

INVESTISSEMENT DANS LES
INNOVATIONS, CROISSANCE DE
LA PRODUCTIVITÉ TOTALE DES
FACTEURS ET COMMERCE
INTERNATIONAL DES PME
MANUFACTURIÈRES
QUÉBÉCOISES

ALPHONSE G. SINGBO
COKOU P. KPADÉ
LOTA D. TAMINI



Les rapports de projet sont destinés plus spécifiquement aux partenaires et à un public informé. Ils ne sont ni écrits à des fins de publication dans des revues scientifiques ni destinés à un public spécialisé, mais constituent un médium d'échange entre le monde de la recherche et le monde de la pratique.

Project Reports are specifically targeted to our partners and an informed readership. They are not destined for publication in academic journals nor aimed at a specialized readership, but are rather conceived as a medium of exchange between the research and practice worlds.

Le CIRANO est un organisme sans but lucratif constitué en vertu de la Loi des compagnies du Québec. Le financement de son infrastructure et de ses activités de recherche provient des cotisations de ses organisations-membres, d'une subvention d'infrastructure du gouvernement du Québec, de même que des subventions et mandats obtenus par ses équipes de recherche.

CIRANO is a private non-profit organization incorporated under the Quebec Companies Act. Its infrastructure and research activities are funded through fees paid by member organizations, an infrastructure grant from the government of Quebec, and grants and research mandates obtained by its research teams.

Les partenaires du CIRANO – CIRANO Partners

Partenaires corporatifs – Corporate Partners

*Autorité des marchés financiers
Banque de développement du Canada
Banque du Canada
Banque nationale du Canada
Bell Canada
BMO Groupe financier
Caisse de dépôt et placement du Québec
Énergir
Hydro-Québec
Innovation, Sciences et Développement économique Canada
Intact Corporation Financière
Investissements PSP
Manuvie Canada
Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie
Ministère des finances du Québec
Mouvement Desjardins
Power Corporation du Canada
Ville de Montréal*

Partenaires universitaires – Academic Partners

*École de technologie supérieure
École nationale d'administration publique
HEC Montréal
Institut national de la recherche scientifique
Polytechnique Montréal
Université Concordia
Université de Montréal
Université de Sherbrooke
Université du Québec
Université du Québec à Montréal
Université Laval
Université McGill*

Le CIRANO collabore avec de nombreux centres et chaires de recherche universitaires dont on peut consulter la liste sur son site web. CIRANO collaborates with many centers and university research chairs; list available on its website.

© Juin 2024. Alphonse G. Singbo, Cokou P. Kpadé et Lota D. Tamini. Tous droits réservés. *All rights reserved. Reproduction partielle permise avec citation du document source, incluant la notice ©. Short sections may be quoted without explicit permission, if full credit, including © notice, is given to the source.*

Les idées et les opinions émises dans cette publication sont sous l'unique responsabilité des auteurs et ne représentent pas les positions du CIRANO ou de ses partenaires. The observations and viewpoints expressed in this publication are the sole responsibility of the authors; they do not represent the positions of CIRANO or its partners.

ISSN 1499-8629 (version en ligne)

Investissement dans les innovations, croissance de la productivité totale des facteurs et commerce international des PME manufacturières québécoises

Alphonse G. Singbo^{†}, Cokou P. Kpadé^{*}, Lota D. Tamini^{*†}*

Résumé/Abstract

La question de la croissance de la productivité et de la compétitivité des entreprises manufacturières du Québec est un enjeu qui a guidé l'élaboration et la mise en œuvre de diverses politiques de développement économique au cours des dernières années. L'économie du Québec et celle des régions dépendent en grande partie de la capacité des entreprises manufacturières à pénétrer les marchés internationaux, à y rester et à performer durablement.

Dans ce rapport, les auteurs examinent l'impact des investissements en recherche et développement (R&D) et en technologies de l'information et de communication (TIC) sur les changements structurels d'utilisation des intrants, des coûts et des gains de productivité totale des facteurs (PTF) et évaluent si les gains générés ont un impact sur la destination et le volume des exportations des PME du secteur manufacturier du Québec. Ils s'appuient sur les données du Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux (FMLCN) de 2001 à 2022. Leurs analyses suggèrent un faible impact, voire un impact négatif, de l'investissement en R&D et en TIC sur la croissance de la PTF des entreprises manufacturières québécoises. Par ailleurs, une hausse de la PTF entraînerait une augmentation du nombre de destinations ou du nombre de produits exportés, mais seulement dans le cas des exportations à destination des états américains.

The issue of productivity growth and the competitiveness of Quebec manufacturing companies is one that has guided the development and implementation of various economic development policies in recent years. Québec's economy and that of the regions depend to a large extent on the ability of manufacturing companies to access, remain in and sustainably perform in international markets.

In this report, the authors examine the impact of investments in research and development (R&D) and information and communication technologies (ICT) on structural changes in input use, costs and total factor productivity (TFP) gains, and assess whether the gains generated have an impact on the destination and volume of exports by SMEs in Quebec's manufacturing sector. They use data from the National Accounts Longitudinal Microdata File (NALMF) from 2001 to

* Département d'économie agroalimentaire et des sciences de la consommation & Centre de Recherche en économie de l'Environnement, de l'Agroalimentaire, des Transports et de l'Énergie (CREATE), Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval

† Chercheur CIRANO

2022. Their analyses suggest that R&D and ICT investment have little, if any, impact on TFP growth for Quebec manufacturing companies. Furthermore, an increase in TFP would lead to an increase in the number of destinations or the number of products exported, but only in the case of exports to the US states.

Mots-clés/Keywords : Capital fixe, Leontief généralisé, R&D, Technologie de l'information et de la communication, Productivité totale de facteurs, Marge extensive, Marge intensive, Commerce international / Fixed capital, Generalized Leontief, R&D, Information and communication technology, Total factor productivity, Extensive margin, Intensive margin, International trade

Pour citer ce document / To quote this document

Singbo, A., Kpadé, C. P., & Tamini, L. (2024). Investissement dans les innovations, croissance de la productivité totale des facteurs et commerce international des PME manufacturières québécoises (2024RP-12, Rapports de projets, CIRANO.) <https://doi.org/10.54932/CZST7397>

