité des variables explicatives (nominales, ordinales et quantitatives) complexifie la comparaison directe des résultats entre les tests. Chaque type de variable requiert en effet un traitement statistique spécifique : les variables ordinales sont analysées par des tests non paramétriques, tandis que les variables quantitatives exigent des tests paramétriques, lorsque les conditions de normalité sont respectées. Une hétérogénéité méthodologique limite l'harmonisation des interprétations et la comparabilité globale des résultats (Denis, 2020).

CHAPITRE 4 - RÉSULTATS

4.1 - Analyse descriptive

Les données ont été recueillies au moyen du questionnaire entre le 19 février et le 19 septembre 2024, soit sur une période de sept mois. Au total, 30 répondants ont participé. Pour préserver l'anonymat, le nom des entreprises (question 0) a été remplacé par des identifiants numériques de 1 à 30, et les adresses courriel (question 17) n'ont pas été publiées.

Les réponses complètes figurent au tableau I.1 de l'annexe I. Pour en faciliter la lecture, les données sont structurées par section : profil du répondant et de l'entreprise, informations sur les projets (Y), puis trois sections regroupant les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 (X) selon le degré de complexité des projets (simple, modéré ou complexe) comme illustré par les encadrés gris de la figure 3.1. Une dernière section rassemble les commentaires et coordonnées des répondants.

Après application des filtres de validation (tableau 3.5), 17 questionnaires ont été retenus, représentant 51 observations au total, chaque répondant décrivant trois projets technologiques. Les 13 questionnaires exclus l'ont été pour diverses raisons : par exemple, celui de l'entreprise 1 était incomplet et non vérifiable (absence d'autorisation de contact), tandis que celui de l'entreprise 29 a été retiré, car l'organisation ne correspondait pas à la définition d'une PME manufacturière.

Le tableau III.1 à l'annexe III présente la moyenne, la médiane, l'écart-type et la variance de l'ensemble des variables étudiées (tableau II.1, annexe II), tandis que les

figures 4.1 et 4.2 illustrent visuellement les résultats pour les variables X1 à X16, issues d'échelles de Likert comparables entre elles.

Les autres variables présentent des natures distinctes :

- Y (Y-DÉLAI) correspond à une durée (délai entre l'émergence et le « Go Live ») ;
- X17 (X-ANNÉE) exprime une année ;
- X18 (X-TECHNO) et X19 (X-COMPLEX) sont nominales (type de technologie et degré de complexité) ;
- X20 (X-COÛT) représente une donnée quantitative (coût) ;
- X21 (X-ÉVAL), bien qu'issue d'une échelle de Likert, provient d'un contexte différent (évaluation globale de l'intégration).

Les moyennes observées varient entre 1,69 (X-COÛT) et 4,9 (X-ANNÉE). Le délai moyen entre l'émergence du besoin et le « Go Live » (Y-DÉLAI) est de 3,49 mois. Parmi les variables X1 à X16, sept obtiennent une moyenne supérieure à 3 (X-FI-É, X-CI-É, X-CC-É, X-FI-G, X-CI-G, X-CC-G, X-CM-G), indiquant une prédominance de réponses « En accord » ou « Totalelement en accord ». Les autres variables présentent des moyennes inférieures à 3, correspondant davantage à des perceptions de désaccord.

La moyenne de X-ANNÉE (4,9) situe la plupart des projets autour de l'année 2020. X-TECHNO (moy. 3,39) et X-COMPLEX (moy. 1,73), bien que nominales, traduisent respectivement la diversité technologique et le niveau de complexité des projets. X-COÛT (moy. 1,69) indique que la majorité des projets recensés se situent dans les tranches de

coûts les plus basses (0 \$ à 100 000 \$). Enfin, X-ÉVAL (moy. 3,75) traduit une évaluation généralement positive du déroulement des projets technologiques.

Les médianes sont globalement proches des moyennes, suggérant une faible asymétrie des distributions. Les valeurs inférieures à 3 (X-GC-É, X-GI-G, X-GC-G) soulignent la faible utilisation des aides gouvernementales, tandis que les valeurs médianes les plus élevées (X-FI-É, X-CI-É, X-FI-É, X-CC-G, X-CM-G, X-ÉVAL) traduisent de bonnes conditions d'accès à l'information et de collaboration interentreprise. La médiane de X-COÛT (< 2) confirme la prédominance des projets à faible coût.

Les écarts-types supérieurs à 1 révèlent une variabilité modérée à élevée entre les répondants. Les plus marqués (X-FI-É, X-FI-G, X-GC-G et X-SC-G) concernent l'accès à l'information des fournisseurs et l'optimisation des coûts au « Go Live », illustrant une hétérogénéité notable des pratiques liées à ces facteurs d'accès technologique dans les projets 4.0 en PME. À l'inverse, X-GC-É, X-COMPLEX, X-COÛT et X-ÉVAL présentent des écarts-types inférieurs à 1, témoignant d'une plus grande homogénéité des réponses, notamment quant à l'usage de l'aide gouvernementale, aux coûts, à la complexité et à l'évaluation globale des projets.

Les figures 4.1 et 4.2 synthétisent ces tendances : la première, en graphique radar, illustre la dispersion relative des moyennes pour les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 X1 à X16 ; la seconde, sous forme de barres horizontales, classe ces facteurs du plus au moins élevé afin de faciliter la lecture comparative.

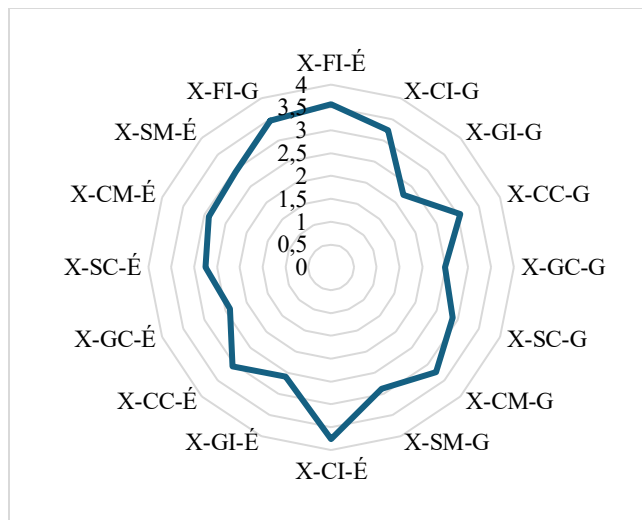


Figure 4.1 : Graphique radar des moyennes des variables X1 à X16

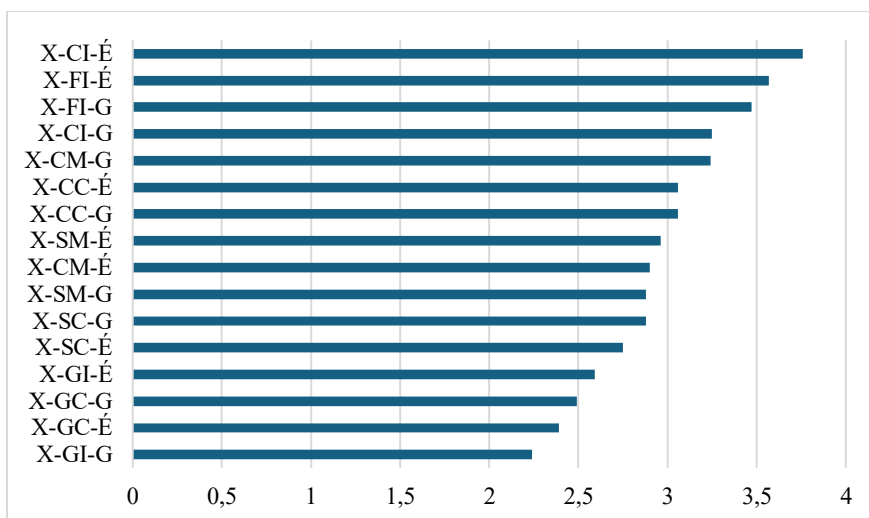


Figure 4.2 : Graphique à barres des moyennes des variables X1 à X16

Pour les variables X1 à X16, un test de fiabilité interne a été réalisé à l'aide du coefficient alpha de Cronbach. Ce test permet de vérifier la cohérence interne des réponses issues de l'échelle de Likert utilisée pour mesurer les facteurs.

Les résultats, présentés à la figure 4.3, indiquent un alpha de Cronbach de 0,723, soit un niveau de fiabilité jugé acceptable selon les recommandations d'Emerson (2019) et de de Leeuw et al. (2008), pour lesquels un coefficient supérieur à 0,7 témoigne d'une homogénéité suffisante entre les items. Cela confirme la cohérence interne du jeu de données, permettant leur utilisation dans les analyses statistiques subséquentes. Le détail des résultats du test de fiabilité est disponible au tableau IV.1 de l'annexe IV.

Statistiques de fiabilité	
Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
,723	16

Figure 4.3 : Test de fiabilité Cronbach

Le tableau 4.1 présente la distribution des réponses pour l'accès technologique de l'industrie 4.0 Y. Plus de 70 % des répondants rapportent un délai inférieur à un an, les catégories les plus fréquentes étant 6 mois à 1 an (31,4 %) et 1 à 3 mois (21,6 %). Ces résultats indiquent que la majorité des projets étudiés s'inscrivent dans un horizon de mise en œuvre relativement court.

Tableau 4.1 : Fréquences des observations – Variable dépendante (Y)

Y	Fréquence	%	Pareto
6 mois à 1 an	16	31,4%	31,4%
1 à 3 mois	11	21,6%	52,9%
3 à 6 mois	9	17,6%	70,6%
1 à 2 ans	9	17,6%	88,2%
2 à 5 ans	3	5,9%	94,1%
Moins d'un mois	3	5,9%	100,0%

Pour les variables ordinales (X1 à X16 et X21), le tableau 4.2 présente la fréquence de chaque choix de réponse selon l'échelle de Likert, permettant de visualiser la distribution des perceptions par facteur. Les abréviations utilisées sont : TA (Totalemment en accord), A (En accord), N (Neutre), D (En désaccord) et TD (Totalemment en désaccord).

Les résultats montrent une dispersion équilibrée des réponses, traduisant la diversité des projets technologiques étudiés. Lors de l'émergence du besoin, la majorité des variables présentent une dominance de réponses « A », suggérant une adhésion générale aux énoncés proposés. Certaines variables se distinguent toutefois par une adhésion plus faible :

- X-GI-É et X-SC-É (accès à l'information gouvernementale et réduction des coûts par servicisation) présentent une majorité de réponses « N » ;
- X-GC-É et X-SM-É (minimisation des coûts via aide gouvernementale et optimisation managériale par servicisation) obtiennent une majorité de réponses « D ».

Au moment du « Go Live », les tendances demeurent similaires :

- X-GI-G et X-GC-G (accès à l'information et réduction des coûts via l'aide gouvernementale) recueillent une majorité de réponses « D » ;
- XSC-G (réduction des coûts par servicisation) présente une distribution plus équilibrée entre « A » et « D », indiquant une certaine polarisation des perceptions.

Ces fréquences confirment la variété des expériences vécues par les PME répondantes, illustrant la complexité et la diversité des contextes d'intégration technologique observés.

Tableau 4.2 : Fréquences des observations – Variables indépendantes (X1 à X16 et X21)

Variable	Code	TA	A	N	D	TD
X1	X-FI-É	14 27,5%	20 39,2%	4 7,8%	7 13,7%	6 11,8%
X2	X-CI-É	16 31,4%	19 37,3%	7 13,7%	6 11,8%	3 5,9%
X3	X-GI-É	5 9,8%	5 9,8%	16 31,4%	14 27,5%	11 21,6%
X4	X-CC-É	3 5,9%	20 39,2%	11 21,6%	11 21,6%	6 11,8%
X5	X-GC-É	0 0,0%	8 15,7%	12 23,5%	23 45,1%	8 15,7%
X6	X-SC-É	4 7,8%	9 17,6%	17 33,3%	12 23,5%	9 17,6%
X7	X-CM-É	4 7,8%	16 31,4%	9 17,6%	15 29,4%	7 13,7%
X8	X-SM-É	7 13,7%	11 21,6%	12 23,5%	15 29,4%	6 11,8%
X9	X-FI-G	14 27,5%	16 31,4%	8 15,7%	6 11,8%	7 13,7%

*Tableau 4.2 (suite) : Fréquences des observations – Variables indépendantes**(X1 à X21)*

Variable	Détail	TA	A	N	D	TD
X10	X-CI-G	8 15,7%	16 31,4%	9 17,6%	17 33,3%	1 2,0%
X11	X-GI-G	3 5,9%	4 7,8%	7 13,7%	25 49,0%	12 23,5%
X12	X-CC-G	2 3,9%	25 49,0%	5 9,8%	12 23,5%	7 13,7%
X13	X-GC-G	6 11,8%	8 15,7%	2 3,9%	24 47,1%	11 21,6%
X14	X-SC-G	6 11,8%	13 25,5%	10 19,6%	13 25,5%	9 17,6%
X15	X-CM-G	7 13,7%	20 39,2%	8 15,7%	10 19,6%	6 11,8%
X16	X-SM-G	2 3,9%	19 37,3%	10 19,6%	11 21,6%	9 17,6%
X21	X-ÉVAL	7 13,7%	29 56,9%	11 21,6%	3 5,9%	1 2,0%

En ce qui concerne les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 X1 à X16, plusieurs tendances ressortent nettement des fréquences observées. La plus faible fréquence enregistrée (0 %) correspond à l'option « TA » pour la variable X-GC-É, liée à la réduction des coûts technologiques grâce à l'aide gouvernementale lors de l'émergence du besoin. Aucune entreprise ne se déclare donc fortement en accord avec cet énoncé, ce qui suggère une utilisation très limitée de ce levier à cette étape.

À l'inverse, les fréquences les plus élevées sont observées pour les variables X-GI-G et X-CC-G, toutes deux associées à la phase de « Go Live ». La variable X-GI-G, portant sur l'accès à l'information via l'aide gouvernementale, présente une majorité de réponses

« D », traduisant une perception majoritairement négative du soutien public à cette étape. À l'opposé, X-CC-G, qui concerne la collaboration interentreprise pour la réduction du coût technologique 4.0, obtient une majorité de réponses « A », indiquant qu'il s'agit d'un levier reconnu et mobilisé par un grand nombre de répondants.

Enfin, la variable X-ÉVAL, relative à l'évaluation subjective du déroulement global du projet, affiche la fréquence la plus élevée de la section, soit 56,9 % de réponses « A ». Ce résultat indique que plus de la moitié des répondants jugent positivement la manière dont leur projet technologique s'est déroulé.

Les tableaux 4.3 à 4.6 présentent les fréquences des réponses pour les variables quantitatives et nominales (X17 à X20). La définition détaillée de chaque variable figure au tableau II.1 de l'annexe II. Ces distributions offrent un aperçu global des caractéristiques des projets technologiques recensés, notamment en ce qui concerne leur période de réalisation, leur nature, leur complexité et leur valeur.

La variable X-ANNÉE (X17) (année de réalisation du projet) montre que près de 70 % des projets ont été réalisés au cours des quatre dernières années, illustrant une intensification récente de l'adoption de technologies de l'industrie 4.0. Pour X-TECHNO (X18) (type de technologie), plus de 75 % des projets concernent l'intégration verticale, la cybersécurité ou le Cloud, trois catégories associées à des initiatives numériques stratégiques couramment priorisées par les entreprises.

La variable X-COMPLEX (X19), relative au degré de complexité des projets, indique que la majorité des initiatives recensées sont de complexité simple, tandis que

moins de 20 % sont classées comme complexes, selon les définitions fournies dans le questionnaire. Enfin, les résultats pour X-COÛT (X20) (valeur du projet) montrent que plus de la moitié des intégrations sont estimées à moins de 50 000 \$, suggérant que les investissements demeurent relativement modestes dans l'ensemble des cas rapportés.

Tableau 4.3 : Fréquences des observations - Variable indépendante (X17)

X-ANNÉE	Fréquence	%	Pareto
2	12	23,5%	23,5%
3	11	21,6%	45,1%
1	9	17,6%	62,7%
4	3	5,9%	68,6%
5	3	5,9%	74,5%
11	3	5,9%	80,4%
9	2	3,9%	84,3%
12	2	3,9%	88,2%
6	1	2,0%	90,2%
8	1	2,0%	92,2%
10	1	2,0%	94,1%
15	1	2,0%	96,1%
18	1	2,0%	98,0%
25	1	2,0%	100,0%

Tableau 4.4 : Fréquences des observations – Variable indépendante (X18)

X-TECHNO	Fréquence	%	Pareto
Intégration verticale	20	39,2%	39,2%
Cybersécurité	11	21,6%	60,8%
Cloud	8	15,7%	76,5%
Robot autonome	4	7,8%	84,3%
IoT	2	3,9%	88,2%
Simulation	2	3,9%	92,2%
Fabrication additive	2	3,9%	96,1%
IA	2	3,9%	100,0%

Tableau 4.5 : Fréquences des observations – Variable indépendante (X19)

X-COMPLEX	Fréquence	%	Pareto
Simple	23	45,1%	45,1%
Modéré	19	37,3%	82,4%
Complexe	9	17,6%	100,0%

Tableau 4.6 : Fréquences des observations – Variable indépendante (X20)

X-COÛT	Fréquence	%	Pareto
Moins de 50K\$	28	54,9%	54,9%
100K\$ à 500K\$	12	23,5%	78,4%
50K\$ à 100K\$	11	21,6%	100,0%

Les figures 4.4 et 4.5 présentent les diagrammes en boîte des observations, illustrant la répartition des réponses pour chaque projet technologique. Ces représentations mettent en évidence les médianes, quartiles (Q1 et Q3), valeurs extrêmes et points aberrants pour l'ensemble des variables du modèle. La variable X-ANNÉE, en raison de son échelle de mesure distincte et plus étendue, est illustrée séparément dans la figure 4.5.

De manière générale, la dispersion des réponses se situe majoritairement au-dessus de la valeur 2, à l'exception des variables X-COMPLEX et X-COÛT. Ces deux dernières, présentent une variabilité plus restreinte, traduisant une homogénéité relative entre les projets étudiés.

À l'inverse, plusieurs variables ordinales, notamment X-FI-É, X-CI-É et X-FI-G, montrent une dispersion orientée vers les valeurs les plus élevées. Ces variables, liées à

l'accès à l'information technologique fourni par les fournisseurs et collaborateurs, tant à l'émergence du besoin qu'au moment du « Go Live », révèlent une perception globalement positive de ce levier d'accompagnement.

Enfin, les variables X-ANNÉE et X-TECHNO présentent les valeurs extrêmes les plus marquées, ce qui est attendu compte tenu de la diversité des périodes et des types d'intégration technologique rapportés selon les entreprises répondantes.

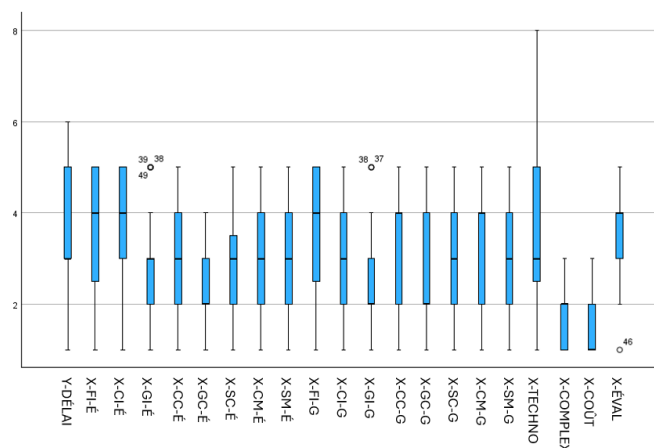


Figure 4.4 : Diagramme en boîte des observations

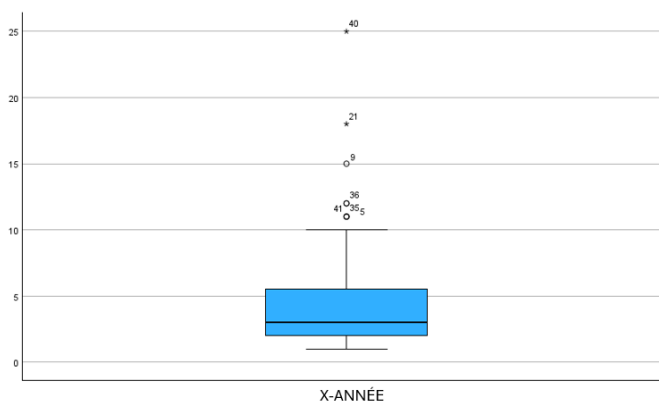


Figure 4.5 : Diagramme en boîte (X-ANNÉE seulement)

4.2 - Analyse de normalité de Y

Une analyse de la normalité de la variable dépendante Y est réalisée avant les tests statistiques subséquents, afin de vérifier la conformité des données aux conditions d'application des modèles retenus. Cette analyse est effectuée pour chaque hypothèse du modèle.