TABLE DES MATIÈRES

1	CONTEXTE ET JUSTIFICATION	1
1.1	IMPORTANCE DE L'INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE DANS L'ÉCONOMIE DU QUÉBEC	1
1.2	UNE INDUSTRIE DOMINÉE PAR DES PME MANUFACTURIÈRES	4
1.3	UNE INDUSTRIE CONFRONTÉE À UNE FAIBLE PRODUCTIVITÉ ET COMPÉTITIVITÉ	5
1.4	L'ENJEU DE LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ AU CŒUR DES POLITIQUES PUBLIQUES ACTUELLES : UNE QUESTION D'INVESTISSEMENTS ET D'INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES	11
2	OBJECTIF ET INTÉRÊT DE L'ÉTUDE	13
3	APERÇU DE L'ANALYSE DE LA RELATION TRIPTYQUE : INNOVATION — PRODUCTIVITÉ — EXPORTATION	15
3.1	SUR LA RELATION ENTRE INNOVATION ET PRODUCTIVITÉ DES ENTREPRISES	16
3.2	SUR LA RELATION ENTRE PRODUCTIVITÉ ET EXPORTATION DES ENTREPRISES	17
3.3	SUR LA RELATION ENTRE INNOVATION ET EXPORTATION DES ENTREPRISES	19
4	MÉTHODOLOGIE	20
4.1	ESTIMATION ET ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE LA PTF	20
4.1.1	<i>Mesure des indices : ratios q, demande implicite d'intrants, élasticités et croissance de la PTF</i> 24	
4.1.2	<i>Méthodes d'estimations</i>	28
4.2	PRODUCTIVITÉ TOTALE DES FACTEURS ET PERFORMANCES À L'EXPORTATION DES PME MANUFACTURIÈRES QUÉBÉCOISES.....	30
4.2.1	<i>Impact de la productivité totale des facteurs sur la marge extensive</i>	30
4.2.2	<i>Impact de la productivité totale des facteurs sur la valeur des exportations (marge intensive)</i>	31
4.3	DONNÉES ET VARIABLES	31
5	RÉSULTATS	35
5.1	RATIOS Q , DEMANDE IMPLICITE D'INTRANTS.....	35
5.2	EFFETS D'ÉCHELLE ET DU PROGRÈS TECHNIQUE	38
5.3	CROISSANCE DE LA PTF.....	39
5.4	IMPACT DE LA PRODUCTIVITÉ TOTALE DES FACTEURS SUR LES DIFFÉRENTES MESURES DE MARGE EXTENSIVE	42
5.5	IMPACT DE LA PRODUCTIVITÉ TOTALE DES FACTEURS SUR LA VALEUR DES EXPORTATIONS (MARGE INTENSIVE)	43
6	DISCUSSION	44
6.1	IMPACTS FAIBLES DE L'INVESTISSEMENT EN R&D ET EN INFORMATION TECHNOLOGIQUE	44
6.2	RIGIDITÉ DE L'INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE QUÉBÉCOISE DANS L'UTILISATION DES RESSOURCES	45
6.3	ROBUSTESSE DU MODÈLE D'ANALYSE DE LA PRODUCTIVITÉ ET CONDITIONS DE RÉGULARITÉ	47
6.4	MODÈLES DE COMMERCE	47
7	CONCLUSION ET IMPLICATIONS DE POLITIQUES	48
8	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	50
9	ANNEXES	57
	ANNEXE 1 : LISTE DES SECTEURS D'ENTREPRISES CONCERNÉS (SCIAN 31-33)	57
	ANNEXE 2 : DONNÉES DE COMMERCE SELON LES CARACTÉRISTIQUES DES EXPORTATEURS (2005-2018).....	57
	ANNEXE 3 : DONNÉES DU FICHIER DE MICRODONNÉES LONGITUDINALES DES COMPTES NATIONAUX (FMLCN) — 2000-2018.....	58
	ANNEXE 4 : COMPOSANTES DE LA CROISSANCE DE LA PTF ET LEUR CALCUL	61
	ANNEXE 5: ESTIMATION DES PARAMÈTRES ET INDICES	62
	ANNEXE 6 : CODE ISO DES PAYS/ÉTATS DE DESTINATION POTENTIELS DES EXPORTATIONS	68

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL, SECTEUR DE LA FABRICATION, CANADA, QUÉBEC ET ONTARIO, 1997=100, 1997-2022	7
TABLEAU 2 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ MULTIFACTORIELLE DU SECTEUR DE LA FABRICATION, QUÉBEC, ONTARIO, 2012 = 100, 2000-2021	8
TABLEAU 3 : DONNÉES ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES ASSOCIÉES (SORTIES).....	35
TABLEAU 4 : MESURE DE CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ TOTALE DES FACTEURS.	39
TABLEAU 5 : TAUX DE CROISSANCE DE LA PRODUCTION ET DES INTRANTS.....	41
TABLEAU 6 : CONTRIBUTIONS DE LA CROISSANCE DES INTRANTS	42
TABLEAU 7 : RÉSULTATS DES ESTIMATIONS DU MODÈLE DE MARGE EXTENSIVE	43
TABLEAU 8 : RÉSULTATS DE L'ESTIMATION DU MODÈLE DE MARGE INTENSIVE	44
TABLEAU 9 : PARAMÈTRES D'ESTIMATIONS	62
TABLEAU 10 : VALEURS MOYENNES DES DEMANDES IMPLICITES (SHADOW VALUES) DES QUATRE INTRANTS FIXES : INVESTISSEMENT EN <i>R&D</i> , L'INFORMATION TECHNOLOGIQUE (<i>O</i>), AUTRES ÉQUIPEMENTS (<i>E</i>) ET LES BÂTIMENTS DE LA FIRME (<i>S</i>), LES 6 ÉLASTICITÉS CROISÉES ET L'ÉLASTICITÉ DU CHANGEMENT R&D POUR CHAQUE ANNÉE	63
TABLEAU 11 : VALEURS MOYENNES DES ÉLASTICITÉS CROISÉES OUTPUT-INPUT, ÉLASTICITÉS CROISÉES DES INTRANTS FIXES-VARIABLES ET ÉLASTICITÉS TOTALES DES FIRMES À SAVOIR LES TROIS ÉLASTICITÉS CROISÉES DES INTRANTS VARIABLES ET L'ÉLASTICITÉ DU CHANGEMENT TECHNOLOGIQUE PAR ANNÉE.....	65
TABLEAU 12 : CODE ISO DES PAYS/ÉTATS DE DESTINATION.....	68

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : EXPORTATIONS INTERNATIONALES DE BIENS DU QUÉBEC, G\$ COURANT	1
FIGURE 2 : STRUCTURE DES EXPORTATIONS DE BIENS ET SERVICES DU QUÉBEC, G\$ COURANT.....	2
FIGURE 3 : VENTE DE BIENS FABRIQUÉS AU QUÉBEC, G\$ COURANT	3
FIGURE 4 : VALEUR DES EXPORTATIONS INTERNATIONALES TOTALES DE MANUFACTURES DU QUÉBEC, G\$ COURANT	3
FIGURE 5 : ÉVOLUTION DU NOMBRE D'ENTREPRISES DU SECTEUR MANUFACTURIER AU QUÉBEC	5
FIGURE 6 : NOMBRE DE SALARIÉS (MILLIERS), SECTEUR MANUFACTURIER QUÉBÉCOIS	5
FIGURE 7 : NIVEAU DE TECHNOLOGIE DES BIENS MANUFACTURÉS EXPORTÉS VERS L'ÉTRANGER	9
FIGURE 8 : DÉPENSES EN INVESTISSEMENTS DES ENTREPRISES MANUFACTURIÈRES DU QUÉBEC, G\$ COURANT	10
FIGURE 9 : ÉVOLUTION DES DÉPENSES EN IMMOBILISATIONS ET RÉPARATIONS, ACTIFS CORPORELS NON RÉSIDENTIELS EN PROPORTION DU PIB DES ENTREPRISES MANUFACTURIÈRES, 2006-2022, CANADA, QUÉBEC, ONTARIO	10
FIGURE 10 : DÉPENSES EN R&D EN PROPORTION DU PIB, 1981-2023, CANADA, QUÉBEC, ONTARIO, ÉTATS-UNIS.....	11

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : LISTE DES SECTEURS D'ENTREPRISES CONCERNÉS (SCIAN 31-33)	57
ANNEXE 2 : DONNÉES DE COMMERCE SELON LES CARACTÉRISTIQUES DES EXPORTATEURS (2005-2018)	57
ANNEXE 3 : DONNÉES DU FICHIER DE MICRODONNÉES LONGITUDINALES DES COMPTES NATIONAUX (FMLCN) — 2000-2018	58
ANNEXE 4 : COMPOSANTES DE LA CROISSANCE DE LA PTF ET LEUR CALCUL	61
ANNEXE 5 : ESTIMATION DES PARAMÈTRES ET INDICES	62
ANNEXE 6 : CODE ISO DES PAYS/ÉTATS DE DESTINATION POTENTIELS DES EXPORTATIONS	68

LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

3SLS :	THREE-STAGE LEAST SQUARE
CCE :	COMMERCE SELON LES CARACTÉRISTIQUES DES EXPORTATEURS
CIRANO :	CENTRE INTERUNIVERSITAIRE DE RECHERCHE EN ANALYSE DES ORGANISATIONS
FMLCN :	FICHIER DE MICRODONNÉES LONGITUDINALES DES COMPTES NATIONAUX
G\$:	MILLIARDS DE DOLLARS CANADIENS
OCDE	ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES
PIB :	PRODUIT INTÉRIEUR BRUT
PME :	PETITE ET MOYENNE ENTREPRISE
PMF :	PRODUCTIVITÉ MULTIFACTORIELLE
PPML:	PSEUDO POISSON MAXIMUM LIKELIHOOD
PTF :	PRODUCTIVITÉ TOTALE DES FACTEURS
R&D :	RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT
SCIAN :	SYSTÈME DE CLASSIFICATION DES INDUSTRIES D'AMÉRIQUE DU NORD
TIC :	TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

REMERCIEMENTS

Cette étude a été entièrement financée par le Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO) à travers le projet intitulé « Investissement dans les innovations, croissance de la productivité totale des facteurs et commerce international des PME manufacturières québécoises » (MinFin 8099). Les auteurs expriment leurs sincères remerciements au CIRANO.