Les résultats des tests d'Anderson-Darling et de Shapiro-Wilk, présentés à la figure 4.6, indiquent des valeurs de p respectives de 0,0007 et 0,0056. Ces valeurs étant inférieures au seuil de signification de 0,05, la distribution de Y n'est pas considérée comme normale.

Univariate Tests				
	Variable	Test	Statistic	P Value
1	Y	Anderson-Darling	1.4847	7e-04
2	Y	Shapiro-Wilk	0.9314	0.0056

Figure 4.6 : Test de normalité Y

Afin de compléter cette vérification, la figure 4.7 présente l'histogramme de la variable Y. La distribution montre une asymétrie légère, avec une concentration plus marquée vers les faibles valeurs de Y, confirmant visuellement la déviation observée dans les tests statistiques.

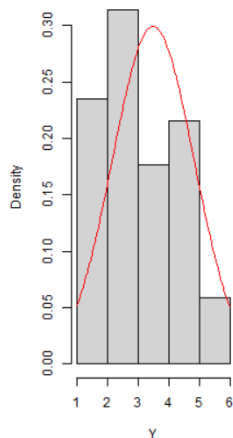


Figure 4.7 : Histogramme Y

4.3 - Analyse bivariée

L'analyse bivariée permet d'évaluer la significativité des relations entre les variables indépendantes et la variable dépendante Y, conformément aux hypothèses (tableaux 3.2 et 3.3). Les tests de corrélation de Kendall et de Spearman sont utilisés en raison de la non-normalité de la distribution de Y-DÉLAI, confirmée à la section précédente.

Le tableau III.2 à l'annexe III présente pour chaque variable les coefficients de corrélation, les valeurs de signification (ρ) et une indication de significativité statistique ($\rho < 0,05$). De façon générale, les corrélations entre les variables indépendantes et Y-DÉLAI demeurent très faibles, avec des coefficients absolus compris entre 0 et 0,2, traduisant une faible association linéaire entre les facteurs étudiés et le délai d'intégration technologique. Seules trois variables dépassent ce seuil et présentent une corrélation significative :

- X-CC-É (minimisation des coûts technologiques par la collaboration interentreprises à l'émergence), significative à $\rho < 0,05$;
- X-COÛT (coût du projet technologique), significative à $\rho < 0,01$, avec une corrélation négative indiquant une tendance inverse avec Y ;
- X-ÉVAL (évaluation subjective du déroulement global du projet), significative à $\rho < 0,01$, indiquant une association positive avec Y.

Ces résultats suggèrent que seules ces trois variables présentent une relation statistiquement notable avec la durée observée entre l'émergence du besoin et la mise en service « Go Live », tandis que la majorité des autres variables du modèle ne montrent aucune corrélation significative. Le tableau 4.7 résume les résultats de ces trois variables significatives.

Tableau 4.7 : Résultats de l'analyse bivariée – Test Spearman

Variable	Coefficient de corrélation (r)	ρ	Seuil de signification
X-CC-É	0,304	0,03	0,05
X-COÛT	-0,452	0,001	0,01
X-ÉVAL	0,378	0,006	0,01

4.4 - Analyse fsQCA

Les données d'entrée, soit les observations des variables X1 à X16 ainsi que de la variable dépendante Y, sont présentées au tableau IV.2 de l'annexe IV. Quatre analyses fsQCA distinctes ont été menées afin de mieux comprendre les conditions associées aux variations du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0, en distinguant deux périodes clés : l'émergence du besoin et le moment de l'intégration technologique « Go Live ».

Les deux premières analyses portent sur les variables X1 à X8, afin d'examiner, d'une part, les configurations associées à une performance positive (SET Y), soit une réduction du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 à l'étape de l'émergence du besoin, et d'autre part, celles associées à une performance négative (UNSET Y), soit une augmentation de ce délai. Les deux analyses suivantes explorent les variables X9 à X16, en identifiant, d'un côté, les conditions favorisant une performance positive (SET Y) lors du « Go Live », et de l'autre, celles qui contribuent à une performance négative (UNSET Y) au même moment.

La première étape de l'analyse fsQCA consiste à la calibration des données, présentée au tableau 4.8 ci-dessous. Cette calibration transforme les valeurs observées en ensembles flous « fuzzy sets » selon les seuils d'appartenance (0,75), d'ambiguïté (0,5) et de non-appartenance (0,25).

Tableau 4.8 : Calibration des données fsQCA

Tableau de calibration	Code	Appartenance	Médiane	Non-appartenance	Moyenne	SD	Min	Max
Y	Y-DÉLAI	5	3	3	3,49	1,33	1	6
X1	X-FI-É	5	4	2	3,57	1,35	1	5
X2	X-CI-É	5	4	3	3,76	1,19	1	5
X3	X-GI-É	3	3	2	2,59	1,22	1	5
X4	X-CC-É	4	3	2	3,06	1,16	1	5
X5	X-GC-É	3	2	2	2,39	0,94	1	4
X6	X-SC-É	4	3	2	2,75	1,18	1	5
X7	X-CM-É	4	3	2	2,9	1,22	1	5
X8	X-SM-É	4	3	2	2,96	1,25	1	5
X9	X-FI-G	5	4	2	3,47	1,38	1	5
X10	X-CI-G	4	3	2	3,25	1,15	1	5
X11	X-GI-G	3	2	2	2,24	1,09	1	5
X12	X-CC-G	4	4	2	3,06	1,21	1	5
X13	X-GC-G	4	2	2	2,49	1,32	1	5
X14	X-SC-G	4	3	2	2,88	1,31	1	5
X15	X-CM-G	4	4	2	3,24	1,26	1	5
X16	X-SM-G	4	3	2	2,88	1,21	1	5

Les moyennes, écarts-types, minimums et maximums présentés au tableau 4.8 appuient le choix des seuils de calibration, fixés à 0,75 (appartenance complète), 0,5 (point d'ambiguïté) et 0,25 (non-appartenance complète). Ces valeurs assurent une répartition homogène des cas dans les ensembles flous, en cohérence avec la distribution empirique observée. Les seuils de coupure sont établis à 0,6 pour chacune des analyses, à l'exception de celle portant sur les variables X9 à X16 expliquant une performance négative (Y en diminution), pour laquelle un seuil légèrement inférieur est retenu afin d'obtenir des tables de vérité plus représentatives et interprétables.

Pour chaque analyse fsQCA, le seuil de fréquence est déterminé à partir des résultats empiriques issus des tables de vérité, après plusieurs tests préalables visant à optimiser le compromis entre consistance et couverture des solutions. Ainsi, les seuils de fréquence sont fixés à 2 pour les analyses portant sur les variables X1 à X8, et à 1 pour celles portant sur les variables X9 à X16. Les seuils de consistance varient selon la direction de la performance Y :

- Pour les analyses X1 à X8, les seuils sont de 0,63 (Y positif) et 0,73 (Y négatif) ;
- Pour les analyses X9 à X16, ils sont respectivement de 0,63 (Y positif) et 0,56 (Y négatif).

Les figures 4.8 à 4.11 présentent les résultats des quatre analyses fsQCA, mettant en évidence les configurations explicatives du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Y). Ces figures distinguent les deux phases clés, émergence du besoin et intégration « Go Live », ainsi que la direction de l'effet, soit la réduction ou l'allongement du délai. Les variables indépendantes sont identifiées par leur code (X), suivi d'un « C » indiquant leur forme calibrée.

Pour les variables X1 à X8 correspondant à la phase d'émergence du besoin, trois configurations distinctes expliquent une performance positive, soit une réduction du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Figure 4.8). Parmi elles, la configuration 3 présente la meilleure performance, avec la consistance la plus élevée (0,72).

Performance positive Y (X1 À X8_CALIB 0,75_COUPURE 0,6_SET)			
Seuil de fréquence:			2
Seuil de consistance			0,633803
Élément configurationnel	Configuration		
	1	2	3
X1C (X-FI-É calibré)	⊗	●	●
X2C (X-CI-É calibré)	●	●	●
X3C (X-GI-É calibré)		⊗	⊗
X4C (X-CC-É calibré)	⊗	●	●
X5C (X-GC-É calibré)	●	⊗	⊗
X6C (X-SC-É calibré)	●	⊗	⊗
X7C (X-CM-É calibré)	●	⊗	●
X8C (X-SM-É calibré)	●	⊗	⊗
Condition testée			
Consistance	0,633803	0,653527	0,717593
Couverture brute	0,0625	0,109375	0,109375
Couverture unique	0,0434028	0,0850695	0,0833334
Consistance globale de la solution	0,703934		
Couverture globale de la solution	0,236111		
Légende			
Condition centrale présente	●		
Condition centrale absente	⊗		
Condition périphérique présente	●		
Condition périphérique absente	⊗		
Négligeable	Blanc		

Figure 4.8 : Résultats fsQCA – Performance positive Y (X1 à X8 SET)

La première configuration présente une consistance de 0,63 et une couverture brute de 0,0625, pour une couverture unique de 0,0434. Ces valeurs indiquent qu'il s'agit d'un chemin causal présent chez une minorité de cas, mais néanmoins suffisamment cohérent pour être retenu dans l'analyse configuratoire. La configuration se caractérise par la présence périphérique des conditions X-CI-É, X-GC-É, X-SC-É, X-CM-É et X-SM-É calibrées, et par l'absence périphérique de X-FI-É et X-CC-É calibrées. Elle illustre un

scénario où la collaboration interentreprises et la servicisation contribuent à réduire le délai d'intégration, tandis que l'accès à l'information via le fournisseur et la réduction des coûts par collaboration sont peu mobilisés. Aucune condition centrale n'est identifiée, ce qui suggère une configuration contributive mais non dominante dans l'ensemble des cas analysés.

La deuxième configuration, avec une consistance de 0,65 et une couverture brute de 0,109, repose sur la présence périphérique des conditions X-FI-É, X-CI-É et X-CC-É calibrées, et l'absence périphérique des autres facteurs (X-GI-É, X-GC-É, X-SC-É, X-CM-É et X-SM-É calibrés). Cette configuration met en évidence l'importance combinée de l'accès à l'information via les fournisseurs et collaborateurs, ainsi que de la minimisation des coûts technologiques par la collaboration, sans recours à l'aide gouvernementale ni au modèle de servicisation.

La troisième configuration, la plus robuste (consistance = 0,72, couverture brute = 0,109, couverture unique = 0,0833), présente la présence périphérique de X-FI-É, X-CI-É, X-CC-É et X-CM-É calibrés, et l'absence périphérique de X-GI-É, X-GC-É, X-SC-É et X-SM-É calibrés. Elle suggère que la combinaison d'un accès à l'information soutenu par les fournisseurs et les collaborations, et d'une optimisation managériale par la collaboration, contribue le plus efficacement à réduire le délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live ».

La consistance globale des trois configurations est de 0,70, et la couverture globale de 0,236, indiquant une explication partielle mais cohérente du phénomène observé à cette étape du processus d'intégration technologique.

Performance negative Y (X1 à X8_CALIB 0,75_COUPURE 0,6_UNSET)		
Seuil de fréquence:		2
Seuil de consistance		0,732342
Élément configurationnel	Configuration	
	1	2
X1C (X-FI-É calibré)	⊗	
X2C (X-CI-É calibré)		
X3C (X-GI-É calibré)		⊗
X4C (X-CC-É calibré)	⊗	⊗
X5C (X-GC-É calibré)		⊗
X6C (X-SC-É calibré)		⊗
X7C (X-CM-É calibré)		⊗
X8C (X-SM-É calibré)		⊗
Condition testée		
Consistance	0,639386	0,72421
Couverture brute	0,450451	0,30991
Couverture unique	0,221622	0,0810812
Consistance globale de la solution	0,639913	
Couverture globale de la solution	0,531532	
Légende		
Condition centrale présente	●	
Condition centrale absente	⊗	
Condition périphérique présente	●	
Condition périphérique absente	⊗	
Négligeable	Blanc	

Figure 4.9 : Résultats fsQCA – Performance positive Y (X1 à X8 UNSET)

Pour les variables X1 à X8, correspondant à la phase d'émergence du besoin, deux configurations expliquent une performance négative, c'est-à-dire une augmentation du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Figure 4.9).

La première configuration présente une consistance de 0,64 et une couverture brute de 0,45, avec une couverture unique de 0,22. Elle se caractérise par l'absence centrale de la condition X4-CC-É calibrée et l'absence périphérique de X-FI-É calibré. Cette combinaison indique que l'absence de collaboration interentreprises visant la réduction des coûts technologiques, jumelée à un manque d'accès à l'information via les fournisseurs, tend à allonger le délai entre l'émergence du besoin et l'intégration technologique.

La deuxième configuration, dont la consistance atteint 0,72 et la couverture brute 0,39 (couverture unique = 0,081), présente également l'absence centrale de X-CC-É calibré, à laquelle s'ajoute l'absence périphérique des conditions X-GI-É, X-GC-É, X-SC-É, X-CM-É et X-SM-É calibrées. Cette configuration suggère que le délai est accru lorsque la minimisation des coûts par la collaboration est absente, que l'accès à l'information et le soutien gouvernemental sont inexistants, et qu'aucune approche de servicisation ou d'optimisation managériale n'est mobilisée.

La consistance globale des deux configurations est de 0,64, avec une couverture globale de 0,53, soit une valeur supérieure à celle observée pour les configurations expliquant la performance positive. Cela indique que les facteurs d'inefficience sont modélisés de façon légèrement plus explicative que les facteurs d'efficience à cette étape du processus d'intégration technologique.

Performance positive Y (X9 À X16_CALIB 0,75_COUPURE 0,6_SET)					
Seuil de fréquence:					1
Seuil de consistance					0,637681
Élément configurationnel	Configuration				
	1	2	3	4	5
X9C (X-FI-G calibré)	●	⊗	●	●	⊗
X10C (X-CI-G calibré)	●	●	⊗		●
X11C (X-GI-G calibré)	⊗	⊗	●	⊗	⊗
X12C (X-CC-G calibré)				⊗	⊗
X13C (X-GC-G calibré)	⊗	●	●	⊗	⊗
X14C (X-SC-G calibré)	⊗	⊗	⊗	⊗	●
X15C (X-CM-G calibré)				⊗	⊗
X16C (X-SM-G calibré)	⊗	⊗	⊗	⊗	●
Condition testée					
Consistance	0,69889	0,74775	0,682573	0,6875	0,878661
Couverture brute	0,153125	0,0875	0,114236	0,179514	0,145833
Couverture unique	0	0,0392361	0,0774305	0,0173611	0,114236
Consistance globale de la solution	0,747957				
Couverture globale de la solution	0,413194				
Légende					
Condition centrale présente	●				
Condition centrale absente	⊗				
Condition périphérique présente	●				
Condition périphérique absente	⊗				
Négligeable	Blanc				

Figure 4.10 : Résultats fsQCA – Performance positive Y (X9 à X16 SET)

Pour les variables X9 à X16, correspondant à la phase d'intégration « Go Live », cinq configurations expliquent une performance positive, soit une réduction du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Figure 4.10). La consistance globale de ces configurations est de 0,75, avec une couverture globale de 0,41, indiquant un ensemble explicatif modéré mais cohérent.

La première configuration présente une consistance de 0,70 et une couverture brute de 0,15 (sans couverture unique). Elle repose sur la présence périphérique de X-FI-G et X-CI-G calibrés et l'absence périphérique de X-GI-G, X-GC-G, X-SC-G et X-SM-G calibrés. Cette combinaison montre que la réduction du délai est favorisée par l'accès à l'information via les fournisseurs et la collaboration, en l'absence de soutien gouvernemental et sans recours à la servicisation ni à l'optimisation managériale.

La deuxième configuration (consistance = 0,75, couverture brute = 0,09, unique = 0,04) met en évidence la présence périphérique de X-CI-G et X-GC-G calibrés, et l'absence périphérique de X-FI-G, X-GI-G, X-SC-G et X-SM-G calibrés. Elle traduit une situation où le partage d'information entre collaborateurs et la réduction des coûts par aide gouvernementale soutiennent une intégration plus rapide, même sans recours à la collaboration interentreprises ou à la servicisation.

La troisième configuration (consistance = 0,68, couverture brute = 0,11, unique = 0,08) combine la présence périphérique de X-FI-G, X-GI-G et X-GC-G calibrés, et l'absence de X-CI-G, X-SC-G et X-SM-G calibrés. Elle suggère que la combinaison de l'accès à l'information via les fournisseurs et les programmes gouvernementaux, ainsi que la minimisation des coûts grâce à ces programmes, contribue à réduire les délais d'intégration.

La quatrième configuration (consistance = 0,69, couverture brute = 0,18, unique = 0,02) se distingue par la présence périphérique de XFI-G calibré seulement, et l'absence des autres conditions. Cette configuration montre que, même isolément, un bon accès à

l'information par les fournisseurs peut suffire à accélérer l'intégration technologique, lorsque les autres leviers ne sont pas mobilisés.

Enfin, la cinquième configuration, la plus robuste (consistance = 0,88, couverture brute = 0,15, unique = 0,11), associe la présence périphérique de X-CI-G, X-SC-G et X-SM-G calibrés à l'absence de X-FI-G, X-GI-G, X-CC-G, XGC-G et X-SM-G calibrés. Elle met en évidence que l'accès à l'information via la collaboration, la minimisation des coûts et l'optimisation managériale par la servicisation forment une combinaison efficace pour réduire le délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live ».

Performance negative Y (X9 à X16_CALIB 0,75_COUPURE 0,55_UNSET)						
					Seuil de fréquence:	1
					Seuil de consistance	0,558011
Élément configurationnel	Configuration					
	1	2	3	4	5	
X9C (X-FI-G calibré)				⊗	⊗	
X10C (X-CI-G calibré)	⊗					
X11C (X-GI-G calibré)		⊗	⊗	⊗	⊗	
X12C (X-CC-G calibré)			⊗	⊗		
X13C (X-GC-G calibré)	●	⊗	⊗	⊗	●	
X14C (X-SC-G calibré)	⊗	⊗	⊗		⊗	
X15C (X-CM-G calibré)		⊗		⊗		
X16C (X-SM-G calibré)	⊗	⊗	⊗		⊗	
Condition testée						
Consistance	0,67541	0,653008	0,652439	0,695897	0,785832	
Couverture brute	0,278387	0,337388	0,337388	0,38964	0,214865	
Couverture unique	0,0882883	0	0	0,133333	0,00180179	
Consistance globale de la solution	0,54462					
Couverture globale de la solution	0,560811					
Légende						
Condition centrale présente	●					
Condition centrale absente	⊗					
Condition périphérique présente	●					
Condition périphérique absente	⊗					
Négligeable	Blanc					

Figure 4.11 : Résultats fsQCA – Performance positive Y (X9 à X16 UNSET)

Pour les variables X9 à X16 correspondant à la phase d'intégration « Go Live », cinq configurations expliquent une performance négative, c'est-à-dire une augmentation du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Figure 4.11). La consistance globale de ces solutions est de 0,54 et leur couverture globale atteint 0,56, soit un pouvoir explicatif légèrement supérieur à celui des configurations associées à une performance positive. Les configurations identifiées présentent des niveaux de consistance individuels compris entre 0,65 et 0,79, soit des valeurs sensiblement supérieures au seuil minimal de consistance fixé à 0,56. Ce seuil a été retenu à la suite d'essais successifs visant à identifier le niveau de consistance le plus élevé permettant de conserver une solution ayant un nombre suffisant de configurations. Des seuils plus élevés ne produisaient aucune combinaison exploitable et réduisaient la couverture de la solution. Comme indiqué dans la section méthodologie du présent mémoire, ce choix vise à assurer un équilibre entre la robustesse empirique de l'analyse et la couverture des configurations observées.

La première configuration (consistance = 0,68 ; couverture brute = 0,28 ; unique = 0,09) se caractérise par la présence centrale de X-GC-G calibré et l'absence périphérique de X-CI-G, X-SC-G et X-SM-G calibrés. Elle indique que le délai s'allonge lorsque la minimisation des coûts par l'aide gouvernementale est présente, mais que les leviers de collaboration et de servicisation sont absents.

La deuxième configuration (consistance = 0,65 ; couverture brute = 0,34 ; sans couverture unique) présente l'absence centrale de X-CM-G calibré et l'absence périphérique de X-GI-G, X-GC-G, X-SC-G et X-SM-G calibrés. Cette combinaison montre que le délai augmente lorsque les ressources managériales ne sont pas optimisées

par la collaboration interentreprises, et que ni l'aide gouvernementale ni la servicisation ne sont mobilisées.

La troisième configuration (consistance = 0,65 ; couverture brute = 0,34 ; sans couverture unique) présente une structure similaire : absence centrale de X-CC-G calibré et absence périphérique de X-GI-G, X-GC-G, X-SC-G et X-SM-G calibrés. Elle suggère que le délai s'allonge lorsque la minimisation des coûts par la collaboration interentreprises est absente, sans soutien gouvernemental ni recours à la servicisation.

La quatrième configuration (consistance = 0,70 ; couverture brute = 0,39 ; unique = 0,13) est marquée par l'absence centrale de X-CC-G et X-CM-G calibrés, et l'absence périphérique de X-FI-G, X-GI-G et X-GC-G calibrés. Cette configuration reflète une situation où le manque de collaboration pour réduire les coûts ou optimiser les ressources managériales, combiné à un accès limité à l'information (fournisseur et aide gouvernementale), contribue à ralentir l'intégration technologique.

Enfin, la cinquième configuration, la plus cohérente (consistance = 0,79 ; couverture brute = 0,22 ; unique = 0,002), repose sur la présence centrale de X-GC-G calibré et l'absence périphérique de X-FI-G, X-GI-G, X-SC-G et X-SM-G calibrés. Elle montre que même lorsque les coûts sont réduits via l'aide gouvernementale, l'absence de collaboration et de servicisation freine le processus, prolongeant ainsi le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0.

Dans l'ensemble, les résultats mettent en évidence une diversité marquée de configurations expliquant tant la réduction que l'allongement du délai d'accès

technologique de l'industrie 4.0, selon la phase du processus étudiée. Les solutions associées à une performance négative présentent une couverture globale plus élevée, indiquant qu'elles expliquent une proportion plus importante des cas observés. Ce constat suggère que les facteurs d'inefficience, tels que l'absence de collaboration, de servicisation ou de soutien externe, sont plus systématiquement présents dans les projets étudiés que les combinaisons favorisant une performance optimale.

CHAPITRE 5 - DISCUSSION

5.1 - Discussion des résultats

La présente section vise à interpréter les résultats empiriques présentés au chapitre précédent. Afin de structurer l'analyse, la discussion reprend successivement les différentes étapes analytiques réalisées au chapitre 4. Elle débute par l'examen des constats issus de l'analyse descriptive, puis aborde les résultats des tests de normalité, des analyses bivariées et enfin de l'approche configuratoire fsQCA. Cette progression permet d'interpréter les résultats de manière cohérente, en passant d'une lecture générale des données à une compréhension plus approfondie des relations et configurations expliquant les délais d'accès à la technologie de l'industrie 4.0 dans les PME manufacturières.

5.1.1 - Analyse descriptive

L'analyse descriptive met en évidence plusieurs constats sur les projets technologiques recensés. La fiabilité des échelles de Likert utilisées pour mesurer les facteurs explicatifs est jugée satisfaisante, avec un coefficient alpha de Cronbach supérieur à 0,7, attestant la cohérence interne du questionnaire.

Concernant la variable dépendante Y, près de 70 % des projets se réalisent en moins d'un an. Cette concentration dans une plage de temps courte suggère une certaine efficacité d'exécution, mais pourrait également découler d'un biais de sélection : les répondants ont peut-être davantage rapporté des projets récents, mieux documentés ou de plus petite envergure. Par ailleurs, la limitation des ressources financières et humaines dans les PME

pourrait restreindre leur capacité à mener des projets technologiques complexes ou de longue durée.

Les variables explicatives X1 à X16, représentant les leviers d'accompagnement à la transformation numérique, révèlent des tendances contrastées. L'accès à l'information via les fournisseurs (X-FI-É et X-FI-G) ou les collaborateurs (X-CI-É et X-CI-G) est perçu positivement à toutes les étapes du processus. De même, la collaboration interentreprises (X-CC-É, X-CM-É, X-CC-G et X-CM-G) ressort comme un facteur clé, associée à la réduction des coûts et à une meilleure gestion managériale. À l'inverse, les variables liées à l'aide gouvernementale (X-GI-É, X-GC-É, X-GI-G et X-GC-G) présentent des moyennes et médianes inférieures à 3, témoignant d'une faible perception de leur utilité ou de leur accessibilité. Cette tendance est particulièrement marquée lors de l'émergence du besoin, où l'aide gouvernementale, notamment sous sa forme financière, semble peu mobilisée et rarement considérée comme un levier pertinent par les PME. Au moment du « Go Live », on observe une très faible mobilisation de l'accès à l'information provenant de l'aide gouvernementale, tandis que les PME s'appuient davantage sur la collaboration interentreprises pour atténuer les coûts technologiques et sécuriser la mise en œuvre. Ce résultat pourrait refléter un décalage entre les programmes publics offerts et les besoins réels des PME.

La servicisation (X-SC-É, X-SM-É, X-SC-G, X-SM-G) obtient également des résultats mitigés : bien qu'elle soit théoriquement reconnue comme levier d'agilité et de performance, elle demeure peu adoptée ou mal comprise par les entreprises répondantes.

Les PME semblent privilégier des approches plus tangibles, comme la collaboration directe, plutôt que des modèles d'affaires émergents.

Les variables contextuelles confirment la pertinence des données recueillies : environ 75 % des projets ont été réalisés au cours des cinq dernières années (X-ANNÉE), principalement autour de l'intégration verticale, de solutions de cybersécurité ou du Cloud (X-TECHNO), soit des technologies caractéristiques du virage numérique des PME québécoises. La majorité des projets sont de complexité simple ou modérée (X-COMPLEX), cohérente avec les délais observés, et plus de 50% présentent un coût inférieur à 50 000 \$ (X-COÛT), correspondant à des investissements réalistes pour ce type d'entreprise.

Les diagrammes en boîte (figures 4.4 et 4.5) illustrent une variabilité importante des réponses pour l'ensemble des variables (X1–X21), révélant la diversité des contextes d'implantation dans l'échantillon analysé. Toutefois, les médianes faibles des variables X-GC-É, X-GI-G et X-GC-G confirment la sous-utilisation de l'aide gouvernementale comme levier d'accès technologique de l'industrie 4.0.

Globalement, les résultats mettent en évidence la centralité des relations interentreprises, particulièrement la collaboration, comme facteur d'accélération de l'intégration technologique. À l'inverse, la faible mobilisation des programmes publics et la méconnaissance des modèles de servicisation suggèrent un besoin de révision des mécanismes d'accompagnement et de meilleure diffusion de l'information vers les PME manufacturières.

5.1.2 - Analyse de normalité de Y

Les tests de normalité appliqués à la variable dépendante Y indiquent une distribution non normale ($p < 0,05$), confirmée par les tests d'Anderson-Darling et de Shapiro-Wilk ainsi que par l'histogramme (figure 4.7), qui révèle une asymétrie marquée vers les faibles valeurs. Cette forme montre que les délais entre l'émergence du besoin et l'intégration technologique « Go Live » sont inégalement répartis : la majorité des projets sont réalisés rapidement, tandis qu'un nombre restreint présente des délais nettement plus longs. En effet, 76 % des projets se concrétisent en moins d'un an. Combiné aux constats descriptifs sur la faible complexité et l'envergure limitée de ces initiatives, ce résultat suggère que les PME privilégient, ou sont contraintes de privilégier, des projets plus courts, moins coûteux et plus faciles à maîtriser, compte tenu de leurs contraintes.

Cette concentration de cas dans les délais courts, combinée à quelques observations extrêmes, traduit une hétérogénéité des profils de projets. Plusieurs explications sont possibles : la prédominance de projets de petite envergure, des différences sectorielles marquées entre entreprises ou encore la taille restreinte de l'échantillon, qui accentue l'effet des valeurs atypiques.

Sur le plan méthodologique, cette absence de normalité confirme la pertinence du recours à des tests non paramétriques dans les analyses bivariées subséquentes, afin de respecter les conditions statistiques d'application. En somme, l'hypothèse H_0 associée à la variable Y est rejetée.

5.1.3 - Analyse bivariée

L'analyse bivariée met en évidence des résultats contrastés quant aux relations entre les variables indépendantes et le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 (Y). De manière générale, la majorité des corrélations sont faibles et non significatives, ce qui suggère que les facteurs étudiés, pris isolément, expliquent peu la variabilité des délais observés. Ce constat reflète la complexité multifactorielle des projets d'intégration technologique, où les effets d'interaction et les conditions contextuelles non mesurées jouent probablement un rôle déterminant.

Trois variables se démarquent toutefois par leur significativité statistique : X-CC-É, X-COÛT et X-ÉVAL.

- X-CC-É (minimisation des coûts technologiques par la collaboration interentreprises à l'émergence) est significative à $\rho < 0,05$. Elle montre qu'une collaboration précoce entre entreprises favorise une réduction du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0, soulignant ainsi l'importance d'une coordination inter organisationnelle dès les premières phases du projet.
- X-COÛT (coût technologique) présente la corrélation la plus forte du modèle, négative et significative à $\rho < 0,01$. Ce résultat indique qu'un investissement plus élevé est associé à des délais plus longs, probablement en raison des exigences accrues de planification, de validation et de coordination dans les projets coûteux.
- X-ÉVAL (évaluation subjective du déroulement de l'intégration) est également significative à $\rho < 0,01$. Une perception positive du déroulement est corrélée à des

délais plus courts, traduisant vraisemblablement un climat organisationnel favorable et une gestion de projet plus efficiente.

Ainsi, ces constats suggèrent plusieurs pistes d'action pour l'écosystème des PME tels que les politiques publiques et les fournisseurs technologiques. D'une part, les programmes gouvernementaux pourraient davantage mettre de l'avant les collaborations interentreprises, puisqu'elles se révèlent significatives et bénéfiques lorsqu'elles sont mobilisées tôt dans le processus. D'autre part, l'impact du coût sur les délais confirme la nécessité de maintenir, voire d'élargir, les mesures de soutien visant à réduire la charge financière des projets, tant pour les PME que du côté des fournisseurs. Enfin, l'effet positif de l'évaluation perçue indique que les fournisseurs ont un rôle à jouer dans la clarté, la vulgarisation et la facilité d'intégration de leur offre, afin de renforcer la compréhension et la confiance des entreprises. En somme, diminuer les coûts, améliorer l'expérience perçue par la PME et favoriser une collaboration précoce constituent, selon l'échantillon analysé, une combinaison particulièrement efficace pour réduire les délais d'accès technologique de l'industrie 4.0.

Trois autres variables, bien que non significatives au seuil conventionnel de 0,05, affichent des valeurs ρ inférieures à 0,2 : X-GC-G, X-CM-G et X-COMPLEX. Ces tendances méritent d'être notées, car elles laissent entrevoir des effets potentiels sur les délais d'intégration. X-GC-G concerne la réduction des coûts via l'aide gouvernementale au « Go Live », X-CM-G l'optimisation managériale par la collaboration au « Go Live », et X-COMPLEX le degré de complexité technologique. Bien que leurs hypothèses nulles

(H0) soient maintenues, ces variables pourraient jouer un rôle contributif dans certaines configurations de facteurs.

Ces constats demeurent cohérents avec ceux issus des facteurs significatifs, mais ils se manifestent cette fois surtout au moment du « Go Live ». À cette étape, les facteurs ne sont plus significatifs statistiquement, mais ils demeurent importants : autrement dit, une mobilisation tardive n'a plus d'impact sur l'accès technologique lui-même. Les mêmes dimensions ressortent, mais avec des nuances. Le coût technologique s'exprime ici précisément sous la forme de l'aide gouvernementale, ce qui montre que, rendu au « Go Live », ce type de soutien est celui que les PME semblent cibler davantage. La gestion managériale reste étroitement liée à la collaboration interentreprises, comme dans les résultats précédents, et la complexité continue d'influencer la capacité de l'entreprise à absorber la technologie. En somme, au « Go Live », une combinaison gagnante repose sur un soutien financier axé sur l'aide publique, une collaboration externe qui allège la charge interne, et une complexité technologique perçue comme maîtrisée.

L'absence de significativité pour la majorité des variables confirme que les délais d'intégration technologique ne dépendent pas d'un facteur unique, mais d'un ensemble d'influences combinées. Ce constat justifie le recours à une approche complémentaire, telle que la fsQCA, pour examiner les configurations de conditions menant à des délais plus courts ou plus longs. En somme, les hypothèses H0 associées aux variables X1 à X21 sont acceptées, à l'exception de celles portant sur X-CC-É, X-COÛT et X-ÉVAL, pour lesquelles H1 est validée.

5.1.4 - Analyse fsQCA

L'analyse fsQCA met en évidence une diversité de configurations expliquant les variations du délai d'accès technologique de l'industrie 4.0, selon les phases du processus (émergence du besoin vs « Go Live ») et la direction de l'effet (réduction ou allongement du délai). Ces résultats confirment la nature équifinale des trajectoires observées : plusieurs combinaisons distinctes de conditions peuvent conduire à un même résultat. Cette constatation souligne la pertinence d'une approche configuratoire, mieux adaptée que les analyses bivariées pour appréhender la complexité des parcours d'intégration technologique observés dans les PME.

Les couvertures demeurent globalement faibles, ce qui indique que les configurations mises en lumière par l'analyse fsQCA ne représentent qu'une fraction limitée des combinaisons possibles. Il faut donc interpréter les résultats avec prudence, puisque certaines configurations potentielles peuvent ne pas être présentées dans les configurations résultantes. Malgré cela, certains constats émergent. Une asymétrie marquée apparaît entre les configurations associées à une performance positive (réduction du délai) et celles liées à une performance négative (allongement du délai). Ces dernières présentent une couverture globale plus élevée, ce qui signifie qu'elles expliquent une part plus importante des cas observés. Ce résultat suggère qu'il est plus aisé d'identifier des configurations robustes menant à un retard que des modèles récurrents de succès.

La faible densité globale de conditions centrales, au profit de conditions périphériques, traduit la diversité des stratégies mises en œuvre par les entreprises. Cette

hétérogénéité peut être attribuée à la taille limitée de l'échantillon ($n = 51$) et souligne la nécessité de recherches futures sur des échantillons plus vastes afin d'identifier des combinaisons plus stables et généralisables.

Le rôle de l'aide gouvernementale ressort comme particulièrement intéressant. Dans plusieurs configurations, son absence est associée à une réduction du délai, tandis que sa présence s'accompagne parfois d'un allongement. Ce résultat, apparemment contre-intuitif, pourrait s'expliquer par la complexité administrative, les délais de traitement ou la rigidité procédurale liés à l'accès aux programmes publics. Plutôt que de faciliter systématiquement l'accès technologique de l'industrie 4.0, certaines aides pourraient donc ralentir le processus d'intégration dans certains contextes.

Les résultats montrent également que les conditions explicatives varient selon la phase du projet. Les leviers influençant le délai diffèrent entre l'émergence du besoin et le « Go Live », révélant l'importance d'une gestion différenciée des facteurs selon le moment du projet. Alors que cinq configurations sont identifiées à la phase d'émergence, dix le sont au « Go Live », suggérant une plus grande complexité en phase d'intégration, où les interactions entre facteurs deviennent plus nombreuses et imbriquées. Cette distinction temporelle ouvre d'ailleurs la voie à des recherches futures plus ciblées, mettant en évidence la nécessité de préciser le moment du projet étudié pour mieux comprendre l'effet réel d'un facteur pouvant avoir un impact et offrir aux entreprises des recommandations adaptées au bon stade de leur parcours numérique.

La collaboration interentreprises est la condition la plus fréquemment présente, mais son effet apparaît ambivalent : elle intervient à la fois dans des configurations associées à des délais réduits et à des délais accrus. Cette dualité indique que son efficacité dépend fortement de la qualité de sa mise en œuvre; confiance, partage d'information, alignement des objectifs, compatibilité organisationnelle, etc. La collaboration semble ainsi être une condition nécessaire mais non suffisante, dont l'impact varie selon les autres facteurs présents dans sa mise en forme. Cette conclusion est cohérente avec les analyses descriptives et bivariées, où ce levier figure déjà parmi les plus influents. Ces résultats soulignent également la pertinence de recherches futures visant à identifier plus précisément quels facteurs amplifient ou freinent l'effet de la collaboration, afin de mieux comprendre les conditions dans lesquelles elle devient véritablement efficace pour les PME en transformation numérique.

D'un point de vue méthodologique, les seuils de calibration et de consistance relativement bas traduisent une nécessité d'explorer la complexité du phénomène tout en tenant compte des contraintes liées à la taille de l'échantillon. La faible couverture unique observée pour plusieurs configurations confirme la superposition partielle des trajectoires : aucune configuration ne domine entièrement, mais plusieurs se recoupent, illustrant la multiplicité des parcours possibles vers un même résultat.

Dans l'ensemble, ces résultats confirment que l'accès technologique de l'industrie 4.0 constitue un phénomène systémique et contextuel, irréductible à une lecture linéaire des facteurs individuels. Ils ouvrent la voie à des recherches futures portant sur la dynamique temporelle des combinaisons identifiées, sur la stabilité des conditions

périphériques et sur les différences sectorielles susceptibles d'influencer les trajectoires d'accès aux technologies modernes.

5.2 - Discussion théorique

L'analyse descriptive montre que la majorité des projets recensés sont courts et de faible envergure, ce qui reflète directement les contraintes structurelles auxquelles font face les PME. Autrement dit, si ces entreprises réalisent surtout des projets technologiques simples et limités, ce n'est pas un choix stratégique, mais plutôt une conséquence de leurs capacités financières, techniques et humaines restreintes. Hidayat et Pok (2025) soulignent d'ailleurs que les PME doivent souvent se limiter à des initiatives modestes et innover de manière créative pour compenser leur déficit en ressources, ce qui rejoint pleinement les observations du présent échantillon.

Environ 75 % des projets recensés sont réalisés au cours des cinq dernières années, ce qui confère aux résultats une forte représentativité contemporaine. Les technologies les plus implantées concernent l'intégration verticale (Ex. : ERP, MES, etc.), des solutions de cybersécurité ou le Cloud, soit des choix technologiques typiques des PME québécoises. Bien que d'autres technologies gagnent actuellement en popularité, cette observation est confirmée par Massicotte (2021), qui analyse l'organisation du travail à l'ère du numérique dans ces entreprises. Le niveau de complexité des projets est généralement simple ou modéré, ce qui se reflète dans les délais plus courts observés. Cette concentration sur des technologies de base s'inscrit d'ailleurs dans les constats de Charbonneau-Genest et Gamache (2020), qui souligne que plusieurs PME sont encore à l'étape de structurer leurs

fondations numériques plutôt que de tirer pleinement profit du potentiel avancé des technologies 4.0.

Selon le Baromètre industriel québécois, 16^e édition (STIQ, 2025), les PME investissent en moyenne environ 2 % de leur chiffre d'affaires en transformation numérique, ce qui correspond à près de 400 000 \$ pour une entreprise dont le chiffre d'affaires moyen est de 20 M\$ CAD. Or, les projets observés dans le présent échantillon se situent très loin de cette capacité théorique : près de 80 % affichent un investissement maximal de 50 000 \$, un montant nettement insuffisant pour soutenir une transformation numérique ambitieuse ou tirer pleinement profit des technologies avancées du 4.0. Ce décalage révèle un problème structurel majeur : les PME investissent trop peu et restent confinées à des projets simples, alors même que leurs conditions concurrentielles exigent des initiatives plus profondes et mieux intégrées. Cette situation crée un paradoxe : les projets plus substantiels, mieux alignés avec les besoins réels de modernisation, sont aussi ceux qui génèrent les délais les plus longs et suscitent le plus de réticence. Il devient donc impératif d'explorer de nouvelles avenues de recherche sur les mécanismes financiers, organisationnels et collaboratifs permettant aux PME d'investir davantage, et surtout plus efficacement, dans leur transformation numérique. De même, les programmes publics doivent évoluer pour soutenir non seulement l'accès, mais aussi la montée en puissance des capacités technologiques nécessaires pour éviter que ces entreprises ne soient rapidement dépassées.

L'accès à l'information via les fournisseurs ou les collaborateurs est perçu favorablement, tant lors de l'émergence du besoin qu'au « Go Live ». Selon Ghobakhloo

et al. (2022), cette étape demeure toutefois fragilisée par un manque d'expertise externe chez les fournisseurs technologiques. Par ailleurs, la collaboration interentreprises apparaît comme un levier stratégique, associée à la réduction des coûts et à une meilleure gestion managériale. Les résultats concordent avec l'étude-action de Brodeur et al. (2022), où deux PME ont accéléré leur exploration technologique et facilité l'intégration de solutions grâce au partage d'expertise et de ressources externes, notamment un coordonnateur et des fournisseurs communs, ce qui a réduit les coûts d'essai, renforcé le pouvoir de négociation et compensé le manque de ressources humaines. Les configurations fsQCA confirment toutefois que le rôle de la collaboration est ambivalent : elle apparaît autant dans des schémas associés à des délais réduits que prolongés. Son efficacité dépend donc de la qualité des partenariats, du niveau de confiance et du partage réel d'information, ce qui en fait une condition nécessaire mais non suffisante. Cette interprétation rejoint Tsakalerou et al. (2025), qui identifient les réseaux externes comme un déterminant majeur de la capacité d'innovation des PME, à condition que celles-ci disposent d'une capacité d'absorption suffisante et de relations solides avec leurs partenaires. Le fait que Brodeur et al. (2022) soit le seul ouvrage recensé à traiter explicitement de la collaboration interentreprises montre d'ailleurs que ce champ demeure sous-documenté et mérite des recherches plus approfondies.