Les points de vue exprimés dans ce rapport sont ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement ceux du CIRANO, de ses membres ou du ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie (MEIE).

1 Contexte et justification

1.1 Importance de l'industrie manufacturière dans l'économie du Québec

Le Québec a exporté pour environ 126 G\$ de biens vers les marchés internationaux en 2022 (Figure 1) ; ce qui représente environ 80 % de ses exportations de biens et services (Figure 2) (Institut de la Statistique du Québec, 2020). Environ, 27 % des emplois dépendent de ces exportations, dont environ 15 % des exportations internationales (ministère de l'Économie et de l'Innovation, 2021). Ces exportations internationales sont responsables de plus de 17 % de la valeur ajoutée au PIB, soit 63,5 G\$ en 2016. Le commerce international de biens est donc fondamental dans la croissance économique du Québec : en 2018, le nombre d'établissements exportateurs du Québec était de 10 984, soit 21,7 % du total canadien ; 42 % des établissements exportateurs appartiennent au secteur manufacturier contre près de 58 % qui appartiennent au secteur non manufacturier ; 79 % des établissements exportateurs du Québec exportaient vers l'Amérique du Nord et près de 28 % vers l'Europe ; 78,2 % de l'ensemble des établissements exportaient vers les États-Unis (Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2023a).

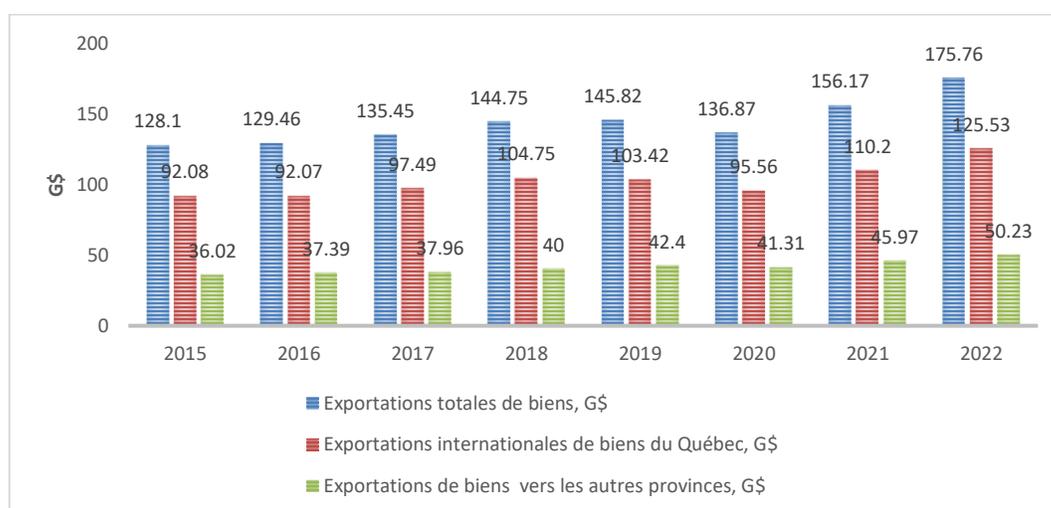


Figure 1 : Exportations internationales de biens du Québec, G\$ courant

Source : Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2023a

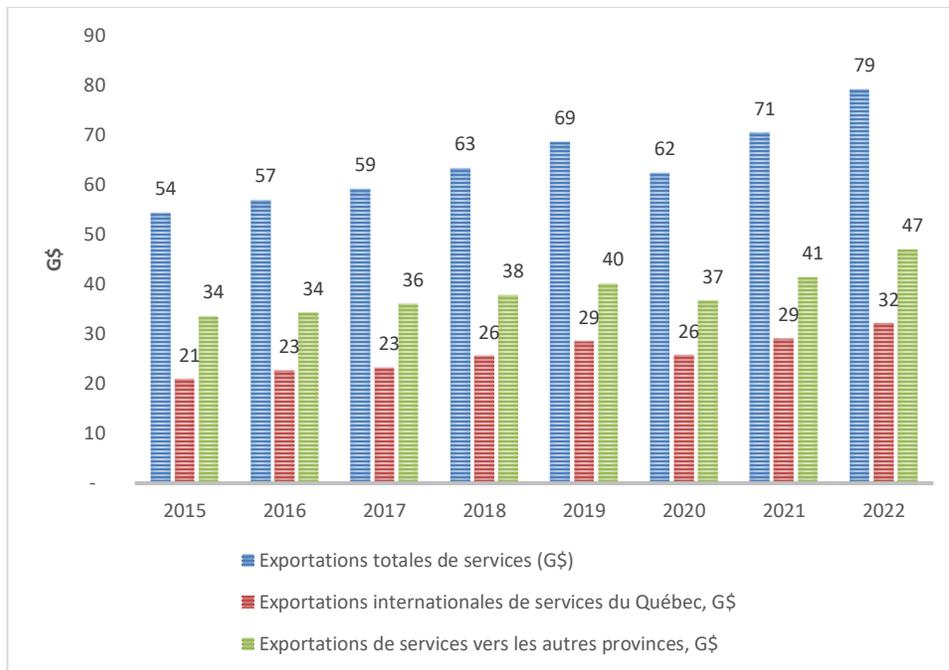


Figure 2 : Structure des exportations de biens et services du Québec, G\$ courant
 Source : Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2023a

Dans cette dynamique de croissance économique du Québec, le secteur manufacturier, considéré comme le deuxième secteur d'activité en importance, demeure l'un des secteurs qui produit le plus de richesse (Institut de la Statistique du Québec, 2022). Le PIB manufacturier était de 60,91 G\$, soit une contribution de 13,0 % au PIB du Québec en 2021. Les ventes totales des manufactures au Québec totalisent 213 G\$ (Figure 3) contre 367 G\$ pour l'Ontario en 2022 (Statistique Canada, Tableau 16-10-0048-01). Les régions de la Chaudière-Appalaches (25,6 %), du Centre-du-Québec (24,3 %), de l'Estrie (19,5 %) et du Saguenay-Lac-Saint-Jean (19,5 %) affichent les parts les plus élevées du PIB provenant du secteur manufacturier alors que le Nord-du-Québec (4,0 %), l'Outaouais (3,8 %) et la Capitale-Nationale (7,4 %) ont les parts du PIB les plus faibles (Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2023b). Les régions du Québec effectuent une bonne partie de leurs ventes manufacturières entre elles et avec le reste du Canada. Historiquement, le Québec et l'Ontario sont les destinations privilégiées des ventes des manufactures québécoises au Canada, soit 78,85 G\$ (65,6 %) pour le Québec, 28,0 G\$ (23,3 %) pour l'Ontario, et 13,32 G\$ (11,1 %) pour le reste du Canada en 2021 (Institut de la Statistique du Québec, 2022). Les livraisons à l'étranger (USA et autres pays) totalisent 72,64 G\$ en 2021, soit 59,0 % des livraisons totales hors Québec (Institut de la Statistique du Québec, 2022).

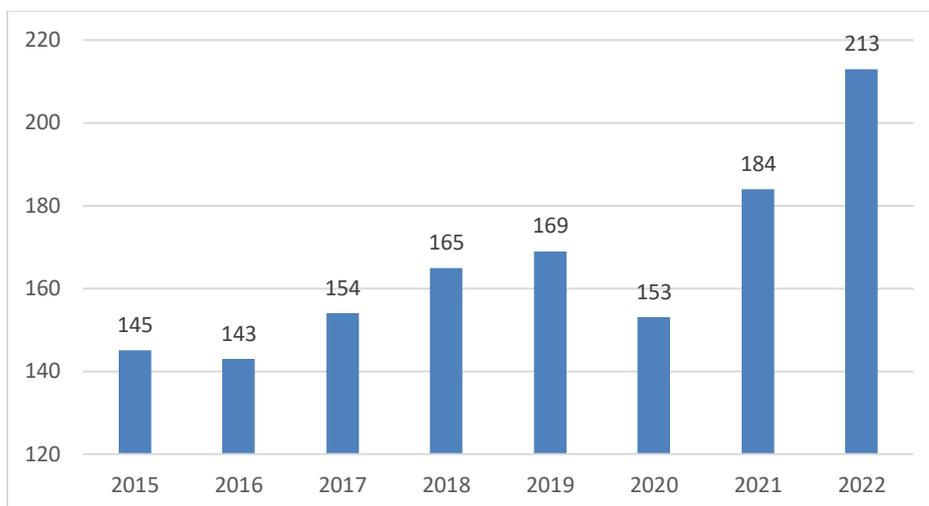


Figure 3 : Vente de biens fabriqués au Québec, G\$ courant

Source : STIQ, 2023

La part des ventes destinées au marché étranger est la plus importante (Figure 4), soit 38 % (72,6 G\$) des ventes totales contre 21 % (41,3 G\$) pour les autres provinces. Les États-Unis sont la destination étrangère privilégiée des ventes des manufactures québécoises à l'étranger : soit 72,0 % des ventes de biens fabriqués (52,5 G\$) et 28 % aux autres pays étrangers (20,1 G\$) en 2022.

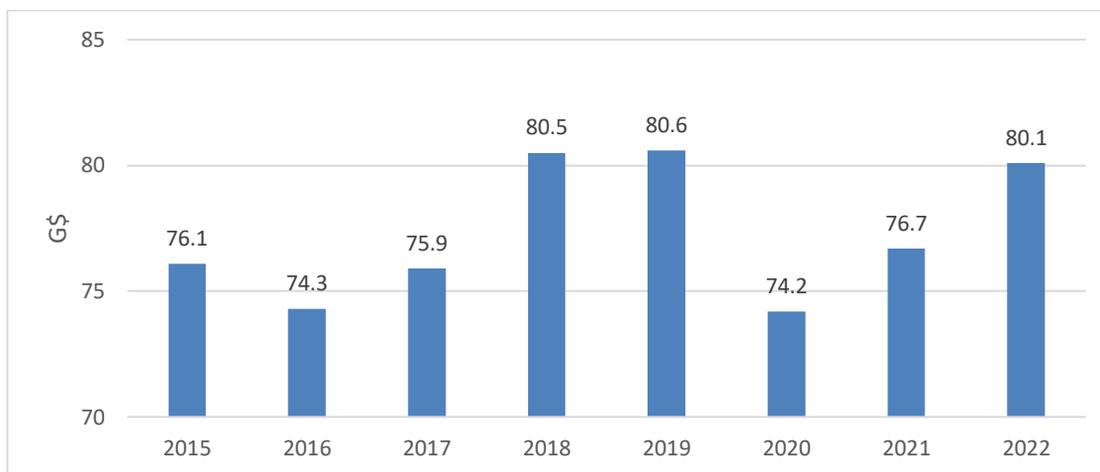


Figure 4 : Valeur des exportations internationales totales de manufactures du Québec, G\$ courant

Source : STIQ, 2023

En 2022, 87 % des exportations québécoises étaient attribuables au secteur manufacturier (STIQ, 2023). Ainsi, l'économie du Québec et celle des régions manufacturières dépendent en grande partie de la capacité des entreprises à pénétrer les marchés internationaux, à y rester et à performer durablement. Toutefois, compte tenu des développements actuels des accords commerciaux régionaux et internationaux entre le Canada et les autres pays, dont, notamment, le

nouvel Accord Canada-États-Unis-Mexique (ACEUM) qui a subi de vives discussions de réaménagement, les industries manufacturières canadiennes, en général, et celles québécoises, en particulier, doivent se positionner à l'avant-garde pour bénéficier des avantages d'accès qu'offrent ces marchés.

1.2 Une industrie dominée par des PME manufacturières

Les petites et moyennes entreprises (PME³) jouent un rôle prépondérant dans cette dynamique et forment la base du tissu économique de la province. Les microentreprises et les PME constituent 98 % de l'ensemble des entreprises manufacturières du Québec, dont le nombre a chuté ces dernières années (Figure 5). Sur un total de 13 755 entreprises manufacturières (employeurs avec salariés) en 2022, soit 27 % du total canadien, 270 entreprises (2,0 %) avaient plus de 250 employés ; 9 224 entreprises (67,1 %) avaient entre 5 à 249 employés contre 4 261 entreprises (31,0 %) avec 1 à 4 employés (Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2023b). Ces PME génèrent plus de 85 % des emplois du secteur privé. Le secteur industriel québécois employait près de 440 000 salariés en 2022 (Figure 6), soit 11,1 % des emplois totaux du Québec et 28,3 % des emplois manufacturiers canadiens, procurant ainsi un salaire hebdomadaire moyen⁴ de 6,4 % supérieur à la moyenne québécoise (STIQ, 2023). La majorité des PME manufacturières produit des biens destinés à la consommation finale (49,6 %), à la transformation complexe (37,0 %) et à la transformation des ressources naturelles (13,4 %).

³ Statistique Canada définit les petites entreprises comme des établissements comptant de 5 à 99 employés, les moyennes entreprises comptant de 100 à 499 employés. Les PME combinent ces deux catégories d'entreprises.

⁴ Soit 1 178 \$ contre 1 107 \$

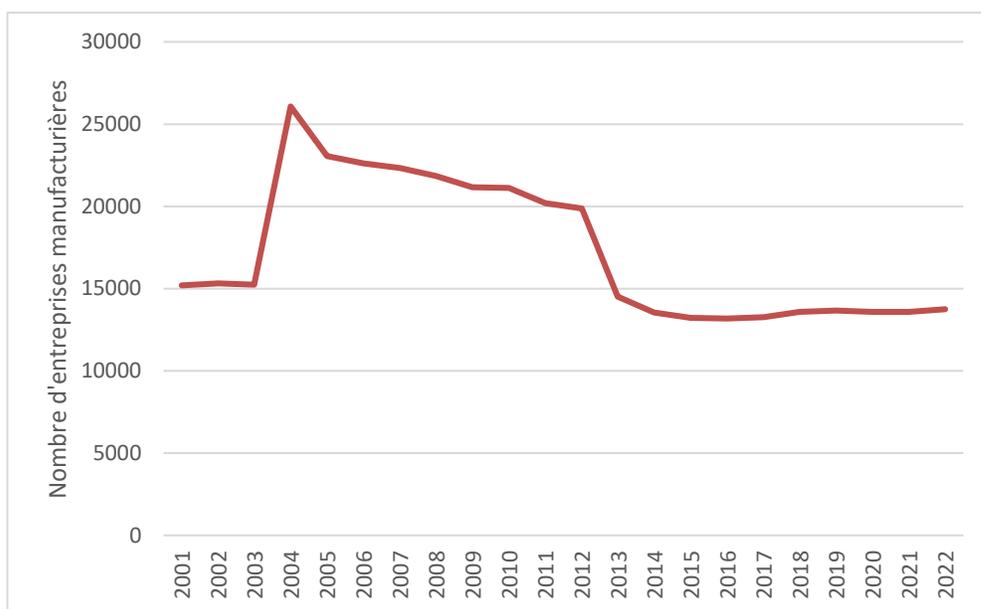


Figure 5 : Évolution du nombre d'entreprises du secteur manufacturier au Québec
 Source : Statistique Canada, Tableaux 33-10-0037-01, 33-10-0105-01 et 16-10-0038-01