À l'inverse, les perceptions liées à l'aide gouvernementale apparaissent plus mitigées : les moyennes et médianes de ces items sont inférieures à 3, ce qui suggère que cette aide est perçue comme moins utile ou moins accessible, tant au stade initial qu'au moment de l'intégration. Cette observation est cohérente avec la littérature. En effet,

Ghobakhloo et al. (2019) rappellent que l'accès aux aides gouvernementales, qu'elles soient financières ou éducatives, demeure souvent difficile pour les PME, principalement en raison de leurs contraintes de temps et de ressources. Par exemple, même lorsque des programmes sont disponibles, certaines organisations n'ont tout simplement pas la capacité de participer aux activités proposées (Ghobakhloo et al., 2019). Dans ce contexte, il devient compréhensible que l'analyse fsQCA indique une association entre l'aide gouvernementale et des délais technologiques plus longs : ces mécanismes, pourtant bénéfiques en théorie, peuvent en pratique introduire des étapes supplémentaires, une charge administrative accrue ou des exigences de participation que plusieurs PME peinent à absorber. De plus, selon Abu, da Silva et Vieira (2025), ces aides sont fréquemment peu adaptées, fragmentées, complexes, voire parfois inefficaces ou contre-productives. Pour en bénéficier, les entreprises doivent généralement être vigilantes afin d'identifier les soutiens en cours, analyser les critères d'admissibilité et satisfaire à l'ensemble des exigences, ce qui constitue en soi un obstacle supplémentaire.

La servicisation, quant à elle, est globalement moins bien perçue que la collaboration interentreprises, tant pour la réduction des coûts que pour l'amélioration de la gestion des projets, ce qui suggère que ce modèle d'affaires demeure marginal ou mal compris dans les pratiques actuelles des PME. Selon la revue de littérature, seulement trois ouvrages abordent spécifiquement la servicisation, témoignant de son caractère exploratoire et d'une compréhension encore limitée par les organisations elles-mêmes. Bortoluzzi et al. (2022) met en lumière à la fois les avantages et les défis de ce modèle, avançant qu'il peut constituer un levier important de création de valeur pour les entreprises.

Toutefois, aucun lien direct avec l'accès technologique de l'industrie 4.0 n'est relevé dans ces travaux, ce qui est cohérent avec les résultats non significatifs observés dans la présente étude.

Sur le plan bivarié, la variable X-COÛT, se distingue comme la plus significative, avec une corrélation négative forte ($\rho < 0,01$). Un coût technologique plus élevé est ainsi lié à des délais plus longs, probablement en raison des étapes additionnelles de validation, de financement et de coordination que requièrent les investissements importants. Cette observation s'aligne sur les résultats de la revue de littérature, où plus de la moitié des ouvrages examinés (66 %) se concentrent sur ce facteur clé : la réduction du coût technologique. En effet, Beltrami et Orzes (2021), Chavez et al. (2021), Cotrino et al. (2020), Gamache et al. (2020), Garcia et al. (2022), Haben et al. (2021), Hansen et Bøgh (2021), Leona Niemeyer et al. (2020), Louw et al. (2018), Martikkala et al. (2021), Matt et al. (2020), Mittal et al. (2019) ainsi que Moreno et al. (2016) proposent tous des approches visant à pallier cet enjeu majeur. Ces résultats invitent clairement les décideurs à revoir leurs mécanismes de financement et d'accompagnement, puisque l'impact du coût sur le délai suggère qu'une stratégie d'investissement plus progressive, mieux structurée ou plus soutenue pourrait atténuer les frictions observées et permettre aux PME d'intégrer plus rapidement des technologies plus ambitieuses.

La variable X-ÉVAL, qui représente l'évaluation subjective globale du déroulement de l'intégration technologique, est également significative : une perception plus positive est associée à des délais plus courts, témoignant d'un climat organisationnel favorable et d'une gestion plus efficace des projets. Ce constat rejoint les travaux de Masood et Sonntag

(2020) et de Ghobakhloo et al. (2019), qui soulignent que la culture interne, l'attitude organisationnelle et l'engagement des dirigeants sont des conditions essentielles à une intégration numérique réussie. Toutefois, Mittal et al. (2018) ainsi que Chavez et al. (2021) rappellent que cette dynamique peut être fortement modulée par la taille de l'organisation, la distribution des rôles et la complexité structurelle pouvant influencer la rapidité de mise en œuvre. Dans cette perspective, Trstenjak et al. (2022) identifient les ressources humaines comme un levier déterminant dans la préparation à l'intégration technologique, ce qui concorde avec la significativité de X-ÉVAL observée dans la présente étude. Ces résultats suggèrent qu'au-delà des aspects techniques, la qualité de l'expérience vécue par les équipes, leur compréhension du projet, leur mobilisation et leur sentiment de contrôle, constitue un levier stratégique pour accélérer l'intégration. Ainsi, les décideurs auraient tout intérêt à investir dans la formation, la communication interne et l'accompagnement du changement, afin d'améliorer la perception organisationnelle du projet et, par conséquent, réduire les délais d'implantation.

L'importance de la phase de « Go Live » ressort également dans les résultats. Comme le soulignent Bradley et Lee (2007), la formation continue, le soutien technique et l'implication précoce des utilisateurs favorisent une adoption réussie et des gains de performance tangibles. Ces auteurs insistent aussi sur la préparation des utilisateurs en amont de la mise en service, facteur clé de succès des projets numériques. Ce constat rejoint directement les résultats du fsQCA, qui montrent que le « Go Live » constitue une phase particulièrement complexe, où une multitude de facteurs interagissent simultanément et peuvent rapidement influencer le délai d'intégration technologique. Autrement dit, ce n'est

pas parce qu'un projet approche de sa mise en service que les risques diminuent : au contraire, c'est précisément à cette étape que les organisations doivent redoubler d'attention. Pour les décideurs, cela signifie qu'il est essentiel de planifier un accompagnement soutenu, de renforcer la formation, de préparer les utilisateurs en amont et de tenir compte des facteurs organisationnels et techniques critiques mis en lumière par Bradley et Lee (2007) afin d'assurer un déploiement fluide et réduire les délais d'implantation.

Enfin, Coulibaly (2024), dans son mémoire *Gestion de la complexité dans les projets de l'industrie 4.0 et de la transformation numérique*, rappelle que plus le degré de complexité d'une technologie est élevé, plus il constitue un frein à l'adoption, nécessitant des approches spécifiques de gestion de projet, de modélisation et de gestion des connaissances. Ce constat concorde avec la performance négative observée pour la variable X-COMPLEX, liée à la complexité technologique. Or, la majorité des projets de l'échantillon étant de complexité simple ou modérée, cette tendance vers la significativité doit être interprétée avec prudence : elle reflète probablement la réalité opérationnelle des PME, qui ne peuvent, en pratique, se permettre que des projets de petite ou moyenne envergure.

CHAPITRE 6 - CONCLUSION

6.1 - Synthèse des résultats

Les résultats de cette recherche se déclinent en deux volets complémentaires : ceux issus de la revue de la littérature et ceux provenant de l'analyse menée par questionnaire auprès de PME manufacturières québécoises.

6.1.1 - Résultats de la revue de la littérature

Sur le plan théorique, la revue de la littérature révèle que la notion d'accès technologique de l'industrie 4.0, définie ici comme le délai entre l'émergence d'un besoin et le « Go Live » d'une technologie 4.0, n'a jamais été abordée de manière explicite dans les travaux scientifiques existants. L'analyse systématique des écrits permet toutefois d'identifier sept facteurs influençant l'accessibilité technologique :

1. Les solutions à faibles coûts ;
2. L'accès à l'information ;
3. Les outils de gestion managériale ;
4. La servicisation ;
5. L'aide gouvernementale ;
6. Le rôle des fournisseurs technologiques ;
7. La collaboration interentreprises.

Les trois premiers sont les plus développés dans la littérature actuelle, tandis que les autres sont abordés de manière indirecte, mais demeurent des leviers structurants pour

l'accès aux technologies intelligentes. Cette synthèse répond à la première question de recherche, portant sur les facteurs influençant l'accès technologique de l'industrie 4.0. À partir de ces sept facteurs, une analyse des fréquences a permis d'identifier huit liaisons principales formant les facteurs d'accès technologique de l'industrie 4.0 du cadre conceptuel. Ces relations, regroupant les dimensions « DE » et « À », répondent à la deuxième question de recherche, qui explore les liaisons entre les facteurs.

6.1.2 - Résultats de l'analyse empirique

L'analyse des données recueillies via le questionnaire confirme plusieurs tendances caractéristiques des PME manufacturières. Les projets recensés sont majoritairement de petite envergure, à complexité faible ou modérée, réalisés depuis 2020, et portent principalement sur des solutions d'intégration verticale, de cybersécurité ou d'infonuagique, pour un investissement inférieur à 50 000 \$. L'accès à l'information via les fournisseurs et la collaboration interentreprises est largement mobilisé, tant à l'émergence du besoin qu'au « Go Live ». Cette collaboration est perçue comme un levier positif pour la réduction des coûts et l'optimisation managériale, alors que l'aide gouvernementale recueille des opinions mitigées, et que la servicisation demeure moins bien perçue que la collaboration sur ces deux plans.

Les résultats de l'analyse descriptive révèlent également un échantillon hétérogène, ce qui élargit la portée des observations. Cette diversité peut en partie expliquer la faible significativité observée dans l'analyse bivariée, tout en rappelant qu'il s'agit d'une étude à

large spectre. Paradoxalement, cette hétérogénéité constitue aussi un atout, puisqu'elle renforce la validité des constats formulés au regard des objectifs globaux de l'étude.

Les analyses bivariées confirment une distribution non normale de la variable dépendante Y (délai d'accès technologique de l'industrie 4.0), justifiant le recours à des tests non paramétriques. Trois variables se démarquent :

- X-CC-É (X4) : la minimisation des coûts par la collaboration interentreprises dès l'émergence du besoin, associée à des délais plus courts ;
- X-COÛT (X20) : le coût du projet technologique, corrélé négativement ($\rho < 0,01$), indiquant que les projets plus coûteux entraînent des délais plus longs ;
- X-ÉVAL (X21) : l'évaluation subjective du déroulement global du projet, positivement corrélée à Y, suggérant que les projets perçus plus positivement sont menés plus rapidement.

Parmi ces trois variables, seule X-CC-É correspond directement à un facteur d'accès technologique de l'industrie 4.0, représentant ainsi la liaison empirique la plus probante entre le modèle conceptuel et les résultats observés. D'autres variables, telles que l'aide gouvernementale (X-GC-G), l'optimisation managériale par la collaboration (XCM-G) et la complexité du projet (X-COMPLEX), présentent des tendances vers la significativité, renforçant l'intérêt de les considérer dans des analyses combinatoires.

Ces résultats suggèrent par ailleurs que l'action gouvernementale gagnerait à soutenir plus explicitement la collaboration interentreprises dès les premières phases du processus et à accompagner la réduction des coûts technologiques tout au long du projet,

tout en assumant un rôle accru de vulgarisation technologique. Ce constat s'inscrit toutefois à l'échelle de l'ensemble de l'écosystème : il interpelle autant les programmes publics que les fournisseurs de technologies, les équipes internes des PME et les autres acteurs impliqués dans la transformation numérique.

L'analyse exploratoire par fsQCA confirme la nature multifactorielle de l'accès technologique de l'industrie 4.0 et met en lumière des logiques de combinaison plutôt que des relations uniques. L'introduction de cette méthode révèle d'ailleurs un large éventail de configurations possibles, ce qui renforce l'importance d'approches multifactorielles pour les recherches futures. Les configurations associées à des délais prolongés sont plus nombreuses et présentent une couverture globale plus élevée que celles expliquant une réduction des délais, suggérant que la méthode identifie plus clairement les freins que les facteurs accélérateurs. Cette asymétrie pourrait refléter à la fois la diversité des contextes et les limites de l'échantillon (taille, hétérogénéité sectorielle, dispersion des cas).

L'aide gouvernementale ressort à nouveau comme un facteur ambivalent : son absence est parfois associée à une réduction du délai, alors que sa présence s'accompagne, dans certaines configurations, d'un allongement, illustrant un effet potentiellement contre-productif lorsqu'elle est inadéquatement alignée aux besoins. La phase du « Go Live » apparaît plus critique que l'émergence, étant impliquée dans un plus grand nombre de configurations, ce qui met en évidence le poids des facteurs d'exécution dans la durée totale des projets numériques. Enfin, la collaboration interentreprises, bien que fréquente dans les combinaisons observées, ne produit pas un effet univoque : son influence demeure

ambivalente et dépend largement de la qualité de sa mise en œuvre et des conditions contextuelles dans lesquelles elle s'inscrit.

Du point de vue théorique, les résultats confirment les constats de la littérature selon lesquels les PME éprouvent un problème structurel d'accès technologique, observable notamment par leur tendance à réaliser principalement de petits projets de plus petite envergure. La collaboration interentreprises, largement reconnue comme un levier central dans les modèles existants, se confirme également comme un facteur déterminant ; toutefois, son efficacité dépend étroitement de la qualité de son application et des conditions organisationnelles qui l'entourent. Les résultats suggèrent en outre que lorsqu'elle est mobilisée dès les premières phases du projet, son impact positif tend à s'amplifier, en cohérence avec les travaux théoriques sur la préparation stratégique et l'alignement précoce des acteurs.

6.2 - Réponse aux questions et objectifs de recherche

Cette recherche visait à comprendre en profondeur les conditions qui influencent l'accès aux technologies de l'industrie 4.0 dans les PME manufacturières. Plus précisément, elle avait pour objectifs d'identifier les facteurs qui facilitent ou freinent cet accès, d'examiner les liaisons entre ces facteurs, d'évaluer leur impact réel sur le délai entre l'émergence d'un besoin technologique et sa mise en œuvre « Go Live », et de déterminer les configurations les plus susceptibles d'accélérer ou de ralentir ce processus. Ces objectifs se déclinaient en quatre questions centrales : quels sont les facteurs qui influencent l'accès aux technologies 4.0? Quelles relations structurent ces facteurs? Quels facteurs, ou

combinaisons de facteurs, ont un impact significatif sur le délai d'intégration technologique, et quelle est la nature de ces impacts? L'ensemble des analyses réalisées, tant conceptuelles qu'empiriques, permet de répondre à ces questions et d'offrir des pistes de recommandations destinées à soutenir l'écosystème des PME manufacturières dans leur transformation numérique.

Le premier objectif, qui consistait à identifier les facteurs influençant l'accès aux technologies de l'industrie 4.0 dans les PME manufacturières, a été atteint grâce à une revue de littérature inspirée de la méthode PRISMA. Celle-ci a permis de dégager sept leviers récurrents : les solutions à faibles coûts, l'accès à l'information, les outils de gestion managériale, la servicisation, l'aide gouvernementale, le rôle des fournisseurs technologiques et la collaboration interentreprises. Toutefois, l'analyse empirique montre que ces facteurs ne s'exercent pas de manière uniforme : certains interviennent dès l'émergence du besoin technologique, tandis que d'autres n'influencent que la phase d'intégration concrète, soulignant la nature séquentielle du processus d'adoption. De plus, la variabilité observée dans les délais réels d'accès suggère que ces leviers doivent être interprétés à la lumière de variables contextuelles, telles que la taille organisationnelle, le secteur d'activité ou la complexité du projet, qui modèrent leurs effets et expliquent la diversité des trajectoires d'intégration observées chez les PME.

Le deuxième objectif visait à comprendre les interactions entre les facteurs d'accès technologique, et les résultats montrent qu'ils ne fonctionnent pas de manière isolée, mais s'articulent au sein de combinaisons interdépendantes. La revue de la littérature a permis d'identifier huit liaisons principales, reliant l'accès à l'information, la minimisation des

coûts, la gestion managériale, la servicisation, l'aide gouvernementale et la collaboration interentreprises, qui traduisent des configurations organisationnelles plausibles. Intégrées au cadre théorique sous forme de variables indépendantes, ces liaisons illustrent comment les dimensions économiques, informationnelles et managériales se combinent à différents stades du projet pour influencer le délai d'intégration technologique. Elles confirment ainsi que l'accès aux technologies de l'industrie 4.0 repose sur une dynamique systémique et non linéaire, où la performance d'un levier dépend étroitement de sa combinaison avec d'autres conditions organisationnelles ou externes.

Le troisième objectif visait à déterminer quels facteurs ou combinaisons exercent un impact réellement significatif sur le délai d'accès technologique de l'industrie 4.0. Les analyses statistiques et configuratoires montrent que trois variables se distinguent nettement : la minimisation des coûts via la collaboration interentreprises à l'étape d'émergence du besoin, le coût technologique estimé du projet, et l'évaluation subjective du déroulement global de l'intégration. La collaboration interentreprises apparaît ainsi comme un levier stratégique lorsqu'elle intervient tôt dans le processus, le coût technologique plus élevé est logiquement associé à des délais prolongés, et un climat organisationnel favorable favorise une intégration plus rapide. Certaines variables non significatives statistiquement, telles que l'aide gouvernementale perçue comme lourde administrativement ou la complexité technologique susceptible d'allonger les délais, présentent toutefois des tendances convergentes. Les résultats fsQCA confirment cette asymétrie en identifiant des configurations explicatives plus robustes pour les retards que pour les accélérations, indiquant que la compréhension des obstacles à l'accès

technologique est actuellement plus avancée que celle des leviers favorisant une adoption rapide.

Le quatrième objectif portait sur la nature des impacts des facteurs ou combinaisons identifiés sur l'accès technologique de l'industrie 4.0. Les résultats montrent que ces impacts varient fortement selon le contexte organisationnel et la phase du projet, notamment entre l'émergence du besoin et le « Go Live ». Les analyses combinées révèlent que les leviers associés à la réduction des délais reposent surtout sur la collaboration interentreprises et sur des conditions internes de gestion favorables, tandis que les allongements de délais proviennent plus souvent de contraintes externes telles que les coûts élevés, la lourdeur administrative ou la complexité technologique. La collaboration interentreprises exerce d'ailleurs un effet ambivalent : elle peut accélérer l'intégration lorsqu'elle s'appuie sur une coordination fluide et un haut niveau de confiance, mais la ralentir lorsque les partenariats manquent de cohérence ou amplifient les délais de communication. L'aide gouvernementale présente également un effet paradoxal : bien qu'essentielle, elle peut devenir un frein lorsqu'elle impose des exigences administratives trop lourdes ou des délais supplémentaires. Enfin, le « Go Live » concentre la majorité des configurations explicatives, confirmant que les décisions tardives, les soutiens insuffisants ou l'absence de préparation adéquate influencent fortement la durée globale de l'intégration. Ainsi, la nature des impacts observés montre que l'accès technologique ne dépend pas uniquement des ressources disponibles, mais résulte d'une interaction dynamique entre leviers internes, soutiens externes et coordination inter entreprise. Ces constats permettent de formuler plusieurs recommandations : renforcer la collaboration

interentreprises dans des réseaux sectoriels structurés, simplifier et adapter l'aide gouvernementale à la réalité des PME, et professionnaliser davantage la gestion managériale afin de mieux planifier, absorber et sécuriser les investissements technologiques.

Au final, l'ensemble des objectifs de recherche a été atteint : la présente étude a permis de structurer un cadre théorique original, de confirmer empiriquement le rôle différencié des facteurs selon la temporalité du projet, et d'ouvrir la voie à de nouvelles analyses centrées sur la combinaison et la séquence des leviers d'accès technologique, offrant ainsi des orientations pratiques pour les décideurs et les acteurs de l'innovation industrielle.

6.3 - Limites de l'étude

Bien que cette étude apporte des éclairages pertinents sur les facteurs influençant les délais d'accès technologique de l'industrie 4.0 dans les PME, plusieurs limites doivent être reconnues et mises en perspective.

Premièrement, la nature exploratoire et macro de l'analyse a nécessité une simplification des contextes organisationnels. Les dynamiques propres à chaque entreprise, structure interne, historique technologique, culture managériale ou priorités stratégiques, n'ont pu être prises en compte de manière détaillée. Ce niveau d'abstraction, bien que nécessaire pour une première étude de ce type, limite l'interprétation contextuelle et causale de certains résultats. Par exemple, le fait qu'une entreprise n'ait pas recours à une

aide gouvernementale ne permet pas de conclure aux raisons sous-jacentes : refus, inéligibilité, méconnaissance ou choix délibéré.

Deuxièmement, le nombre restreint d'observations et la grande variabilité des répondants, notamment en termes de secteur d'activité, de taille d'entreprise et de type de projet technologique, introduisent une dispersion importante dans les données. Cette hétérogénéité nuit à la détection de relations statistiques robustes et complique l'identification de modèles explicatifs généralisables. Une piste d'amélioration pour de futures études pourrait être de restreindre l'analyse à un secteur industriel spécifique afin de mieux isoler les effets contextuels et de renforcer la validité interne des résultats.