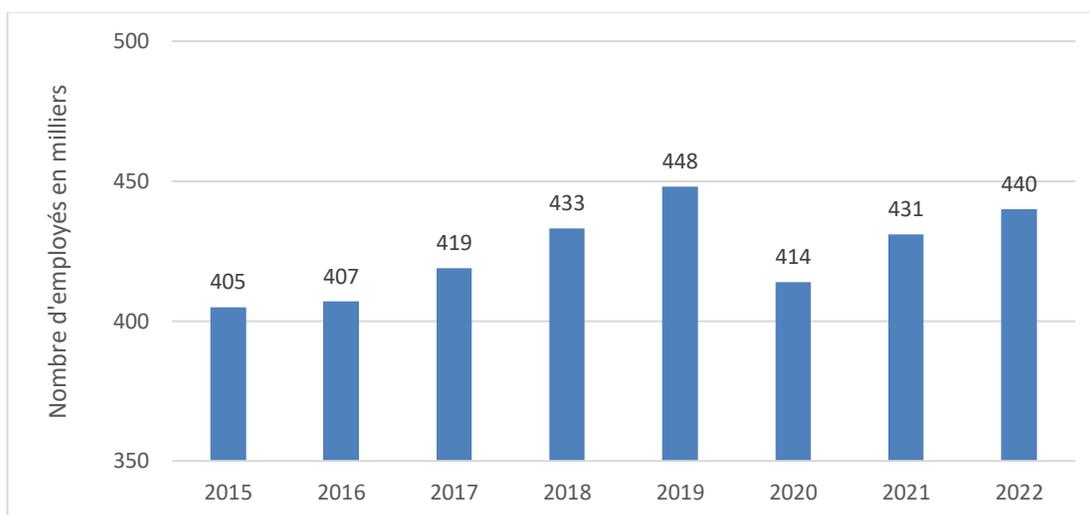


Figure 6 : Nombre de salariés (milliers), secteur manufacturier québécois
 Source : STIQ, 2023

1.3 Une industrie confrontée à une faible productivité et compétitivité

Les PME sont au cœur du problème de la croissance de la productivité et de compétitivité pourtant nécessaires à leur plus forte insertion dans les chaînes de valeur mondiales. La croissance de productivité des PME dépend de plusieurs facteurs, dont la productivité du travail, de l'influence du capital, des changements technologiques, de l'innovation organisationnelle et des économies d'échelle. Entre

1997 et 2007, le Tableau 1 montre que la productivité du travail⁵ du secteur manufacturier au Québec a augmenté à un rythme légèrement supérieur à l'Ontario et à la moyenne canadienne, malgré une pause au début des années 2000. De 2007 à 2015, on observe une baisse de la croissance de la productivité du travail comparativement à l'Ontario et à la moyenne canadienne. Cette baisse de la productivité du travail dans l'industrie manufacturière au Québec demande donc de s'interroger sur les performances à l'exportation des firmes québécoises. Toutefois, la croissance économique dans l'Ontario et dans le reste du Canada a été plus affectée par la pandémie de la COVID-19 en 2020 puisqu'on observe une légère augmentation de la croissance de la productivité du travail dans le secteur manufacturier au Québec entre 2015-2022. Les mesures de relance post-pandémiques semblent avoir été plus bénéfiques au Québec que dans le reste du Canada, et une amélioration de l'écart de productivité a commencé à être observée (STIQ, 2023).

⁵ Selon Statistique Canada, la productivité du travail est une mesure du PIB réel par heure travaillée dans le secteur de la fabrication. Des hausses de productivité du travail sont observées lorsque la production de biens et services s'accroît plus vite que le volume de travail consacré à cette production. La productivité du travail est par conséquent une notion d'efficacité qui fait référence au rendement du système de production par rapport à la quantité de travail utilisé. Son amélioration constitue l'une des pierres angulaires de la compétitivité d'une industrie.

Tableau 1 : Évolution de la productivité du travail, secteur de la fabrication, Canada, Québec et Ontario, 1997=100, 1997-2022

Année	Canada	Québec	Ontario
1997=100			
1997	100,0	100,0	100,0
1998	105,0	104,9	105,0
1999	111,7	115,0	112,7
2000	119,2	119,5	120,4
2001	118,0	120,5	117,7
2002	120,7	119,5	122,0
2003	119,0	118,2	120,2
2004	121,5	120,9	121,0
2005	125,9	125,6	126,0
2006	128,4	127,1	128,9
2007	128,0	129,2	126,6
2008	129,9	134,0	126,4
2009	125,3	131,1	121,4
2010	129,2	127,5	127,7
2011	132,8	129,2	131,8
2012	134,9	131,1	134,1
2013	136,7	129,6	133,7
2014	141,3	134,5	139,7
2015	141,3	133,6	141,0
2016	141,3	131,5	142,2
2017	142,2	132,3	142,2
2018	142,6	131,9	144,5
2019	142,6	134,9	143,9
2020	148,6	138,5	150,9
2021	145,3	138,7	146,4
2022	145,3	140,6	145,3
TCAM ¹ 1997-2007	2,3	2,4	2,2
TCAM ¹ 2007-2015	1,1	0,4	1,2
TCAM ¹ 2015-2022	0,4	0,6	0,4

¹ Taux de croissance annuel moyen

Source : Statistique Canada, Tableau 36-10-0480-01

Si l'on tient compte des différences en matière d'intensité des facteurs, les données en dessous de 100 en Ontario entre 2000 et 2010 montrent qu'il y a de la croissance. Pour le Québec cependant, les années précédentes avaient des valeurs parfois supérieures montrant une décroissance par rapport à la référence (Tableau 2). En revanche, la croissance moyenne devient plus significative en Ontario en comparaison avec celle du Québec entre 2010 et 2021. Cette faible croissance de la productivité au

Québec pourrait être due à un ensemble de facteurs, tels que le retard technologique, les faibles investissements et les coûts des facteurs (Baldwin & Green, 2008).

Tableau 2 : Évolution de la productivité multifactorielle du secteur de la fabrication, Québec, Ontario, 2012 = 100, 2000-2021

Année	Québec	Ontario
2012=100		
2000	104,16	97,33
2001	103,45	94,04
2002	102,82	97,75
2003	98,67	95,56
2004	100,30	95,94
2005	103,31	98,22
2006	103,1	97,73
2007	103,99	94,45
2008	106,82	92,52
2009	101,30	86,18
2010	100,31	91,85
2011	100,09	96,26
2012	100	100
2013	98,56	101
2014	101,34	105,92
2015	101,59	107,33
2016	101,47	109,32
2017	102,16	110,59
2018	103,38	111,52
2019	103,90	110,51
2020	100,43	106,587
2021	101,90	103,71
TCAM 2000-2010	-0,33	-0,02
TCAM 2010-2021	0,14	1,05

Source : Statistique Canada, Tableau 36-10-0211-01

Ainsi, depuis plus de 20 ans, le problème de productivité qui entrave la croissance économique du Québec ne semble pas en voie de se résorber alors que son origine a pourtant été clairement identifiée : les PME québécoises investissent peu et innovent moins (Deslauriers et al., 2021). À l'heure actuelle, la moyenne-faible technologie domine les exportations du Québec (Figure 7) si l'on compare avec la moyenne-haute technologie⁶ qui domine les exportations canadiennes (Ministère de l'Économie, de

⁶ L'industrie manufacturière compte quatre niveaux technologiques (faible technologie, moyenne-faible technologie, moyenne-haute technologie, haute technologie) et chaque produit est classé en fonction du degré d'intensité de la R&D qu'il exige (temps et argent investis).

l'Innovation et de l'Énergie, 2023a). Depuis 2009, le Québec affiche la part des investissements en immobilisations et réparations du secteur manufacturier dans le PIB la plus importante que le reste du Canada et l'Ontario, excepté 2018 où l'Ontario le surclasse, atteignant 9,7 G\$ en 2022 dont 67 % étaient consacrés aux immobilisations et 33 % aux réparations (Figure 8). Comparativement au Canada et à l'Ontario, les dépenses en immobilisations des entreprises manufacturières du Québec restent faibles et augmentent très faiblement (Figure 9).

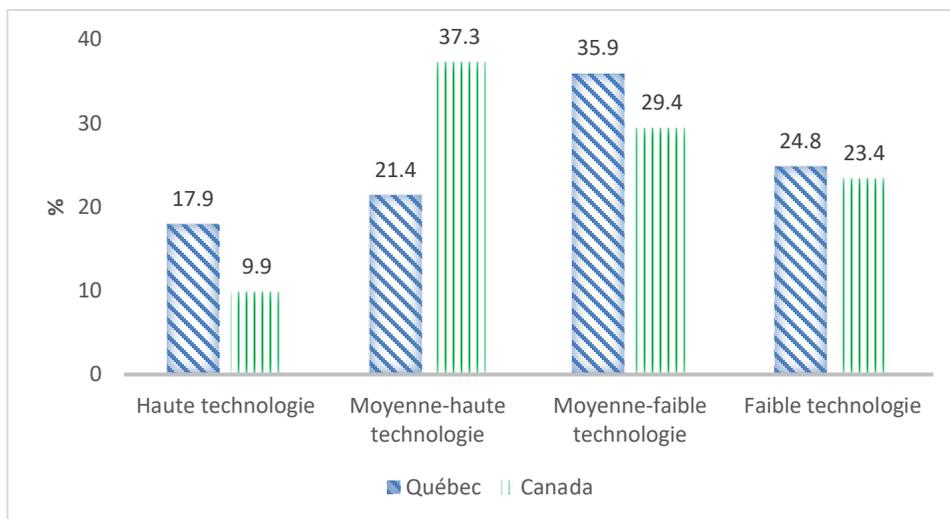


Figure 7 : Niveau de technologie des biens manufacturés exportés vers l'étranger

Source : Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, 2023a

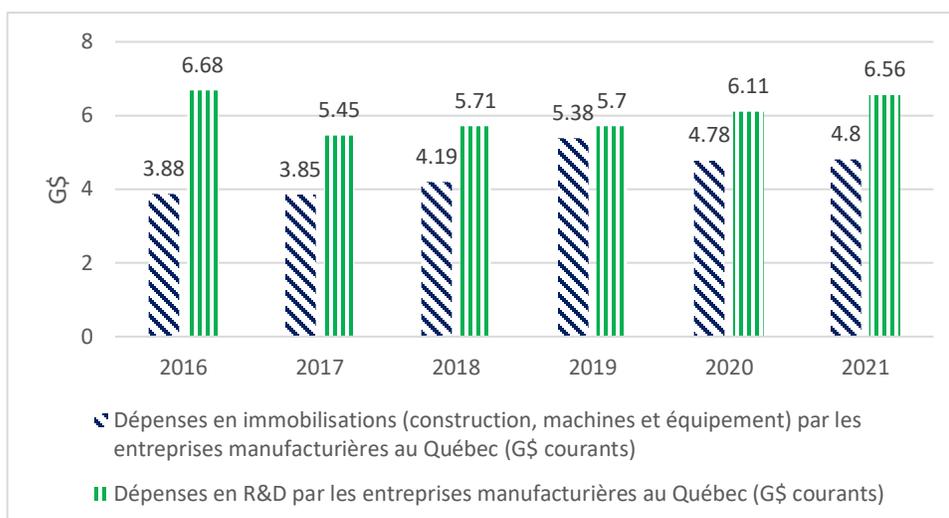


Figure 8 : Dépenses en investissements des entreprises manufacturières du Québec, G\$ courant

Source : Institut de la Statistique du Québec, 2021

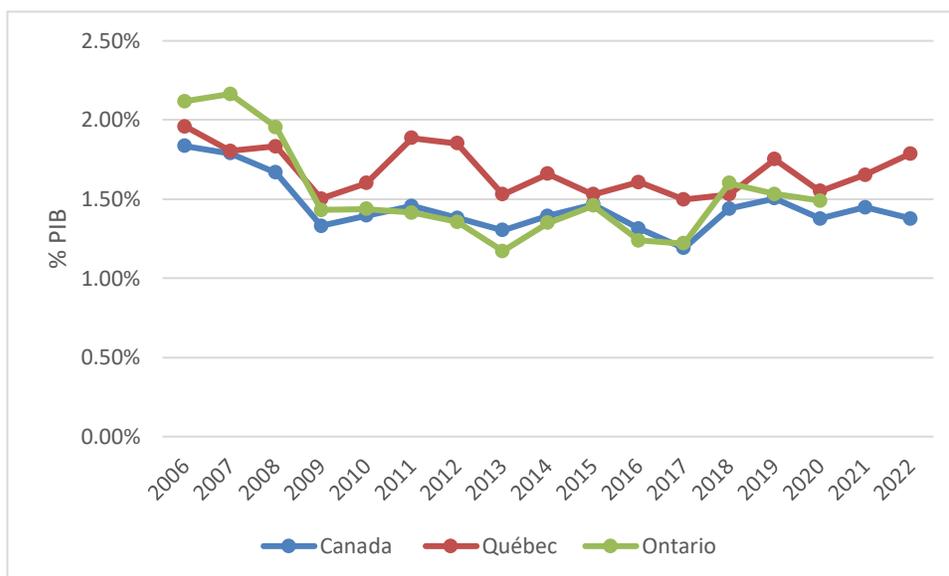


Figure 9 : Évolution des dépenses en immobilisations et réparations, actifs corporels non résidentiels en proportion du PIB des entreprises manufacturières, 2006-2022, Canada, Québec, Ontario

Source : Statistique Canada. Tableaux 34-10-0035-01 et 36-10-0221-01

Depuis 2002, la part des dépenses en R&D dans le PIB stagne au Québec et une décroissance s’est amorcée en 2006. En 2017, ces dépenses représentaient 2,3 % du PIB au Québec, 1,9 % en Ontario, 1,7 % au Canada et 2,9 % aux États-Unis (Figure 10).

Des études ont montré l'existence d'un lien entre la taille des entreprises manufacturières québécoises et les types d'investissements car les plus grandes entreprises investissent un pourcentage plus élevé de leurs chiffres d'affaires en R&D et en technologies numériques que les plus petites entreprises (STIQ, 2023). Ces études montrent aussi que les entreprises manufacturières québécoises qui investissent en formation, en équipements, en R&D et en technologies numériques ont une meilleure performance que la moyenne (STIQ, 2023).

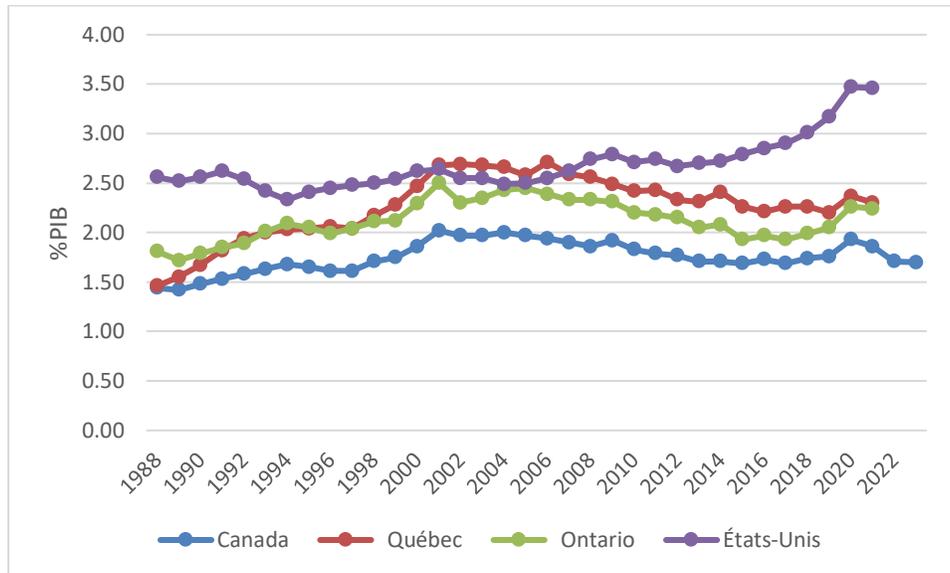


Figure 10 : Dépenses en R&D en proportion du PIB, 1981-2023, Canada, Québec, Ontario, États-Unis

Source : Institut de la Statistique du Québec, 2024

1.4 L'enjeu de la croissance de la productivité au cœur des politiques publiques actuelles : une question d'investissements et d'innovations technologiques

L'enjeu de la croissance de la productivité et de la compétitivité des entreprises manufacturières du Québec est au cœur des préoccupations et de l'actualité politique dans un contexte où l'industrie a été lourdement frappée par la COVID-19 avec un recul de 10 % du PIB et une baisse du nombre de salariés de 7,5 % en 2020 (STIQ, 2021). Cet enjeu a aussi guidé l'élaboration et la mise en œuvre des politiques de développement économique au cours de ces dernières années. Depuis plusieurs années, l'industrie manufacturière a tout un défi à relever en matière d'investissements, d'innovations, de recours aux technologies, de recrutement et de rétention de la main-d'œuvre, mais également en ce qui a trait à la relève (STIQ, 2021). En particulier, les investissements dans les nouvelles technologies sont des déterminants majeurs de la compétition et de l'amélioration de la productivité des entreprises manufacturières (Sobhani, 2008). Ceci est crucial, d'autant plus que l'industrie manufacturière québécoise fait face à une pénurie de main-d'œuvre de plus de 150 000 employés.