Troisièmement, une limitation méthodologique concerne la compréhension potentiellement variable de la variable dépendante Y. Certains répondants ont possiblement interprété ce délai d'accès technologique de l'industrie 4.0 comme le temps d'implantation opérationnelle, plutôt que comme le véritable intervalle entre la réflexion stratégique initiale et le « Go Live ». Cette divergence d'interprétation pourrait avoir introduit un biais de mesure, affectant la validité conceptuelle de la variable Y. De plus, comme les données ont été recueillies par questionnaire autoadministré et non par entretiens, aucun mécanisme pour confirmer la compréhension des répondants n'a pu être intégré. Bien qu'un schéma visuel explicatif ait été inclus dans le sondage pour illustrer la notion de délai, rien ne permet d'affirmer que cette interprétation ait été uniformément comprise, ce qui constitue une limite importante.

Quatrièmement, la faiblesse générale des corrélations observées et la variabilité des résultats fsQCA laissent supposer que des variables contextuelles non intégrées, telles que le secteur d'activité, la complexité des technologies ou la taille de l'organisation, jouent un rôle médiateur ou modérateur. Ces dimensions, bien qu'identifiées dans la littérature comme déterminantes, n'ont pas été incluses explicitement dans les analyses et devraient faire l'objet de travaux ultérieurs ciblés afin de mieux cerner leurs effets différenciés.

Cinquièmement, la compréhension du concept de collaboration interentreprises, ou encore, de la servicisation a pu varier d'un répondant à l'autre, selon qu'il s'agisse de fournisseurs, de clients ou de partenaires sectoriels, en l'absence d'une définition commune dans le questionnaire. Cette ambiguïté conceptuelle a pu influencer la validité des réponses pour certains items, notamment ceux associés aux variables de collaboration (X-CI-É, X-CC-É, X-CM-É, X-CI-G, X-CC-G et XCM-G).

Enfin, bien que le questionnaire ait été validé par des experts du domaine manufacturier, aucun prétest systématique n'a été mené avant sa diffusion. Ce choix, lié à des contraintes temporelles, constitue une limite reconnue, car un prétest aurait permis de corriger d'éventuelles ambiguïtés ou malentendus d'interprétation avant la collecte finale des données.

Malgré ces limites, cette étude constitue une première base empirique solide pour l'analyse des délais d'accès technologique de l'industrie 4.0 en contexte PME, grâce à une méthodologie structurée et rigoureuse. Elle ouvre la voie à des recherches futures plus

ciblées, tant sectorielles que qualitatives, permettant d'approfondir les tendances explorées et d'en valider les dynamiques causales.

6.4 - Recommandations et pistes de recherche futures

Dans l'ensemble, les résultats montrent que l'accès technologique de l'industrie 4.0 dans les PME québécoises constitue un phénomène complexe, qui dépasse largement une lecture linéaire des relations bivariées. Cette étude met en évidence plusieurs contributions originales.

Premièrement, elle propose une définition novatrice de l'accès technologique, opérationnalisé par le délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live », une perspective non abordée dans la littérature et qui permet de saisir la temporalité réelle du processus d'adoption.

Deuxièmement, la combinaison d'analyses bivariées et configuratoires (fsQCA) révèle des logiques combinatoires propres aux PME, illustrant pourquoi certaines entreprises parviennent à réduire leurs délais malgré des ressources limitées. Fait notable, les résultats montrent une asymétrie marquée : les configurations expliquant les retards sont plus nombreuses et plus cohérentes que celles associées aux accélérations, suggérant que les obstacles sont actuellement mieux compris que les leviers de succès.

Troisièmement, les programmes d'aide gouvernementale ressortent comme un levier problématique. Les variables liées à l'aide publique (X-GI et X-GC) présentent des moyennes inférieures à 3 et un recours extrêmement limité, notamment un taux de 0 % de « Tout à fait d'accord » pour la réduction des coûts technologiques à l'émergence. Certaines

configurations fsQCA montrent même que l'absence d'aide est associée à des délais plus courts, ce qui indique que les démarches administratives, les délais de traitement et la rigidité des programmes peuvent ralentir les projets. La forte proportion de réponses « Neutre » pour plusieurs leviers, notamment la servicisation (X-SC-É) ou l'accès à l'information gouvernementale (X-GI-É), suggère en outre que les PME ne connaissent pas ces mécanismes ou ne voient pas comment ils peuvent les aider, un constat majeur qui appelle une révision structurelle des programmes publics, autant sur leur conception que sur leur communication.

Quatrièmement, la collaboration interentreprises apparaît comme un levier déterminant mais ambivalent. Les variables de collaboration sont parmi les mieux perçues, et l'une d'elles (X-CC-É) est significative, indiquant qu'une collaboration précoce réduit les délais d'accès technologique. Toutefois, la fsQCA révèle qu'elle peut également prolonger les délais lorsque la coordination est inadéquate, confirmant qu'il s'agit d'une condition nécessaire mais non suffisante. La qualité de la confiance, la compatibilité culturelle et la cohérence des objectifs deviennent alors essentielles. Néanmoins, les résultats montrent clairement que les mécanismes de mutualisation, partage d'expertise, exploration conjointe, renforcement du pouvoir de négociation, constituent une piste d'action stratégique pour les politiques publiques.

Cinquièmement, l'importance des perceptions subjectives (X-ÉVAL) souligne que les dimensions humaines, culturelles et organisationnelles influencent directement la rapidité d'intégration. Les projets courts et « plug-and-play » sont mieux perçus et s'intègrent plus rapidement, alors que les projets coûteux et complexes, souvent nécessaires

pour progresser réellement, tendent à allonger les délais. Cette dynamique renforce l'idée qu'un enchaînement de projets rapides, simples et valorisants peut constituer un tremplin culturel pour préparer l'entreprise à des projets plus ambitieux.

Sur le plan méthodologique, malgré certaines limites inhérentes à son caractère exploratoire, taille restreinte de l'échantillon, distribution non normale des données, seuils de cohérence assouplis, les résultats demeurent cohérents avec la littérature et démontrent la valeur des approches configuratoires pour faire émerger des tendances significatives même dans des conditions contraignantes. Ils montrent également que les facteurs liés au « Go Live » exercent une influence déterminante sur le délai globale du projet technologique, soulignant l'importance de déterminer le moment optimal d'activation des leviers pour maximiser leur effet.

Ces constats ouvrent plusieurs avenues de recherche : élargissement de l'échantillon pour renforcer la robustesse statistique ; segmentation selon le secteur, la maturité numérique ou la structure organisationnelle ; analyses qualitatives pour comprendre le vécu des projets ; exploration des mécanismes de réduction des coûts (mutualisation, modèles collaboratifs, servicisation, solutions modulaires) ; étude approfondie des facteurs humains et organisationnels ; reproduction de l'étude dans d'autres régions ; intégration d'une perspective longitudinale pour observer l'évolution des facteurs dans le temps ; et analyse comparative des trajectoires de succès versus trajectoires d'échec, rendue nécessaire par l'asymétrie observée dans les résultats de la fsQCA.

En somme, cette étude constitue une première étape structurante dans l'exploration de l'accès technologique de l'industrie 4.0 en contexte PME. Elle pose les bases d'un cadre analytique et empirique enrichi par des contributions originales, faible connaissance des leviers publics, inefficacité perçue de certaines aides, rôle stratégique mais conditionnel de la collaboration, importance des projets courts et de la perception organisationnelle, et ouvre la voie à des travaux plus ciblés visant à mieux comprendre les trajectoires d'adoption et à proposer des leviers concrets pour accélérer la transformation numérique des PME québécoises et au-delà.

6.5 - Recommandations structurées pour l'action

Dans une volonté explicite de favoriser le passage à l'action, la section suivante intitulée est ajoutée, afin de maximiser les chances que ce travail de recherche mène à de réelles contributions pour l'écosystème des PME manufacturières. Une liste sous forme de points est ainsi proposée pour mettre en évidence des actions claires que l'auteure juge pertinentes au regard des constats dégagés.

1. Pour les PME manufacturières

- Investir significativement davantage dans les projets technologiques
 - Augmenter la part du chiffre d'affaires dédiée au numérique et à l'automatisation (sous-investissement structurel documenté dans l'étude).
 - Planifier un budget récurrent pour les projets 4.0, plutôt que des interventions ponctuelles.

- Prioriser les investissements ayant un impact direct sur la rétention, la productivité et la simplification opérationnelle.
- Déployer un parcours numérique progressif
 - Démarrer avec des projets courts, simples et « plug-and-play » pour bâtir la confiance interne.
 - Séquencer les projets ambitieux en plusieurs phases réalisables.
 - Capitaliser rapidement sur des « quick wins » pour préparer culturellement l'organisation.
- Renforcer les compétences internes et la culture d'adoption
 - Former en continu les gestionnaires à la gestion de projet technologique et à la conduite du changement.
 - Valoriser les compétences numériques internes pour réduire la dépendance externe.
 - Miser sur l'engagement interne généré par les premiers projets réussis (effet direct sur les perceptions X-ÉVAL).
- Structurer les collaborations interentreprises dès l'émergence du besoin
 - Rechercher des partenaires (autres PME, CCTT, grandes entreprises) dès les premières étapes.
 - Mutualiser ressources, expertise, essais, analyses et risques.
 - Partager les retours d'expérience pour accélérer la montée en maturité.

2. Pour les fournisseurs de technologies et accompagnateurs

- Développer des solutions adaptées aux PME
 - Concevoir des technologies modulaires, standards et prêtes à l'emploi « plug-and-play ».
 - Développer des offres de servicisation accessibles : abonnements, paiement à l'usage, location.
 - Documenter et vulgariser les coûts réels des projets pour améliorer la compréhension client.
- Renforcer le rôle de diffusion et d'accompagnement
 - Créer des guides, capsules et démonstrations didactiques sur les solutions 4.0.
 - Participer activement à des vitrines technologiques, communautés de pratique et réseaux sectoriels.
 - Assurer un accompagnement technique structuré durant tout le cycle, particulièrement au « Go Live ».
- Outiller de manière spécifique la phase « Go Live »
 - Développer des outils, « checklists » et gabarits conçus pour cette phase critique.
 - Prévoir un accompagnement renforcé en fin de projet (stabilisation, formation, ajustements).
 - Harmoniser les communications, les attentes et la coordination inter étapes.

3. Pour le gouvernement et l'écosystème

- Réformer en profondeur l'aide gouvernementale
 - Simplifier radicalement les procédures (moins de paperasse, délais raccourcis, réponses plus rapides).
 - Adapter les programmes aux projets courts, modulaires et itératifs, le format réellement privilégié par les PME.
 - Mieux communiquer l'existence, les critères et la valeur des programmes (lacune majeure identifiée).
 - Revoir la conception des programmes dont la structure freine objectivement les projets.
 - Adapter les parcours d'aide aux réalités des PME, sans imposer des diagnostics obligatoires ou des étapes uniformes et coûteuses; permettre des entrées flexibles et adaptées à la maturité numérique réelle de l'entreprise.
- Structurer et financer la collaboration interentreprises à large échelle
 - Financer des réseaux sectoriels d'expertise, de diagnostic, d'essais et de partage technologique.
 - Soutenir la mutualisation des infrastructures, experts, équipements et ressources.
 - Encourager des projets collaboratifs dès l'émergence du besoin, avant le choix de la technologie.
- Soutenir davantage les projets complexes et coûteux

- Financer spécifiquement les phases critiques : validation, planification, essais, coordination technique.
- Mettre en place des mécanismes concrets de réduction des risques (phases progressives, financement par étapes, expertises partagées).
- Encourager les PME et fournisseurs à mutualiser ou séquencer les projets coûteux.
- Développer et vulgariser massivement la servicisation
 - Mettre en place des programmes de formation et de sensibilisation sur les modèles serviciels.
 - Soutenir le développement de modèles adaptés à chaque secteur (location, abonnement, paiement à l'usage).
 - Créer des vitrines sectorielles présentant des cas réels de servicisation réussie.
- Comblent les lacunes de connaissance et soutenir la recherche
 - Mener des études sectorielles ciblées sur les leviers mal compris (aides publiques, servicisation, collaboration inter entreprise).
 - Appuyer les suivis longitudinaux pour suivre l'évolution de l'accès technologique dans le temps.
 - Financer des recherches comparatives sur les trajectoires de succès vs d'échec, cruciales selon les asymétries observées en fsQCA.

RÉFÉRENCES

- [1] S. Abdulnour, C. Baril, G. Abdulnour et S. Gamache, « Implementation of Industry 4.0 Principles and Tools: Simulation and Case Study in a Manufacturing SME », *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 10, article no. 6336, 2022.
- [2] N. Abu, F. P. da Silva et P. R. Vieira, « Government support for SMEs in the Fintech Era: Enhancing access to finance, survival, and performance », *Digital Business*, vol. 5, p. 100099, 2025.
- [3] M. Beltrami et G. Orzes, « Additive Manufacturing: Application Perspectives in Small and Medium Enterprises », *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, vol. 20, no. 2, pp. 1-11, article no. e2021024, 2021.
- [4] M. Bettiol, M. Capestro, E. Di Maria et S. Micelli, « SMEs @ Industry 4.0: a comparison between top and average performers », *Sinergie*, vol. 39, no. 3, pp. 27-48, 2021.
- [5] V. L. Bittencourt, A. C. Alves et C. P. Leão, « Industry 4.0 triggered by Lean Thinking: insights from a systematic literature review », *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 5, pp. 1496-1510, 2021.
- [6] H. N. Boone Jr. et D. A. Boone, « Analyzing Likert data », *Journal of Extension*, vol. 50, no. 2, article 2TOT2, 2012. [En ligne]. Disponible : <https://www.joe.org/joe/2012april/tt2.php>
- [7] G. Bortoluzzi, M. Chiarvesio, R. Romanello, R. Tabacco et V. Veglio, « Servitisation and performance in the business-to-business context: the moderating role of Industry 4.0 technologies », *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 33, no. 9, pp. 108-128, 2022.
- [8] J. Bradley et C. C. Lee, « ERP Training and User Satisfaction: A Case Study », *International Journal of Enterprise Information Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 33-50, 2007.
- [9] J. Brodeur, R. Pellerin et I. Deschamps, « Collaborative approach to digital transformation (CADT) model for manufacturing SMEs », *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 33, no. 1, pp. 61-83, 2022.
- [10] A. Bryman et D. Cramer, *Quantitative data analysis with IBM SPSS 17, 18 & 19: A guide for social scientists*, rev. éd., Londres : Routledge, 2011.
- [11] S. V. Buer, J. W. Strandhagen, M. Semini et J. O. Strandhagen, « The digitalization of manufacturing: investigating the impact of production environment and company size », *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 32, no. 3, pp. 621-645, 2021.

- [12] M. Charbonneau-Genest et S. Gamache, « Prerequisites for the implementation of Industry 4.0 in manufacturing SMEs », *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 1215-1220, 2020.
- [13] M. Charbonneau-Genest et S. Gamache, « The importance of digital readiness on manufacturing SMEs' performance aiming towards Industry 4.0: A case study », in *31st International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2022)*, Detroit, 2022, *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 630-639, 2023.
- [14] Z. Chavez, J. B. Hauge et M. Bellgran, « Industry 4.0, transition or addition in SMEs? A systematic literature review on digitalization for deviation management », *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 119, no. 1-2, pp. 57-76, 2021.
- [15] W. J. Conover, *Practical nonparametric statistics*, 3e éd., New York : John Wiley & Sons, 1999.
- [16] A. Cotrino, M. A. Sebastián et C. González-Gaya, « Industry 4.0 roadmap: Implementation for small and medium-sized enterprises », *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 23, pp. 1-17, article no. 8566, 2020.
- [17] M. Coulibaly, « Gestion de la complexité dans les projets de l'industrie 4.0 et de la transformation numérique – Étude de cas exploratoire Noovelia », M.Sc.A., Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, QC, Canada, 2024.
- [18] M. Cugno, R. Castagnoli, G. Büchi et M. Pini, « Industry 4.0 and production recovery in the covid era », *Technovation*, vol. 114, article no. 102443, 2022.
- [19] E. D. de Leeuw, J. J. Hox et D. A. Dillman, *International handbook of survey methodology*, New York, NY : Lawrence Erlbaum Associates, 2008.
- [20] M. Denscombe, *The good research guide: For small-scale social research projects*, 5e éd., Maidenhead : Open University Press, 2014.
- [21] D. J. Denis, *SPSS data analysis for univariate, bivariate, and multivariate statistics*, Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2019.
- [22] D. J. Denis, *Univariate, bivariate, and multivariate statistics using R: Quantitative tools for data analysis and data science*, Hoboken, NJ : Wiley, 2020.
- [23] D. A. Dillman, J. D. Smyth et L. M. Christian, *Internet, phone, mail, and mixed-mode surveys: The tailored design method*, 4e éd., Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2014.

- [24] P. E. Dossou, G. Laouénan et J. Y. Didier, « Development of a Sustainable Industry 4.0 Approach for Increasing the Performance of SMEs », *Processes*, vol. 10, no. 6, article no. 1092, 2022.
- [25] T. Elliott, « Fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis », Statistics Group, University of California Irvine, Irvine, CA, Rapport technique, 2013.
- [26] F. El Kalach, J. Solanki et A. Todkar, « A Federated Information System Framework for Vertical Integration », *Manufacturing Letters*, vol. 41, pp. 1192–1199, 2024, 52nd SME North American Manufacturing Research Conference (NAMRC 52, 2024). doi:10.1016/j.mfglet.2024.09.145.
- [27] R. W. Emerson, « Cronbach's alpha explained », *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 113, no. 3, p. 327, 2019.
- [28] A. Field, *Discovering Statistics using IBM SPSS Statistics*, 5e éd., Londres : Sage Publications, 2018.
- [29] P. C. Fiss, « Building better causal theories: A fuzzy set approach to typologies in organization research », *Academy of Management Journal*, vol. 54, no. 2, pp. 393-420, 2011.
- [30] S. Gamache, G. Abdul-Nour et C. Baril, « Evaluation of the influence parameters of Industry 4.0 and their impact on the Quebec manufacturing SMEs: The first findings », *Cogent Engineering*, vol. 7, no. 1, article no. 1771818, 2020.
- [31] B. Gauthier (dir.), *Recherche sociale : De la problématique à la collecte des données*, 3e éd., Québec, QC : Presses de l'Université du Québec, 2003.
- [32] B. Gauthier, *Recherche sociale : De la problématique à la collecte des données*, 5e éd., Québec, QC : Presses de l'Université du Québec, 2013.
- [33] M.-L. Gavard-Perret, D. Gotteland, C. Haon et A. Jolibert, *Méthodologie de la recherche*, 2e éd., Paris : Pearson Education, 2011.
- [34] D. Gligor et S. Bozkurt, « FsQCA versus regression: The context of customer engagement », *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 52, p. 101929, 2020.
- [35] Á. García, A. Bregon et M. A. Martínez-Prieto, « A non-intrusive Industry 4.0 retrofitting approach for collaborative maintenance in traditional manufacturing », *Computers and Industrial Engineering*, vol. 164, article no. 107896, 2022.