L'évolution du commerce mondial a forcé les entreprises, en particulier les PME, à modifier leur stratégie de croissance et leurs modèles de gestion interne. Leur capacité à s'internationaliser, à faire partie des chaînes de valeur mondiales, est devenue déterminante (Dupuis & Noreau, 2015). L'amélioration de la productivité des entreprises manufacturières contribuerait à renforcer la position concurrentielle du Québec sur les marchés internationaux, stimuler les emplois et hausser les salaires, objet de débats publics au Québec. En effet, la littérature explique le contexte actuel de pénurie de main-d'œuvre dans les entreprises par les salaires peu incitatifs qui sont, eux-mêmes, liés à une faible productivité des entreprises québécoises comparées à leurs homologues de l'Ontario (Homsy & Savard, 2021). La littérature établit un lien entre productivité du travail et salaire et montre que les changements technologiques contribuent à l'augmentation des inégalités (OCDE, 2018). Ainsi, à mesure que le progrès technologique évolue (par exemple, avec les TIC, l'équilibre entre le déplacement de la main-d'œuvre et la création de tâches à partir de nouvelles technologies peut changer (OCDE, 2018). Dans ce cadre, les politiques publiques jouent un rôle clé pour veiller à ce que les gains de productivité découlant des changements technologiques soient partagés avec les salariés. Toutefois, la littérature rapporte qu'une augmentation des salaires à moyen terme peut conduire à une substitution du capital au travail. Ainsi, si le capital et le travail sont facilement substituables, l'augmentation de la productivité du travail offerte par l'augmentation de l'intensité du capital peut être plus importante que l'augmentation initiale des salaires, de sorte que la part de la main-d'œuvre diminue (OCDE, 2018). D'où, l'intérêt de trouver le juste équilibre dans le partage des gains de productivité.

Ainsi, accroître les salaires, avec un salaire annuel moyen minimum de 56 000 \$ par année voulu par le gouvernement du Québec (Homsy & Savard, 2021) est conditionné par une hausse de la productivité et la création de valeur des PME manufacturières. Pour le gouvernement québécois, les politiques publiques de soutien aux entreprises devraient cibler celles qui rémunèrent davantage le travail au-delà de 28 \$ l'heure compte tenu de la relation étroite entre salaires et productivité : les salaires sont plus élevés dans les secteurs où la productivité du travail est plus élevée. Pour ce faire, les critères d'octroi d'aide publique aux entreprises devraient cibler des conditions visant davantage à stimuler l'innovation et la productivité comme la formation de la main-d'œuvre, l'investissement en capital, l'automatisation et la transition énergétique (Homsy & Savard, 2021). Cette politique de ciblage des interventions publiques en faveur des PME innovantes reposerait sur une hypothèse implicite de l'existence probable d'un écart de productivité et de performance à l'exportation des PME qui investissent en innovations et celles qui n'investissent pas. L'intérêt d'une telle politique reste à être évalué rigoureusement.

Inciter les PME québécoises manufacturières à investir et à innover afin de stimuler la productivité, la compétitivité et leur participation dans les marchés nécessite de connaître les déterminants et les impacts de cette politique. Toutefois, les estimations de la PTF des PME manufacturières du Québec mobilisant les coûts, les prix et les quantités de facteurs à l'échelle provinciale pour l'ensemble de l'industrie

manufacturière font défaut. Cette étude, la première du genre, en supposant une production multiple d'outputs avec plusieurs inputs technologiques pour chaque PME manufacturière, contribue à fournir des éléments scientifiques pour l'aide à la prise de décisions du gouvernement du Québec sur les impacts potentiels des investissements en innovations sur la PTF et les performances à l'exportation des PME manufacturières de la province du Québec.

2 Objectif et intérêt de l'étude

Le but de la présente recherche est double. Tout d'abord, elle a pour objectif d'évaluer l'impact des investissements en R&D et en TIC sur les changements structurels d'utilisation des intrants, des coûts et des gains de PTF des PME manufacturières québécoises. Cette analyse est basée sur l'estimation d'une fonction duale de coût. Cette approche de minimisation de la fonction de coût intègre les coûts d'ajustement du capital (dont les changements technologiques et les changements de prix) et permet de modéliser et de mesurer la demande marginale des intrants, les élasticités de substitution technique puis la PTF. Le stock de capital est divisé en quatre composantes à savoir, la R&D, les équipements relatifs aux nouvelles TIC, les autres équipements et les bâtiments. Cela permettra d'évaluer les effets d'interactions (substitution et/ou complémentarité) entre ces types de capital. Cela permet aussi d'évaluer les interrelations entre le capital et les autres intrants variables tels que la main-d'œuvre, l'énergie et les biens intermédiaires. Par exemple, nous analysons jusqu'à quel point, l'augmentation de l'investissement dans les innovations technologiques réduit la demande et les coûts de la main-d'œuvre dans un contexte où plusieurs entreprises font face à une pénurie croissante de main-d'œuvre.

Certaines études antérieures ont mesuré la productivité partielle du travail pour analyser l'impact causal de l'innovation sur les exportations (Baldwin et al., 2016 ; Therrien & Hanel, 2011). Une mesure de productivité partielle est simple à comprendre, facile à calculer, et les données correspondantes sont faciles à collecter. Elle met en relation la production et un seul intrant comme le travail. Avec le développement de la théorie de la production et des coûts, les défauts de la mesure de la productivité partielle sont devenus évidents (Heien, 1983). Ainsi, toute mesure de productivité partielle peut être trompeuse (Heien, 1983 ; Li, 2009) et conduire à des erreurs coûteuses résultant d'un manque de capacité à expliquer les augmentations de coûts globaux (Sobhani, 2008). Elle fournit donc une image incomplète de la performance globale de la productivité, car les mesures partielles permettent de se concentrer sur l'efficacité de l'utilisation de ressources spécifiques qui présentent un intérêt particulier dans un contexte donné (Murray, 2016 ; Murray & Sharpe, 2016). En outre, les mesures de productivité partielle ont une interprétation économique en tant que produits moyens, alors que les facteurs sont rémunérés en proportion de leurs produits marginaux (Heien, 1983). Ainsi, tenter d'examiner chaque mesure de productivité partielle pourrait entraîner une surcharge d'informations, et un seul indicateur synthétique tel que la PTF peut être utile (Murray, 2016).

L'originalité de cette étude est donc de calculer la PTF en suivant la littérature afférente (Wang & Walden, 2021; Baldwin & Green, 2008 ; Goldar, 2004 ; Greenaway & Kneller, 2004 ; Berndt & Morrison, 1995 ; Heien, 1983) et ensuite de l'endogénéiser comme la mesure prééminente de la productivité ou de la performance des entreprises. En effet, la PTF relie un indice de la production à un indice composite de tous les intrants. Dans l'approche comptable, la croissance de la PTF est la différence entre la croissance de la production et celle des intrants (Wang & Walden, 2021) ; ce qui implique les hypothèses de rendements d'échelle constants, de marchés concurrentiels et de la rémunération des facteurs de production en fonction de leur produit marginal (Goldar, 2004). La PTF, estimée via l'approche économétrique adoptée dans le cadre de la présente étude est, par conséquent, une méthode pertinente pour mesurer la croissance résiduelle de la production, par exemple celle due au changement technologique (Baldwin & Green, 2008 ; Sobhani, 2008), qui n'est pas expliquée par la croissance des facteurs de production (Wang & Walden, 2021 ; Watson, 2018; Li, 2009 ; Sobhani, 2008). Ainsi, la mesure de la PTF permet de démêler les contributions directes du travail, du capital, des facteurs intermédiaires et de la technologie à la croissance. Cette croissance de la PTF est généralement associée à l'innovation et au changement technologique (Tang & Wang, 2020; Murray, 2016 ; Baldwin & Green, 2008). La PTF est importante en raison de son rôle central en tant que moteur de la croissance à long terme dans le modèle de croissance néoclassique.