- [36] M. Ghobakhloo et N. T. Ching, « Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs », *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 16, article no. 100107, 2019.
- [37] M. Ghobakhloo, M. Iranmanesh, M. Vilkas, A. Grybauskas et A. Amran, « Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap », *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 33, no. 6, pp. 1029-1058, 2022.
- [38] Gouvernement du Canada, « Principales statistiques relatives aux petites entreprises – 2020 », 2020. [En ligne]. Disponible : <https://ised-isde.canada.ca/site/recherche-statistique-pme/fr/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises-2020>
- [39] D. Grube, A. A. Malik et A. Bilberg, « Generic challenges and automation solutions in manufacturing SMEs », *Annals of DAAAM & Proceedings*, vol. 28, pp. 1161-1169, 2017.
- [40] F. Haben, B. Vogel-Heuser, H. Najjari, M. Seitz, E. Trunzer et L. A. C. Salazar, « Low-entry Barrier Multi-Agent System for Small- and Middle-sized Enterprises in the Sector of Automated Production Systems », in *Proc. 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, pp. 1351-1357, 2021.
- [41] E. B. Hansen et S. Bøgh, « Artificial intelligence and internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey », *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 58, pp. 362-372, 2021.
- [42] C. Hennig et W. Sauerbrei, « Exploration of the variability of variable selection based on distances between bootstrap sample results », *Advances in Data Analysis and Classification*, vol. 13, no. 4, pp. 933-963, 2019.
- [43] C. J. Huang, E. D. T. Chicoma et Y. H. Huang, « Evaluating the factors that are affecting the implementation of industry 4.0 technologies in manufacturing MSMEs, the case of Peru », *Processes*, vol. 7, no. 3, article no. 161, 2019.
- [44] A. S. Hidayat et W. C. Pok, « Empowering SMEs innovation through intangible factors », *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, vol. 14, no. 1, 2025.
- [45] R. Hill, « What sample size is “enough” in Internet survey research? », *Interpersonal Computing and Technology: An Electronic Journal for the 21st Century*, vol. 6, no. 3-4, 1998. [En ligne]. Disponible : https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51136900/IPCT-J_Vol_6_Robin_hill_SampleSize-libre.pdf

- [46] Innovation, Sciences et Développement économique Canada, « Principales statistiques relatives aux petites entreprises – 2023 », Gouvernement du Canada, 2023. [En ligne]. Disponible : <https://ised-isde.canada.ca/site/recherche-statistique-pme/fr/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises-2023>
- [47] Innovation, Sciences et Développement économique Canada, « Principales statistiques relatives aux petites entreprises – 2024 », Gouvernement du Canada, 2024. [En ligne]. Disponible : <https://ised-isde.canada.ca/site/recherche-statistique-pme/fr/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises/principales-statistiques-relatives-aux-petites-entreprises-2024>
- [48] S. Jayashree, M. N. H. Reza, C. A. N. Malarvizhi et M. Mohiuddin, « Industry 4.0 implementation and Triple Bottom Line sustainability: An empirical study on small and medium manufacturing firms », *Heliyon*, vol. 7, no. 8, article no. e07753, 2021.
- [49] K. Jiang et J. Sekkel, « Characteristics of SME exporters in Canada », Office of the Chief Economist, Global Affairs Canada, Ottawa, ON, Rapport technique, 2024.
- [50] Banque de développement du Canada, « La PME numérique », 2020. [En ligne]. Disponible : <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/blogue/pme-numerique>
- [51] J. Łabędzka, « Industry 4.0 – Policy-based approaches to efficient implementation in SMEs », *Engineering Management in Production and Services*, vol. 13, no. 4, pp. 72-78, 2021.
- [52] C. Leona Niemeyer, I. Gehrke, K. Müller, D. Küsters et T. Gries, « Getting small medium enterprises started on industry 4.0 using retrofitting solutions », *Procedia Manufacturing*, vol. 45, pp. 208-214, 2020.
- [53] R. Li, *Essential Statistics for Non-STEM Data Analysts: Get to Grips with the Statistics and Math Knowledge Needed to Enter the World of Data Science with Python*, [Livre électronique], eBook Academic Collection (EBSCOhost), 2020.
- [54] L. Louw et M. Walker, « Design and implementation of a low cost RFID track and trace system in a learning factory », *Procedia Manufacturing*, vol. 23, pp. 255-260, 2018.
- [55] M. R. Lynn, « Determination and quantification of content validity », *Nursing Research*, vol. 35, no. 6, pp. 382-385, 1986.
- [56] G. Marshall, « The purpose, design and administration of a questionnaire for data collection », *Radiography*, vol. 11, no. 2, pp. 131-136, 2005.

- [57] A. Martikkala, J. David, A. Lobov, M. Lanz et I. F. Ituarte, « Trends for low-cost and open-source IoT solutions development for industry 4.0 », *Procedia Manufacturing*, vol. 55, pp. 298-305, 2021.
- [58] T. Masood et P. Sonntag, « Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs », *Computers in Industry*, vol. 121, p. 103261, 2020.
- [59] A. Massicotte, « L'organisation du travail à l'ère du numérique : Études de cas dans le secteur manufacturier québécois », M.A., Université Laval, Québec, QC, Canada, 2021.
- [60] D. T. Matt, V. Modrák et H. Zsifkovits, *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, opportunities and requirements*, Cham : Springer, 2020.
- [61] S. Mittal, M. A. Khan, D. Romero et T. Wuest, « A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs) », *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 49, pp. 194-214, 2018.
- [62] S. Mittal, M. Khan, J. Purohit, K. Menon, D. Romero et T. Wuest, « A smart manufacturing adoption framework for SMEs », *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 5, pp. 1555-1573, 2019.
- [63] A. Moeuf, R. Pellerin, S. Lamouri, S. Tamayo-Giraldo et R. Barbaray, « The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0 », *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 3, pp. 1118-1136, 2018.
- [64] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D. G. Altman et al., « Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement », *PLoS Medicine*, vol. 6, no. 7, article no. e1000097, 2009.
- [65] M. Moreno, C. De Los Rios, Z. Rowe et F. Charnley, « A conceptual framework for circular design », *Sustainability*, vol. 8, no. 9, p. 937, 2016.
- [66] F. Murtagh et A. Heck, *Multivariate Data Analysis*, Dordrecht : D. Reidel Publishing Company, 1987.
- [67] B. M. Omowole, O. C. Ofodile, A. Olufemi-Phillips et N. L. Eyo-Udo, « Barriers and drivers of digital transformation in SMEs: A conceptual analysis », *International Journal of Scholarly Research in Science and Technology*, vol. 5, no. 2, 2024. [En ligne]. Disponible : <https://www.researchgate.net/publication/386276990>
- [68] A. N. Oppenheim, *Questionnaire Design, Interviewing and Attitude Measurement*, New ed., Londres : Bloomsbury Academic, 2000.

- [69] I. O. Pappas et A. G. Woodside, « Fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA): Guidelines for research practice in Information Systems and marketing », *International Journal of Information Management*, vol. 58, p. 102310, 2021.
- [70] C. C. Ragin, « Qualitative comparative analysis using fuzzy sets (fsQCA) », in B. Rihoux et C. Ragin (dirs.), *Configurational Comparative Analysis*, chap. 5, Londres : Sage Publications, 2007.
- [71] C. C. Ragin, *Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and Beyond*, Chicago, IL : University of Chicago Press, 2008.
- [72] V. J. Ramírez-Durán, I. Berges et A. Illarramendi, « Towards the implementation of Industry 4.0: A methodology-based approach oriented to the customer life cycle », *Computers in Industry*, vol. 126, p. 103403, 2021.
- [73] E. Rauch, P. Dallasega et M. Unterhofer, « Requirements and Barriers for Introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises », *IEEE Engineering Management Review*, vol. 47, no. 3, pp. 87-94, article no. 8778720, 2019.
- [74] N. M. Razali et Y. B. Wah, « Power comparisons of Shapiro–Wilk, Kolmogorov–Smirnov, Lilliefors and Anderson–Darling tests », *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, vol. 2, no. 1, pp. 21-33, 2011.
- [75] A. Rousseau et S. Gamache, « L'accès à la technologie moderne pour les PME manufacturières », communication présentée au Colloque CIGI-QUALITA MOSIM 2023, Université du Québec à Trois-Rivières, Québec, QC, Canada, 2023.
- [76] M. Rübmann, M. Lorenz, P. Gerbert et M. Waldner, « Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries », Boston Consulting Group, Boston, MA, Rapport technique, 2015. [En ligne]. Disponible : https://web-assets.bcg.com/img-src/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm9-61694.pdf
- [77] C. Q. Schneider et C. Wagemann, *Set-theoretic Methods for the Social Sciences: A Guide to Qualitative Comparative Analysis of Necessary and Sufficient Conditions*, Cambridge : Cambridge University Press, 2010.
- [78] C. Q. Schneider et C. Wagemann, *Set-Theoretic Methods for the Social Sciences: A Guide to Qualitative Comparative Analysis (QCA)*, Cambridge : Cambridge University Press, 2012.
- [79] B. Schönfuß, D. McFarlane, G. Hawkrigde, L. Salter, N. Athanassopoulou et L. de Silva, « A catalogue of digital solution areas for prioritising the needs of manufacturing SMEs », *Computers in Industry*, vol. 133, article no. 103532, 2021.

- [80] H. Schuman et S. Presser, *Questions and Answers in Attitude Surveys: Experiments on Question Form, Wording, and Context*, New York, NY : Academic Press, 1981.
- [81] N. Schwarz et S. Sudman (dirs.), *Context Effects in Social and Psychological Research*, New York, NY : Springer-Verlag, 1992.
- [82] R. L. Sims, *Bivariate Data Analysis: A Practical Guide*, New York, NY : Nova Science Publishers, 2004.
- [83] K. M. Spens et G. Kovács, « A content analysis of research approaches in logistics research », *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 36, no. 5, pp. 374-390, 2006.
- [84] Statistique Canada, « Le secteur canadien de la fabrication poursuit sa progression », *Le Quotidien*, 18 décembre 2024. [En ligne]. Disponible : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/241218/dq241218c-fra.htm>
- [85] Statistique Canada, « Les investissements dans les actifs incorporels, 2000 à 2019 », *Le Quotidien*, 13 mars 2025. [En ligne]. Disponible : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/250313/dq250313d-eng.htm>
- [86] STIQ, *Baromètre industriel québécois : 16e édition – Un portrait unique du secteur manufacturier*, Montréal, QC : STIQ, 2025.
- [87] S. Sudman, N. M. Bradburn et N. Schwarz, *Thinking about Answers: The Application of Cognitive Processes to Survey Methodology*, San Francisco, CA : Jossey-Bass, 1996.
- [88] SurveyMonkey, « SurveyMonkey: The world's most popular free online survey tool », s.d. [En ligne]. Disponible : <https://www.surveymonkey.com>
- [89] D. Tedoldi, B. Kim, S. Sandoval, N. Forquet et B. Tassin, « Position paper: Common mistakes and solutions for a better use of correlation- and regression-based approaches in environmental sciences », *Environmental Modelling and Software*, vol. 192, p. 106526, 2025.
- [90] S. Teerasoponpong et A. Sopadang, « Decision support system for adaptive sourcing and inventory management in small- and medium-sized enterprises », *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 73, article no. 102226, 2022.
- [91] R. Tourangeau, L. J. Rips et K. Rasinski, *The Psychology of Survey Response*, Cambridge : Cambridge University Press, 2000.

- [92] M. Trstenjak, T. Opetuk, H. Cajner et M. Hegedić, « Industry 4.0 Readiness Calculation — Transitional Strategy Definition by Decision Support Systems », *Sensors*, vol. 22, no. 3, article no. 1185, 2022.
- [93] M. Tsakalerou, A. Abil, V. Ribiere, Y. Lukhmanov et N. Tynybayeva, « The innovation capability equation: A systematic review of global determinants of SMEs' success », *Journal of Innovation & Knowledge*, vol. 10, p. 100757, 2025.
- [94] J. Vrchota, P. Řehoř, M. Maříková et M. Pech, « Critical success factors of the project management in relation to industry 4.0 for sustainability of projects », *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 1, pp. 1-19, article no. 281, 2021.
- [95] A. Zagré, *Méthodologie de la recherche en sciences sociales : Manuel de recherche sociale à l'usage des étudiants*, Paris : L'Harmattan, 2013.
- [96] T. Zheng, M. Ardolino, A. Bacchetti et M. Perona, « The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review », *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 6, pp. 1922-1954, 2021.

ANNEXE I

Collecte de donnée

Tableau I.1 : Questionnaire

Section questionnaire	#	Question	Réponse
Profil répondant	0	Le nom de l'entreprise	Textbox court
	1	Indiquez votre statut au sein de l'entreprise.	Menu déroulant avec les choix suivants: Salarié, Actionnaire, Gestionnaire (tous les niveaux), Responsable ou participant dans l'équipe dédiée aux TIC/TMP/AÉ, Siège au conseil d'administration, Siège au comité de direction, Autre
	2	Quelle est votre ancienneté (années)?	Textbox court pour choix "Autre"
	3	Quel est votre plus haut niveau de scolarité?	Menu déroulant avec les choix suivants: Moins d'un an, D'un à 3 ans, De 3 à 5 ans, De 5 à 10 ans, Plus de 10 ans
Profil entreprise	4	Dans quelle région l'entreprise opère-t-elle?	Menu déroulant avec les choix suivants: Abitibi-Témiscamingue, Bas-Saint-Laurent, Capitale-Nationale, Centre-du-Québec, Chaudière-Appalaches, Côte-Nord, Estrie, Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Lanaudière, Laurentides, Laval, Mauricie, Montérégie, Montréal, Nord-du-Québec, Outaouais, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Autre Textbox court pour choix "Autre"
	5	Dans quel secteur l'entreprise opère-t-elle?	Menu déroulant secteurs code SCIAN avec les choix suivants: Agriculture, foresterie, pêche et chasse/ Extraction minière, exploitation en carrière, et extraction de pétrole et de gaz/ Services publics/ Construction/ Fabrication d'aliments/ Fabrication de boissons et de produits du tabac/ Usines de textiles/ Usines de produits textiles/ Fabrication de vêtements/ Fabrication de produits en cuir et de produits analogues/ Fabrication de produits en bois/ Fabrication du papier/ Impression et activités connexes de soutien/ Fabrication de produits du pétrole et du charbon/ Fabrication de produits chimiques/ Fabrication de produits en plastique et en caoutchouc/ Fabrication de produits minéraux non métalliques/ Première transformation des métaux/ Fabrication de machines/ Fabrication de produits informatiques et électroniques/ Fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques/ Fabrication de matériel de transport/ Fabrication de meubles et de produits connexes/ Activités diverses de fabrication/ Commerce de gros/ Transport et entreposage/ Industrie de l'information et industrie culturelle/ Finance et assurances/ Services immobiliers et services de location et de location à bail/ Services professionnels, scientifiques et techniques/ Gestion de sociétés et d'entreprises/ Services administratifs, services de soutien, services de gestion des déchets et services d'assainissement/ Services d'enseignement/ Soins de santé et assistance sociale/ Arts, spectacles et loisirs/ Services d'hébergement et de restauration/ Autres services/ Administrations publiques/ Autre Textbox court pour choix "Autre"
	6	Quelle est la taille de l'entreprise	Menu déroulant avec les choix suivants: 0 à 9, 10 à 19, 20 à 49, 50 à 99, 100 à 149, 150 à 200, 200 à 500, 500 et plus
	7	Quel est le chiffre d'affaires de l'entreprise?	Textbox court

Tableau I.1 : Questionnaire (suite)

Section questionnaire	#	Question	Réponse
Y (Var. dépendante)	8	Détaillez les trois dernières technologies modernes ayant été acquises. Dans chaque colonne, indiquez:	
		8.1: le projet technologique	Menu déroulant avec les choix suivants: (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, IA) Avec Textbox court pour ajouter un commentaire
		8.2: Année du projet	Textbox court
		8.3: Délai entre l'émergence du besoin et le « Go Live »	Menu déroulant avec les choix suivants: Moins d'un mois, 1 à 3 mois, 3 à 6 mois, 6 mois à 1 an, 1 à 2 ans, 2 à 5 ans
		8.4: Le coût total du projet.	Menu déroulant avec les choix suivants: Moins de 50K\$, 50K\$ à 100K\$, 100K\$ à 500K\$
		8.5: Le projet d'intégration technologique s'est bien déroulé?	Échelle de Likert de 1 à 5 comprenant les choix suivants: Totalement en désaccord, En désaccord, Neutre, Totalement en accord, Totalement en désaccord
		8.6: Classifiez le projet selon son degré de complexité.	Menu déroulant avec les choix suivants: Simple, Modéré, Complexe Avec déf: - Simple: "Ça s'est très bien passé. Je referais ce type de projet n'importe quand, en utilisant les mêmes ressources." - Modéré : "Ça s'est plutôt bien passé. Nous avons dû nous faire accompagner ici et là, mais somme toute, le projet s'est déroulé selon un degré de complexité acceptable." - Complexe : "Si c'était à refaire, nous ferions les choses de façon très différente et nous nous ferions accompagner par plus de ressources expertes. Le projet était lourd et difficile à réaliser"
	8.7: Commentaire	Textbox long non obligatoire	
X (Var. indépendantes)	9	Pour les projets de degré simple ayant été réalisés, au moment de la recherche de la technologique pouvant combler un besoin émergent dans votre entreprise...	
		9.1: Nous avons eu de la facilité à amasser l'information nécessaire pour choisir la meilleure technologie moderne	
		9.2: Nous avons collaboré avec d'autres entreprises (fournisseurs, clients ou autres) pour amasser assez d'information sur les technologies modernes pouvant combler notre besoin?	Échelle de Likert de 1 à 5 comprenant les choix suivants: Totalement en désaccord, En désaccord, Neutre, Totalement en accord, Totalement en désaccord

Tableau I.1 : Questionnaire (suite)

Section questionnaire	#	Question	Réponse
X (Var. indépendantes)	9	9.3: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à avoir la bonne information pour le choix technologique.	Échelle de Likert de 1 à 5 comprenant les choix suivants: Totallement en désaccord, En désaccord, Neutre, Totallement en accord, Totallement en désaccord
		9.4: La collaboration avec d'autres entreprises nous a permis de trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique.	
		9.5: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique.	
		9.6: La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de minimiser le coût.	
		9.7: La collaboration avec d'autres entreprises permise de simplifier et optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie.	
	10	9.8: La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie.	
		10.1: Toute l'information nécessaire nous a été communiquée clairement et au bon moment par le fournisseur de technologie.	
		10.2: Une grande partie de l'information nécessaire au succès de l'intégration de notre projet nous a été fournie par la collaboration avec d'autres entreprises (fournisseurs, clients, ou autres).	
		10.3: Une grande partie de l'information nécessaire au succès de l'intégration de notre projet nous a été fournie par des ressources gouvernementales.	
		10.4: Il a été possible de minimiser le coût de la technologie intégrée en collaborant avec d'autres entreprises (fournisseurs, clients, ou autres).	
		10.5: Il a été possible de minimiser le coût de la technologie intégrée grâce à l'aide fournie des ressources gouvernementales.	

Tableau I.1 : Questionnaire (suite)

Section questionnaire	#	Question	Réponse
	10	10.6: La location selon l'usage de la technologie nous a permis de minimiser le coût final de la technologie intégrée.	
		10.7: La collaboration avec d'autres entreprise nous a permis de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'intégration de la technologie.	
	10	10.8: La location selon l'usage de la technologie nous a permis de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'intégration de la technologie.	
		11.1: Nous avons eu de la facilité à amasser l'information nécessaire pour choisir la meilleure technologie moderne	
	11	11.2: Nous avons collaboré avec d'autres entreprises (fournisseurs, clients ou autres) pour amasser assez d'information sur les technologies modernes pouvant combler notre besoin?	
		11.3: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à avoir la bonne information pour le choix technologique.	
X (Var. indépendantes)	11	11.4: La collaboration avec d'autres entreprises nous a permis de trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique.	Échelle de Likert de 1 à 5 comprenant les choix suivants: Totalement en désaccord, En désaccord, Neutre, Totalement en accord, Totalement en désaccord
		11.5: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique.	
	11	11.6: La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de minimiser le coût.	
		11.7: La collaboration avec d'autres entreprises permise de simplifier et optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie.	
	11	11.8: La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie.	
		11.8: La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie.	
	12	12.1: Toute l'information nécessaire nous a été communiquée clairement et au bon moment par le fournisseur de technologie.	
	12	12.1: Toute l'information nécessaire nous a été communiquée clairement et au bon moment par le fournisseur de technologie.	

Tableau I.1 : Questionnaire (suite)

Section questionnaire	#	Question	Réponse
X (Var. indépendantes)	12	12.2: Nous avons collaboré avec d'autres entreprises (fournisseur, clients ou autres) pour s'assurer d'avoir toutes l'information nécessaire au succès de l'intégration.	Échelle de Likert de 1 à 5 comprenant les choix suivants: Totallement en désaccord, En désaccord, Neutre, Totallement en accord, Totallement en désaccord
		12.3: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à avoir toutes l'information nécessaire au succès de l'intégration?	
		12.4: La collaboration avec d'autres entreprises a permis de minimiser le coût de la technologie intégrée.	
		12.5: Les ressources gouvernementales nous ont aidés à minimiser le coût final de la technologie intégrée.	
		12.6: La location selon l'usage de la technologie nous a permis de minimiser le coût final de la technologie intégrée.	
		12.7: La collaboration avec d'autres entreprise nous a permis de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'intégration de la technologie.	
		12.8: La location selon l'usage de la technologie nous a permis de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'intégration de la technologie.	
		13	
	13.2: Nous avons collaboré avec d'autres entreprises (fournisseurs, clients ou autres) pour amasser assez d'information sur les technologies modernes pouvant combler notre besoin?		
	13.3: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à avoir la bonne information pour le choix technologique.		
	13.4: La collaboration avec d'autres entreprises nous a permis de trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique.		
	13.5: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique.		
	13.6: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à trouver une/ des solution/s minimisant le coût technologique.		

Tableau I.1 : Questionnaire (suite)

Section questionnaire	#	Question	Réponse
X (Var. indépendantes)	13	<p>Pour les projets de degré complexe ayant été réalisés, au moment de la recherche de la technologie pouvant combler un besoin émergent dans votre entreprise...</p> <p>13.6: La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de minimiser le coût.</p> <p>13.7: La collaboration avec d'autres entreprises permise de simplifier et optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie.</p> <p>13.8: La location selon notre usage de la technologie était une option considérée permettant de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'acquisition de la technologie.</p>	
	14	<p>Pour les projets de degré complexe ayant été réalisés, au moment du Go Live/ début de l'intégration) d'une technologie moderne dans votre entreprise...</p> <p>14.1: Toute l'information nécessaire nous a été communiquée clairement et au bon moment par le fournisseur de technologie.</p> <p>14.2: Nous avons collaboré avec d'autres entreprises (fournisseur, clients ou autres) pour s'assurer d'avoir toutes l'information nécessaire au succès de l'intégration.</p> <p>14.3: Les ressources gouvernementales nous ont aidé à avoir toutes l'information nécessaire au succès de l'intégration?</p> <p>14.4: La collaboration avec d'autres entreprises a permis de minimiser le coût de la technologie intégrée.</p> <p>14.5: Les ressources gouvernementales nous ont aidés à minimiser le coût final de la technologie intégrée.</p> <p>14.6: La location selon l'usage de la technologie nous a permis de minimiser le coût final de la technologie intégrée.</p> <p>14.7: La collaboration avec d'autres entreprise nous a permis de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'intégration de la technologie.</p> <p>14.8: La location selon l'usage de la technologie nous a permis de simplifier et d'optimiser la gestion des ressources pour l'intégration de la technologie.</p>	Échelle de Likert de 1 à 5 comprenant les choix suivants: Totalement en désaccord, En désaccord, Neutre, Totalement en accord, Totalement en désaccord
Autres	15	Commentaires	Menu déroulant avec les choix suivants: Oui, Non
	16	Demande d'autorisation pour contact le répondant au besoin	Textbox court non obligatoire
	17	Courriel du répondant	Textbox court non obligatoire

Figure I.1 : Lettre de présentation

Bonjour,

En tant qu'étudiante à la maîtrise en génie industriel à l'UQTR, je mène actuellement une **recherche sur l'intégration des technologies de l'industrie 4.0 au sein des PME manufacturières**.

Le but de cette étude est de cibler les actions concrètes dont vous devriez prioriser pour accélérer vos intégrations technologiques dans le contexte actuel.

Afin de m'aider à identifier ces actions, je vous invite à répondre à un court sondage de **10 minutes** : <https://fr.surveymonkey.com/r/59R893K>
Vos réponses seront traitées de manière confidentielle.

En échange de votre précieux temps, je vous partagerai le secret de l'accélération numérique en PME en primeur! 😊

S'il-vous-plaît partager cet hyperlien avec d'autres professionnels de votre réseau qui pourraient être concernés par cette étude.

Votre contribution est précieuse pour éclairer notre compréhension de ce sujet complexe.

N'hésitez pas à me contacter ([redacted]) si vous avez des questions ou avez besoin de plus d'informations.

Merci beaucoup pour votre temps et votre expertise. Votre participation est essentielle pour le succès des PME manufacturières.

Cordialement,

Alexandra Rousseau | Ingénieure Industrielle
Département de génie industriel | Université du Québec à Trois-Rivières

[redacted] | www.uqtr.ca

3351, boul. des Forges, C.P. 500, Trois-Rivières (Québec) G8Z 4M3



Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)													
0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	7	15	16
Entr- eprise	Titre répondant	Autre	Ancie nneté répon dant	Scolarité répondant	Autre	Région	Autre	Secteur	Autre	Nombre d'employé	Chiffre d'affaires	Commentaires	Peux contacter?
1	Gestionnaire (tous les niveaux)		Plus de 10 ans	Collégial		Amérique du Nord	Amérique du Nord	Construction		200 à 500	130 Millions		
2	Gestionnaire (tous les niveaux)		Plus de 10 ans	Collégial		Centre-du- Québec		Impression et activités connexes de soutien		20 à 49	16,8 M		Non
3	Gestionnaire (tous les niveaux)		De 3 à 5 ans	Collégial		Centre-du- Québec		Fabrication de matériel de transport Fabrication de produits en plastique et en caoutchouc		50 à 99	15M		Oui
4	Actionnaire		Plus de 10 ans	Secondaire		Centre-du- Québec		Première transformati on des métaux		50 à 99	16		Non
5	Actionnaire		De 5 à 10 ans	Universitaire 1er cycle		Centre-du- Québec				50 à 99	10M		
6	Directeur des opérations	Directeur des opérations	De 5 à 10 ans	Collégial		Saguenay- Lac-Saint- Jean		Foresterie		50 à 99	17 millions	Aucun	Oui

Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)													
0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	7	15	16
Entr- eprise	Titre répondant	Autre	Ancienneté répondant	Scolarité répondant	Autre	Région	Autre	Secteur	Autre	Nombre d'employé	Chiffre d'affaires	Commentaires	Peux contacter?
7	Gestionnaire (tous les niveaux)		De 5 à 10 ans	Universitaire 2e cycle		Centre-du- Québec		Activités diverses de fabrication		100 à 149	<50M		Oui
8	Gestionnaire (tous les niveaux)		D'un à 3 ans	Universitaire 1er cycle		Chaudière- Appalaches		Première transformation des métaux		200 à 500	40 000 000	Il est clair qu'une PME peut difficilement assumer seul les coûts reliés au 4.0 si elle est le moindrement en avance sur les autres.	Oui
9	Actionnaire		Plus de 10 ans	Universitaire 1er cycle		International	International	Transport et entreposage		500 et plus	100M et plus		
10	Actionnaire		Plus de 10 ans	Universitaire 1er cycle		Centre-du- Québec		Agriculture		100 à 149	8E+07		Non
11	Gestionnaire (tous les niveaux)		Plus de 10 ans	Universitaire 2e cycle		Laurentides		Activités diverses de fabrication		50 à 99	\$10M	Pas facile	Non
12	Accompagnateur en intégration technologique	Accompagnateur en intégration technologique	Moins d'un an	Universitaire 2e cycle		Mauricie		Construction		20 à 49	3 M	Projet 3 en cours (2024)	Oui
13	Salarié		D'un à 3 ans	Secondaire		Montréal		Fabrication de machines		100 à 149			Oui

Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)													
0 Entr- prise	1 Titre répondant	1 Autre	2 Ancienneté répondant	3 Scolarité répondant	3 Autre	4 Région	4 Autre	5 Secteur	5 Autre	6 Nombre d'employé	7 Chiffre d'affaires	15 Commentaires	16 Peux contacter?
14	Siège au comité de direction		De 5 à 10 ans	Universitai re 2e cycle		Mauricie		Fabrication de produits en bois		50 à 99	45 000 000	Verbaliser les types de technologie. Il est difficile pour des personnes non initiées de comprendre ces termes globaux Les simples étaient 1 et 3 mais je ne suis pas capable de modifier les réponses.	Oui
15	Gestionnair e (tous les niveaux)		Plus de 10 ans	Universitai re 1er cycle		Mauricie		Fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques		200 à 500	>50M		Oui
16	Gestionnair e (tous les niveaux)		De 3 à 5 ans	Universitai re 1er cycle		Capitale- Nationale		Construction		10 à 19	4000000		

Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)													
0 Entr- prise	1 Titre répondant	1 Autre	2 Ancienneté répondant	3 Scolarité répondant	3 Autre	4 Région	4 Autre	5 Secteur	5 Autre	6 Nombr e d'emplo yé	7 Chiffre d'affaires	15 Commentaires	16 Peux contacter?
17	Gestionnaire (tous les niveaux)		Plus de 10 ans	Professionnel	Professionnel	Lanaudière		Commerce de gros		20 à 49	1,2E+07	Nous appartenons à un fabricant de composantes hydrauliques Italien. Notre succursale du Canada fait des opérations de distribution seulement, avec un léger procédé d'assemblage et test.	Oui
18	Coordonnateur amélioration continue/adjoint au directeur des opérations	Coordonnateur amélioration continue/adjoint au directeur des opérations	De 5 à 10 ans	DEP	DEP	Chaudière-Appalaches		Transformation de métal en feuille (découpe, pliage, roulage, soudage, assemblage, etc.)	Transformation de métal en feuille (découpe, pliage, roulage, soudage, assemblage, etc.)	50 à 99	15 millions	Aucun commentaire à ajouter	Oui

Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)													
0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	7	15	16
Entr- prise	Titre répondant	Autre	Ancienneté répondant	Scolarité répondant	Autre	Région	Autre	Secteur	Autre	Nomb- re d'empl- oyé	Chiffre d'affaires	Commentaires	Peux contacter?
19	Gestionnaire (tous les niveaux)		Plus de 10 ans	Universitaire 2e cycle		Centre-du- Québec		Fabrication de meubles et de produits connexes		50 à 99	1,2E+07		Oui
20	Gestionnaire (tous les niveaux)		De 3 à 5 ans	Universitaire 1er cycle		Mauricie		Fabrication de boissons et de produits du tabac		0 à 9	7000000	Nous y croyons et nous allons poursuivre des investissements dans cette direction.	Oui
21	Gestionnaire (tous les niveaux)		De 5 à 10 ans	Universitaire 1er cycle		Centre-du- Québec		Fabrication de meubles et de produits connexes		20 à 49	10-15M	Complété le sondage avec des technologies intégrées. Cela dit, nous sommes à différents stades sur différents projets, Cobots, monitoring machine via IOT, Logiciel GED	Oui
22	Actionnaire		Plus de 10 ans	Universitaire 1er cycle		Centre-du- Québec		Fabrication de produits en plastique et en caoutchouc		20 à 49	10 000 000		
23	Actionnaire		De 3 à 5 ans	Universitaire 2e cycle		Centre-du- Québec		Fabrication de meubles et de produits connexes		50 à 99	22 000 000		Oui
24	Gestionnaire (tous les niveaux)		De 5 à 10 ans	Universitaire 2e cycle		Montréal		Construction		50 à 99	10M\$	Merci de me garder informer des résultats!	Oui
25	Actionnaire		De 5 à 10 ans	Universitaire 1er cycle		Montréal		Fabrication d'aliments		50 à 99	20 000 000\$		

Tableau I.2 : Données brutes recueillies; profil répondant et entreprise (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)													
0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	7	15	16
Entr- eprise	Titre répondant	Autre	Ancienneté répondant	Scolarité répondant	Autre	Région	Autre	Secteur	Autre	Nombre d'employé	Chiffre d'affaires	Commentaires	Peux contacter ?
26	Actionnaire		Plus de 10 ans	Universitaire 1er cycle		Montérégie		Fabrication de matériel de transport		20 à 49	4000000	Les fournisseurs rencontrés sont souvent peu compétents dans les nouvelles technologies. Beaucoup de promesse et peu de résultats.	Oui
27	Actionnaire		D'un à 3 ans	Secondaire		Montérégie		Fabrication de meubles et de produits connexes		0 à 9	1,2 millions		
28	Actionnaire		Plus de 10 ans	Collégial		Montérégie		Aéronautique manufacturier	Aéronautique manufacturier	20 à 49	6,5M		Oui
29	Actionnaire		Plus de 10 ans	Universitaire 1er cycle		Montérégie		Première transformation des métaux		50 à 99	8E+07	CRIQ nous à fait perdre un temps fou	Non
30	Actionnaire		Plus de 10 ans	Universitaire 1er cycle		Centre-du- Québec		Fabrication de machines		50 à 99	N/A	C'est des projets qui sont toujours plus complexes et plus long que prévu	Non

Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																
0	Technologie #1					Technologie #2					Technologie #3					8.7
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	
1	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2018	1 à 2 ans	500K\$ à 1M\$	Neutre	Cybersécurité	2015	1 à 2 ans	50K\$ à 100K\$	Neutre	Robot autonome	2012	1 à 3 mois	100K\$ à 500K\$	En accord	Ce sont des dates approximatives
2	Cybersécurité	2024	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	En accord	IoT (Internet des Objets)	2024	6 mois à 1 an	100K\$ à 500K\$	En accord	IoT (Internet des Objets)	2022	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	Neutre	
3	Robot autonome	2024	6 mois à 1 an	100K\$ à 500K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2014	6 mois à 1 an	50K\$ à 100K\$	En accord	Cybersécurité	2024	1 à 2 ans	50K\$ à 100K\$	En accord	
4	Cloud	2023	1 à 2 ans	50K\$ à 100K\$	Neutre	Cybersécurité	2023	Moins d'un mois	Moins de 50K\$	Neutre	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2010	1 à 2 ans	50K\$ à 100K\$	En accord	Le cloud et la cybersécurité faisaient partie du même projet
5	Robot autonome	2020	1 à 2 ans	100K\$ à 500K\$	En accord	Cloud	2022	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	En accord	Robot autonome	2024	6 mois à 1 an	50K\$ à 100K\$	En accord	

Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																
0	Technologie #1					Technologie #2					Technologie #3					8.7
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	
6	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2020	3 à 6 mois	50K\$ à 100K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2022	6 mois à 1 an	50K\$ à 100K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2023	1 à 3 mois	100K\$ à 500K\$	En accord	
7	Cybersécurité	2023	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2022	1 à 2 ans	100K\$ à 500K\$	En accord	Cloud	2024	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	En accord	
8	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2023	6 mois à 1 an	100K\$ à 500K\$	En accord	Cybersécurité	2022	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2024	3 à 6 mois	50K\$ à 100K\$	En accord	
9	Robot autonome	2014	1 à 2 ans	100K\$ à 500K\$	Totalement en accord	Cybersécurité	2012	1 à 2 ans	500K\$ à 1M\$	Totalement en accord	Simulation	2012	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	Totalement en accord	

Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																
0	Technologie #1					Technologie #2					Technologie #3					8.7
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	
10	Cloud	2023	1 à 2 ans	Moins de 50K\$	En désaccord	Cybersécurité	2023	6 mois à 1 an	50K\$ à 100K\$	Totalement en accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2022	2 à 5 ans	100K\$ à 500K\$	En désaccord	
11	Simulation	2019	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	En accord	Fabrication Additive	2017	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	Totalement en accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2007	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	Neutre	
12	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2023	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	Neutre	Cloud	2022	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2024	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	En accord	
13	Cybersécurité	2023	Moins d'un mois	50K\$ à 100K\$	Totalement en accord	Cloud	2024	Moins d'un mois	Moins de 50K\$	Totalement en accord	Simulation	2024	1 à 3 mois	50K\$ à 100K\$	Totalement en accord	

Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																
0	Technologie #1					Technologie #2					Technologie #3					8.7
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	
14	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2023	3 à 6 mois	50K\$ à 100K\$	En accord	Cybersécurité	2022	6 mois à 1 an	100K\$ à 500K\$	Totalement en accord	Cloud	2022	Moins d'un mois	Moins de 50K\$	Totalement en accord	
15	Fabrication Additive	2015	2 à 5 ans	Moins de 50K\$	Totalement en accord	Robot autonome	2020	1 à 2 ans	100K\$ à 500K\$	En désaccord	Cloud	2019	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	Totalement en accord	
16	Simulation	2024	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2024	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	Totalement en désaccord	Cloud	2017	1 à 2 ans	Moins de 50K\$	Totalement en désaccord	
17	Cloud	2020	1 à 2 ans	Moins de 50K\$	En accord	Simulation	2024	2 à 5 ans	Moins de 50K\$	Neutre	Cybersécurité	2015	Moins d'un mois	Moins de 50K\$	Totalement en accord	
18	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2016	6 mois à 1 an	50K\$ à 100K\$	Neutre	Robot autonome	2023	3 à 6 mois	50K\$ à 100K\$	En accord	Cybersécurité	2023	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	En accord	

Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																
0	Technologie #1					Technologie #2					Technologie #3					8.7
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	
19	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2013	2 à 5 ans	100K\$ à 500K\$	En désaccord	Robot autonome	2014	1 à 2 ans	100K\$ à 500K\$	En désaccord	Cybersécurité	2013	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	En accord	
20	Cybersécurité	2023	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	Totalement en accord	Cloud	2020	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2022	1 à 2 ans	100K\$ à 500K\$	En accord	nous avons acquis des équipements qui nous ont permis d'automatiser une ligne d'embouteillage
21	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	Avant 2000	1 à 2 ans	Moins de 50K\$	Neutre	Cloud	2014	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	En accord	Fabrication Additive	2021	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	Totalement en accord	ERP - Orchestra, Nicobois avait servit de cobaye pour développer la plateforme. Coûts - / Temps +, je peux te revenir avec plus de détails aux besoins, on s'entend que je n'étais pas là lors de la mise en place...
22	Robot autonome	2022	6 mois à 1 an	500K\$ à 1M\$	Neutre	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2009	1 à 2 ans	Moins de 50K\$	Neutre	Cybersécurité	2020	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	En accord	

Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																
0	Technologie #1					Technologie #2					Technologie #3					8.7
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	
23	Robot autonome	2023	3 à 6 mois	100K\$ à 500K\$	Totalement en accord	Big Data Analytics	2024	3 à 6 mois	Moins de 50K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2023	6 mois à 1 an	50K\$ à 100K\$	Neutre	
24	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2024	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	Neutre	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2023	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	En désaccord	Cloud	2016	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	Totalement en accord	Très peu de projets technologiques chez STROSS pour le moment. Ayant un backgroup en TI, je connais la valeur ajoutée de l'utilisation de ceux-ci.
25	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2024	1 à 2 ans	100K\$ à 500K\$	Totalement en accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2023	6 mois à 1 an	100K\$ à 500K\$	Totalement en accord	Robot autonome	2020	1 à 3 mois	100K\$ à 500K\$	En accord	

Tableau I.3 : Données brutes recueillies; projets technologiques (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																
0	Technologie #1					Technologie #2					Technologie #3					8.7
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	
26	Robot autonome	2022	1 à 2 ans	100K\$ à 500K\$	Totalement en désaccord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2021	2 à 5 ans	50K\$ à 100K\$	Neutre	Intelligence Artificielle	2022	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	En accord	L'implantation des nouvelles technologies dans mon entreprise manufacturière est souvent décevante.
27	Robot autonome	2023	1 à 3 mois	100K\$ à 500K\$	En désaccord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2023	3 à 6 mois	50K\$ à 100K\$	En accord	Réalité augmentée	2022	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	En accord	
28	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2022	6 mois à 1 an	100K\$ à 500K\$	En accord	Intelligence Artificielle	2023	3 à 6 mois	100K\$ à 500K\$	Neutre	Cybersécurité	2021	6 mois à 1 an	Moins de 50K\$	En accord	
29	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2022	2 à 5 ans	500K\$ à 1M\$	Neutre	Cloud	2023	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	En désaccord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2020	6 mois à 1 an	100K\$ à 500K\$	En accord	
30	Robot autonome	2020	3 à 6 mois	100K\$ à 500K\$	En accord	Intégration horizontale & verticale numérique (ERP, MES, APS ,etc.)	2020	6 mois à 1 an	100K\$ à 500K\$	En accord	IoT (Internet des Objets)	2021	1 à 3 mois	Moins de 50K\$	Totalement en accord	

Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																						
0	8.6 SIMPLE Techno#1	8.6 SIMPLE Techno#2	8.6 SIMPLE Techno#3	8.6 SIMPLE aucune	8.7	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	
1				Aucune																		
2	Technologie #1				Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	En accord	Totalement en désaccord	Neutre	Totalement en accord	Neutre	Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Neutre	En accord	En accord	
3	Technologie #1				En accord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	En accord	Totalement en désaccord	Neutre	Totalement en désaccord	Neutre	En accord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	En accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord
4				Aucune																		
5	Technologie #2																					
6	Technologie #3				En accord	En accord	En accord	En accord	En accord	Neutre	En accord	En accord	Très variable selon le projet	En accord	En accord	En accord	En accord	En accord	Neutre	En accord	Neutre	

Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																					
0	8.6 SIMPLE Techno#1	8.6 SIMPLE Techno#2	8.6 SIMPLE Techno#3	8.6 SIMPLE aucune	8.7	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8
7	Tech nologie #1	Tech nologie #3			En accord	En accord	En accord	En accord	Neutre	En désaccord	En accord	En désaccord	En accord	En accord	En désaccord	En accord	En désaccord	En accord	En accord	Neutre	
8		Tech nologie #3			En accord	En accord	Neutre	Neutre	Neutre	Totalement en désaccord	En accord	En désaccord	Totalement en accord	Totalement en accord	En désaccord	En désaccord	Totalement en accord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	
9		Tech nologie #3			Totalement en accord	Totalement en accord	Neutre	Totalement en accord	Neutre	En désaccord	Totalement en accord	En désaccord	En accord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	En désaccord	Totalement en accord	
10	Tech nologie #2				Totalement en accord	En désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	En accord	Totalement en désaccord
11	Tech nologie #2				Totalement en accord	En accord	Neutre	Neutre	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord
12	Tech nologie #2				En accord	Neutre	En désaccord	En désaccord	En désaccord	Neutre	Totalement en désaccord	Totalement en accord	En accord	En accord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	Totalement en accord	En désaccord	En accord
13	Tech nologie #1				Totalement en accord	Totalement en accord	En accord	Totalement en accord	En accord	Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en accord	En accord	Totalement en accord	En désaccord	Neutre	En désaccord	En accord	En accord	Totalement en accord

Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																					
0	8.6 SIMPLE Techno#1	8.6 SIMPLE Techno#2	8.6 SIMPLE Techno#3	8.6 SIMPLE aucune	8.7	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8
14		Tech nologie #2				En accord	En accord	En désaccord	En accord	En désaccord	En accord	Neutre	En accord	En accord	En accord	En désaccord	En accord	En désaccord	Neutre	En désaccord	
15		Tech nologie #2				En accord	En accord	En désaccord	Neutre	En désaccord	Très variable selon le projet	En désaccord	Très variable selon le projet	Neutre	En accord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En accord	En accord	
16				Aucune																	
17	Tech nologie #1	Tech nologie #2	Tech nologie #3			En accord	Totalement en accord	En désaccord	En accord	En désaccord	En accord	En accord	En accord	En accord	En désaccord	En désaccord	En accord	En désaccord	En accord	En accord	
18				Aucune																	
19			Tech nologie #3			Totalement en accord	Totalement en accord	Neutre	Totalement en accord	En désaccord	En accord	Neutre	En accord	Totalement en accord	Neutre	En accord	En accord	En désaccord	En accord	En accord	
20	Tech nologie #1	Tech nologie #2	Tech nologie #3	Aucune		Totalement en désaccord	En désaccord	Totalement en accord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	Totalement en accord	En désaccord	Totalement en accord	En accord	Totalement en accord	En désaccord	Totalement en accord	

Tableau I.4 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité simple (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																					
0	8.6 SIMPLE Techno#1	8.6 SIMPLE Techno#2	8.6 SIMPLE Techno#3	8.6 SIMPLE aucune	8.7	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8
28	Tech nologie #1		Tech nologie #3		Neutre	Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	En accord	Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en accord	En désaccord	Totalement en accord	En désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en accord	En accord
29		Tech nologie #2			Très variable selon le projet	Totalement en accord	Totalement en désaccord	Neutre	En accord	En désaccord	En désaccord	En accord	En accord	En désaccord	En désaccord	Totalement en désaccord	Neutre	Neutre	En désaccord	Neutre	En désaccord
30			Tech nologie #3		En désaccord	En accord	En accord	Neutre	En accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	En accord	En désaccord	En désaccord	Neutre	Neutre	En accord	Totalement en désaccord	Neutre	Neutre

Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré

			Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																		
0	8.6-MODÉRÉ Techno#1	8.6-MODÉRÉ Techno#2	8.6-MODÉRÉ Techno#3	8.7	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	
1	Technologie #1	Technologie #2																			
2			Aucune																		
3		Technologie #2	Technologie #3	En accord	Totalement en accord	Neutre	Totalement en désaccord	En désaccord	En accord	Totalement en désaccord	Totalement en accord	En accord	En accord	En accord	Très variable selon le projet	En accord	En désaccord	En accord	Totalement en désaccord	Totalement en accord	Totalement en accord
4	Technologie #1	Technologie #2	Technologie #3	Totalement en accord	En accord	Totalement en désaccord	En accord	En accord	Très variable selon le projet	En accord	En accord	Totalement en accord	Neutre	Très variable selon le projet	En accord	Totalement en désaccord	Très variable selon le projet	En accord	En accord	En accord	En accord
5	Technologie #1																				
6		Technologie #2		En accord	En accord	En accord	En accord	En accord	Neutre	En accord	Neutre	En accord	En accord	En accord	En accord	En accord	En accord	Neutre	Neutre	Neutre	Neutre

Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré (suite)

		Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																			
0	8.6-MODÉRÉ Techno#1	8.6-MODÉRÉ Techno#2	8.6-MODÉRÉ Techno#3	8.7	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	
7				Aucune																	
8	Technologie #1	Technologie #2		En accord	En accord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	Neutre	En désaccord	En désaccord	En accord	En désaccord	En accord	En désaccord	En accord	En désaccord
9	Technologie #1																				
10	Technologie #1	Technologie #3		En désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	En accord	Totalement en désaccord	En accord	Très variable selon le projet	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	En accord	Totalement en désaccord	En accord	En accord
11	Technologie #1	Technologie #3		Totalement en accord	Totalement en accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en accord	En accord	En accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord
12	Technologie #1	Technologie #3		En désaccord	En accord	Neutre	Neutre	Neutre	Totalement en accord	En désaccord	Totalement en accord	Totalement en accord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En accord	En accord	En accord	En accord	En accord

Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																				
0	8.6-MODÉRÉ Techno#1	8.6-MODÉRÉ Techno#2	8.6-MODÉRÉ Techno#3	8.7	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8
20				Aucune																
21		Technologie #2		En désaccord	En désaccord	En désaccord	Neutre	En désaccord	En désaccord	Neutre	En désaccord	Neutre	Neutre	Neutre	En désaccord	Neutre	En désaccord	En désaccord	Neutre	En désaccord
22	Technologie #1	Technologie #2	Technologie #3																	
23			Technologie #3	En accord	En accord	En accord	Neutre	Neutre	En désaccord	Neutre	En désaccord	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet
24				Aucune																
25																				
26	Technologie #1	Technologie #2		Totalement en désaccord	En accord	Totalement en désaccord	En désaccord	En désaccord	Totalement en désaccord	En désaccord	En désaccord	Totalement en désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	Totalement en désaccord	En désaccord	Totalement en désaccord

Tableau I.5 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité modéré (suite)

			Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																	
0	8.6-MODÉRÉ Techno#1	8.6-MODÉRÉ Techno#2	8.6-MODÉRÉ Techno#3	8.7	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8
27	Technologie #2	Technologie #3																		
28																				
29	Technologie #1			Neutre	Neutre	Totalement en désaccord	En accord	Neutre	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord
30	Technologie #2			En accord	Neutre	En accord	Neutre	En accord	Totalement en désaccord	Neutre	Totalement en désaccord	Neutre	En accord	Neutre	En accord	Neutre	Totalement en désaccord	Neutre	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord

Tableau I.6 : Données brutes recueillies; projets technologiques de degré de complexité complexe (suite)

Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)																				
0	8.6-COMPLEXE Techno#1	8.6-COMPLEXE Techno#2	8.6-COMPLEXE Techno#3	8.7	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8
23				Aucune																
24				Aucune																
25																				
26				Aucune																
27																				
28		Technologie #2		Totalement en désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	Totalement en désaccord	Neutre	En désaccord	Neutre	En désaccord	En accord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	Totalement en désaccord	En accord	En désaccord	En accord
29			Technologie #3	En désaccord	Très variable selon le projet	Totalement en désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord	Très variable selon le projet	Très variable selon le projet	En désaccord	Neutre	En désaccord	En désaccord	En désaccord	En désaccord
30		Technologie #2		Neutre	En accord	En désaccord	Neutre	Neutre	Neutre	En accord	Neutre	Neutre	Neutre	En accord	Neutre	Neutre	En accord	En désaccord	En accord	En désaccord

ANNEXE II

Variables

Tableau II.1 : Définition des variables

Variable	Code	Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)	Définition	Réponse	Type de donnée
Y	Y-DÉLAI	8.3	Délai entre l'émergence du besoin en technologie 4.0 et l'intégration de cette technologie « Go Live »	Légende (Moins d'un mois (6), 1 à 3 mois (5), 3 à 6 mois (4), 6 mois à 1 an (3), 1 à 2 ans (2), 2 à 5 ans (1))	Quantitatif
X1	X-FI-É	9.1 11.1 13.1	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau d'accès à l'information que le fournisseur d'une technologie a fourni à l'entreprise pour y répondre	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X2	X-CI-É	9.2 11.2 13.2	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau d'accès à l'information offerte par un collaborateur quelconque pour le projet d'intégration y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X3	X-GI-É	9.3 11.3 13.3	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau d'accès à l'information offerte par le gouvernement (ressource quelconque gouvernementale) à l'entreprise pour l'aider	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X4	X-CC-É	9.4 11.4 13.4	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel la collaboration avec une autre entreprise a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X5	X-GC-É	9.5 11.5 13.5	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel l'aide gouvernementale a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X6	X-SC-É	9.6 11.6 13.6	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel l'utilisation d'un modèle tel que la servicisation a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X7	X-CM-É	9.7 11.7 13.7	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel la collaboration avec une autre entreprise a permis d'optimiser la gestion managériale pour la solution y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X8	X-SM-É	9.8 11.8 13.8	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise, le niveau auquel l'utilisation d'un modèle tel la servicisation a permis d'optimiser la gestion managériale pour la solution y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X9	X-FI-É	10.1 12.1 14.1	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau d'accès à l'information que le fournisseur d'une technologie a fourni à l'entreprise pour y répondre	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X10	X-CI-G	10.2 12.2 14.2	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau d'accès à l'information offerte par un collaborateur quelconque pour le projet d'intégration y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X11	X-GI-G	10.3 12.3 14.3	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau d'accès à l'information offerte par le gouvernement (ressource quelconque gouvernementale) à l'entreprise pour l'aider	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X12	X-CC-G	10.4 12.4 14.4	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel la collaboration avec une autre entreprise a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X13	X-GC-G	10.5 12.5 14.5	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel l'aide gouvernementale a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X14	X-SC-G	10.6 12.6 14.6	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel l'utilisation d'un modèle tel que la servicisation a permis de minimiser le coût de la solution technologique y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)

Tableau II.1 : Définition des variables (suite)

Variable	Code	Numéro en référence au questionnaire (Tableau 17)	Définition	Réponse	Type de donnée
X15	X-CM-G	10.7 12.7 14.7	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel la collaboration avec une autre entreprise a permis d'optimiser la gestion managériale pour la solution y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X16	X-SM-G	10.8 12.8 14.8	Lors du « Go Live » d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise, le niveau auquel l'utilisation d'un modèle tel la servicisation a permis d'optimiser la gestion managériale pour la solution y répondant	Échelle likert (Totalemment en désaccord (1), Désaccord (2), Neutre ou NA (3), Daccord (4), Totalemment en accord (5))	Ordinale (Likert)
X17	X-ANNÉE	8.2	L'année d'intégration de la technologie 4.0	2025 (Année actuelle) - Année réponse du répondant	Quantitative discrète
X18	X-TECHNO	8.1	La technologie 4.0	Selon légende (Cybersécurité (1), IoT (2), Intégration verticale (ERP) (3), Robot autonome (4), Cloud (5), Simulation (6), Fabrication additive (7), IA (8))	Nominal
X19	X-COMPLEX	8.6	Le degré de complexité de la technologie 4.0 intégrée	Choix de réponse: Simple (1), Modéré (2), Complexe (3)	Nominal
X20	X-COÛT	8.4	Le coût de la technologie 4.0 intégrée	Branches choix de réponse: (Moins de 50K\$ (1), 50K\$ à 100K\$ (2), 100K\$ à 500K\$ (3))	Quantitative discrète
X21	X-ÉVAL	8.5	L'évaluation subjective de l'intégration technologique par le répondant	Échec likert Est-ce que bon déroulement global? (Totalemment d'accord (5), D'accor (4), Neutre (3), En désaccord (2), Totalemment en désacord (1))	Ordinale (Likert)

ANNEXE III

Résultats

Tableau III.1 : Analyse descriptive complète des variables observées

Variable	Détail	Moy.	Méd.	SD	Var.
Y	Délai	3,49	3	1,332	1,775
X1	Émergence Accès info. Fournisseur	3,57	4	1,345	1,81
X2	Émergence Accès info. Collaborateur	3,76	4	1,193	1,424
X3	Émergence Accès info. Gouv.	2,59	3	1,219	1,487
X4	Émergence Coût Collaborateur	3,06	3	1,156	1,336
X5	Émergence Coût Gouv.	2,39	2	0,94	0,883
X6	Émergence Coût Servicisation	2,75	3	1,181	1,394
X7	Émergence Managérial Collaborateur	2,9	3	1,221	1,49
X8	Émergence Managérial Servicisation	2,96	3	1,248	1,558
X9	« Go Live » Accès info. Fournisseur	3,47	4	1,376	1,894
X10	« Go Live » Accès info. Collaborateur	3,25	3	1,146	1,314
X11	« Go Live » Accès info. Gouv.	2,24	2	1,088	1,184
X12	« Go Live » Coût Collaborateur	3,06	4	1,207	1,456
X13	« Go Live » Coût Gouv.	2,49	2	1,317	1,735
X14	« Go Live » Coût Servicisation	2,88	3	1,306	1,706
X15	« Go Live » Managérial Collaborateur	3,24	4	1,258	1,584
X16	« Go Live » Managérial Servicisation	2,88	3	1,211	1,466
X17	Année d'intégration	4,9	3	4,981	24,81
X18	Technologie	3,39	3	1,866	3,483
X19	Complexité	1,73	2	0,75	0,563
X20	Coût	1,69	1	0,836	0,7
X21	Évaluation	3,75	4	0,845	0,714

Tableau III.2 : Résultats de l'analyse bivariée

Variable	Coef corr. Kendall (r)	Sig. Kendall	Coef corr. Spearman (r)	Sig. Spearman	Significatif? ($\rho < 0,05$)
X1	-0,001	0,993	0	0,997	Non
X2	-0,141	0,223	-0,174	0,223	Non
X3	0,103	0,368	0,135	0,344	Non
X4	0,247	0,033	0,304	0,03	Oui, à 0,05
X5	0,113	0,337	0,145	0,311	Non
X6	0,082	0,473	0,102	0,475	Non
X7	0,109	0,346	0,133	0,352	Non
X8	0,053	0,642	0,066	0,646	Non
X9	0,026	0,822	0,028	0,846	Non
X10	0,131	0,261	0,158	0,267	Non
X11	0,036	0,76	0,044	0,757	Non
X12	0,023	0,843	0,022	0,876	Non
X13	0,152	0,193	0,201	0,157	Non
X14	0,123	0,28	0,158	0,267	Non
X15	0,148	0,198	0,184	0,197	Non
X16	0,12	0,3	0,142	0,32	Non
X17	-0,132	0,235	-0,17	0,232	Non
X18	-0,059	0,608	-0,069	0,63	Non
X19	-0,171	0,157	-0,202	0,154	Non
X20	-0,391	0,001	-0,452	0,001	Oui, à 0,01
X21	0,324	0,007	0,378	0,006	Oui, à 0,01

ANNEXE IV

Discussion

Figure IV.1 : Analyse descriptive; Données intrantes SPSS

Nom	Type	Largeur	Décimales	
Y	Numérique	1	0	Délai entre émergence du besoin (techno) au Go live de l'intégration de la techno
X1	Numérique	1	0	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise le niveau d'accès à l'information c
X2	Numérique	1	0	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise le niveau d'accès à l'information c
X3	Numérique	1	0	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise le niveau d'accès à l'information c
X4	Numérique	1	0	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise le niveau auquel la collaboration
X5	Numérique	1	0	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise le niveau auquel l'aide gouverner
X6	Numérique	1	0	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise le niveau auquel l'utilisation d'un
X7	Numérique	1	0	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise le niveau auquel la collaboration
X8	Numérique	1	0	Lors de l'émergence d'un besoin dans l'entreprise le niveau auquel l'utilisation d'un
X9	Numérique	1	0	Lors du Go Live d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise le nivea
X10	Numérique	1	0	Lors du Go Live d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise le nivea
X11	Numérique	1	0	Lors du Go Live d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise le nivea
X12	Numérique	1	0	Lors du Go Live d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise le nivea
X13	Numérique	1	0	Lors du Go Live d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise le nivea
X14	Numérique	1	0	Lors du Go Live d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise le nivea
X15	Numérique	1	0	Lors du Go Live d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise le nivea
X16	Numérique	1	0	Lors du Go Live d'un projet d'intégration répondant au besoin de l'entreprise le nivea
X17	Numérique	2	0	Année integ techno (année directe)
X18	Numérique	1	0	Techno (Voir plus bas légende)
X19	Numérique	1	0	Degé complexité de la technologie intégrée
X20	Numérique	1	0	Coût de la technologie intégrée
X21	Numérique	1	0	Évaluation subjective de l'integration par le répondant

Figure IV.1 : Analyse descriptive; Données intrantes SPSS (suite)

	Valeurs	Manquant	Colonnes	Align	Mesure	Rôle
	{1, 2 à 5 an...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
entreprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
reprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
treprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
ntreprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
l'entreprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
'aider selon son besoin	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
idant au besoin de l'entreprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
Je l'entreprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
ondant au besoin de l'entreprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
pondant au besoin de l'entreprise	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
pondant au besoin de l'entreprsie	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée
	Aucun	Aucun	12	Droite	Nominales	Entrée
	{1, Cybersé...	Aucun	12	Droite	Nominales	Entrée
	{1, Simple}...	Aucun	12	Droite	Nominales	Entrée
	{1, Moins d...	Aucun	12	Droite	Nominales	Entrée
	{1, Totalem...	Aucun	12	Droite	Echelle	Entrée

Tableau IV.1 : Analyse descriptive; Test de fiabilité Cronbach

Variable	Moyenne de l'échelle en cas de suppression d'élément	Variance de l'échelle en cas de suppression d'élément	Corrélation complète des éléments corrigés	Alpha de Cronbach en cas de suppression d'élément
X1	43,92	69,234	0,115	0,732
X2	43,73	70,603	0,079	0,733
X3	44,9	66,21	0,298	0,712
X4	44,43	67,73	0,239	0,717
X5	45,1	65,05	0,507	0,695
X6	44,75	62,474	0,522	0,689
X7	44,59	62,487	0,499	0,69
X8	44,53	62,534	0,482	0,692
X9	44,02	69,46	0,099	0,735
X10	44,24	68,384	0,207	0,72
X11	45,25	68,874	0,197	0,721
X12	44,43	66,45	0,29	0,712
X13	45	66,2	0,265	0,716
X14	44,61	62,683	0,446	0,695
X15	44,25	63,514	0,425	0,698
X16	44,61	62,443	0,507	0,69

Tableau IV.2 : Analyse fsQCA; Données intramtes

Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
4	5	5	1	4	1	3	5	3	5	5	1	1	1	3	4	4
3	5	5	1	4	1	1	4	1	5	5	1	5	1	1	5	1
5	5	5	1	4	1	1	4	1	5	5	1	5	1	1	5	1
3	4	5	1	4	1	3	1	3	4	5	1	4	1	1	1	1
3	4	5	3	1	2	4	1	5	4	4	3	4	2	4	1	5
2	4	5	3	1	2	4	1	5	4	4	3	4	2	4	1	5
2	5	4	1	4	4	3	4	4	5	3	1	4	1	3	4	4
6	5	4	1	4	4	3	4	4	5	3	1	4	1	3	4	4
2	5	4	1	4	4	3	4	4	5	3	1	4	1	3	4	4
4	3	4	3	5	4	2	3	2	3	3	4	3	4	2	3	2
3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3
5	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3
3	4	4	4	4	3	2	4	2	4	4	2	4	2	4	4	3
2	5	5	2	3	2	2	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2
3	4	4	4	4	3	2	4	2	4	4	2	4	2	4	4	3
3	4	4	2	2	2	2	2	2	3	2	2	4	2	2	4	2
3	4	4	2	2	2	2	2	2	3	2	2	4	2	2	4	2
4	4	4	3	3	3	1	4	2	5	5	2	2	5	2	2	2
3	5	5	1	1	1	1	1	1	5	4	1	1	1	1	1	1
3	5	4	3	3	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1
3	5	5	1	1	1	1	1	1	5	4	1	1	1	1	1	1
5	2	4	3	3	3	5	2	5	1	2	2	2	4	4	2	4
4	4	3	2	2	2	3	1	5	4	4	2	2	2	5	2	4
5	2	4	3	3	3	5	2	5	1	2	2	2	4	4	2	4
4	4	4	2	4	2	4	2	4	4	4	2	4	2	4	4	4
3	4	4	2	4	2	4	3	4	4	4	2	4	2	2	3	2
6	4	4	2	4	2	4	2	4	4	4	2	4	2	4	4	4
2	4	5	2	4	2	4	4	4	4	2	2	4	2	4	4	4
1	4	5	2	4	2	4	4	4	4	2	2	4	2	4	4	4
6	4	5	2	4	2	4	4	4	4	2	2	4	2	4	4	4
3	2	2	3	3	3	3	2	3	4	4	3	4	3	2	3	3
4	5	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3
5	5	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3
1	4	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3
2	4	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3
4	5	5	3	5	2	4	3	4	5	3	4	4	2	4	4	4
5	1	2	5	2	2	2	2	2	5	2	5	4	5	2	5	2
4	1	2	5	2	2	2	2	2	5	2	5	4	5	2	5	2

Tableau IV.2 : Analyse fsQCA; Données intramtes (suite)

Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
2	1	2	5	2	2	2	2	2	5	2	5	4	5	2	5	2
2	3	3	2	3	2	2	4	2	3	3	2	4	2	2	4	2
5	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	2	3	2	2	3	2
5	4	3	4	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3
5	2	1	3	4	3	3	3	3	1	2	2	2	2	5	4	4
3	2	1	3	4	3	3	3	3	1	2	2	2	2	5	4	4
5	2	1	3	4	3	3	3	3	1	2	2	2	2	5	4	4
2	1	4	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1
1	1	4	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1
5	5	5	2	5	2	1	5	1	3	5	1	4	4	1	4	1
3	3	5	5	1	4	5	5	5	2	5	2	1	5	5	5	4
4	1	2	2	2	1	3	2	3	2	4	1	1	1	4	2	4
3	3	5	5	1	4	5	5	5	2	5	2	1	5	5	5	4