Une mesure rigoureuse de la PTF nécessite donc une grande quantité de données — sur la production, les quantités, les prix et les compositions de tous les intrants — et repose sur des hypothèses de rendements d'échelle constants, et de concurrence sur les marchés des intrants de sorte que les facteurs sont payés selon leurs produits marginaux (Murray, 2016 ; Murray & Sharpe, 2016; Li, 2009 ; Goldar, 2004). L'hypothèse du rendement d'échelle constant implique que la somme de toutes les parts de coûts est égale à 1.

Le deuxième objectif de cette étude est d'évaluer si les gains de PTF générés par l'investissement dans le capital technologique ont un impact sur la destination et le volume des exportations des PME manufacturières québécoises. Nous analysons les déterminants du commerce international de ces PME avec un accent particulier sur l'effet de la croissance de la PTF estimée en première étape (Baldwin, 2004 ; Bernard & Jensen, 2004 ; Greenaway & Kneller, 2004). Deux modèles ont été estimés (Tamini & Valéa, 2021, 2019). Le premier modèle nous permet d'analyser la marge extensive, soit la probabilité pour les PME québécoises de pénétrer sur les marchés à l'exportation, le nombre de destinations et le nombre de lignes tarifaires. Le deuxième modèle nous permet d'analyser la marge intensive, soit les volumes de commerce vers chacune des destinations. L'intuition est que la réponse d'une entreprise en matière d'innovations au temps $t > t_0$ induira une croissance de la PTF qui pourrait conduire à des changements dans ses exportations au temps t et au-delà, à la fois pour la marge intensive (volume de commerce) et la marge extensive (nombre de destinations par entreprises). Selon la théorie des firmes en commerce international (Yeaple, 2009; Helpman et al., 2004; Melitz, 2003), la capacité d'exporter des

entreprises dépendra de leur gain de productivité. L'intuition sous-jacente est que, pour une destination donnée, il existe un seuil de productivité qui permet d'exporter vers cette destination. Et dans les industries de chaque pays, on a une distribution de la productivité et seules les entreprises ayant atteint ce seuil exporteront.

Dans cette étude, des approches économétriques seront utilisées pour répondre à nos questions de recherche et cela en deux principales étapes. La première étape analyse les gains de PTF et ses déterminants et, la deuxième, les performances à l'exportation des PME manufacturières du Québec. À notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à l'estimation d'une fonction duale de coût de production pour évaluer les changements structurels induits par l'investissement technologique des PME manufacturières sur la croissance de la PTF, puis de l'interrelation entre le commerce international et les gains de PTF. Pour autant que nous sachions, il n'existe pas d'études récentes sur l'interrelation entre investissements en R&D et en TIC, productivité et commerce international pour le cas spécifique des PME du secteur manufacturier québécois. Cette recherche permet d'évaluer, pour les PME du secteur manufacturier québécois :

- les changements structurels d'utilisation des intrants et des coûts qui découlent des investissements en R&D et en TIC ;
- les gains de PTF qui résultent des investissements en R&D et en TIC et les facteurs expliquant l'importance de ces gains ;
- l'impact de la croissance de la PTF sur les performances à l'exportation et notamment le nombre de destinations des exportations et les volumes exportés.

Sur le plan pratique, cette recherche apporte des éléments d'éclairage sur la dynamique de la productivité des PME du secteur manufacturier québécois dans un contexte de pénurie de main-d'œuvre, et leurs performances sur les marchés à l'exportation. Pour le Québec, il est primordial de consolider sa place sur ses marchés à l'exportation et de développer de nouveaux marchés. Les utilisateurs finaux des résultats de cette étude sont les acteurs des différents secteurs économiques du Québec que sont les chercheurs, les analystes et les décideurs politiques (Québec et Canada), les analystes et les décideurs de l'industrie ainsi que le grand public.

3 Aperçu de l'analyse de la relation triptyque : innovation — productivité — exportation

Il existerait un lien triptyque entre innovation, productivité et commerce international, reflétant l'autosélection des entreprises les plus productives sur le marché de l'exportation, mais aussi l'effet direct de l'exportation sur les gains de productivité futurs (Aw et al., 2011 ; Aw et al., 2007). Les effets d'une libéralisation des échanges dépendent essentiellement de la relation microéconomique entre la productivité, les exportations et les investissements en R&D/technologie (Aw et al., 2011).

La littérature indique aussi un lien positif entre l'innovation et les performances à l'exportation des entreprises (Gu & Yan, 2014 ; Wagner, 2007; Greenaway & Kneller, 2004) même si la causalité entre ces deux variables reste un sujet de débat tant empirique que théorique concernant le commerce international (Tamini & Valéa, 2021). Il en est de même du lien entre innovations et productivité (Tang & Wang, 2020, 2019; Ghazalian & Fasih, 2017 ; Mairesse & Mohnen, 2005, 1990) et entre innovations et exportations (Melitz et al., 2019 ; Pucik & Ito, 1987). L'une des principales implications de ces études est que les décisions en matière de technologie/innovation et d'exportation sont interdépendantes, et les deux peuvent affecter de manière endogène la productivité future de l'entreprise (Aw et al., 2011).

3.1 Sur la relation entre innovation et productivité des entreprises

L'innovation est l'une des principales sources de croissance de la productivité (Therrien & Hanel, 2011). Ainsi, mieux comprendre le processus allant de la décision d'innover à l'effet de l'innovation sur la productivité et d'autres indicateurs de performance est au cœur des préoccupations des décideurs. Des études ont examiné la relation étroite entre la croissance de la productivité et les activités de R&D/innovation des entreprises (Therrien & Hanel, 2011 ; Van Leeuwen & Klomp, 2006; Chan-Kang et al., 1999). Ces études montrent pour la plupart que la productivité des entreprises est corrélée positivement avec une production d'innovation plus élevée. Bien que cette contribution de la R&D à la productivité soit significative, Mairesse & Mohnen (1990) montrent qu'elle reste toutefois relativement modeste.

Des études ont examiné la corrélation positive entre l'innovation et la productivité des entreprises manufacturières canadiennes (Tang & Wang, 2020, 2019; Baldwin et al., 2012; Therrien & Hanel, 2011; Baldwin & Green, 2008). Il s'en dégage que la part de marché et la diversification, le capital humain et physique ainsi que l'orientation stratégique de l'entreprise sont des facteurs qui augmentent l'innovation. Chan-Kang et al. (1999) montrent que la productivité des firmes agroalimentaires canadiennes est en dessous de celle de leurs homologues américaines en raison de l'écart technologique entre les entreprises des deux pays.

D'autres études ont analysé l'impact de la production d'innovation sur la croissance de la productivité multifactorielle du secteur manufacturier en combinant un modèle de part de marché avec une fonction de production brute (Van Leeuwen & Klomp, 2006). Pour évaluer cet impact causal, différentes méthodes ont été utilisées pour estimer simultanément le rendement de l'investissement dans l'innovation sur la production d'innovation (mesurée par la part des ventes de produits innovants dans les ventes totales), la contribution de la production d'innovation à la croissance de la productivité et le lien de rétroaction allant de la performance globale des ventes d'une entreprise à son effort d'innovation. Ainsi, l'impact de l'innovation diffère selon les mesures de la performance de l'entreprise. En outre, l'estimation du rendement de l'investissement dans l'innovation bénéficie de l'inclusion de plus d'informations sur l'environnement technologique de l'entreprise. En cela, les processus d'innovation ne sont pas purement internes aux entreprises, mais impliquent de nombreux liens

divers avec l'environnement technologique, c'est-à-dire la base de connaissances externes (Van Leeuwen & Klomp, 2006).

Ainsi, il apparaît clairement que les investissements sont importants pour le développement et les performances économiques des entreprises. La concurrence sur les marchés exerce une pression encore plus forte sur les entreprises, qui n'ont d'autres choix que d'investir massivement dans l'innovation et la R&D pour les changements technologiques (Tang & Wang, 2020, 2019). Dans l'industrie, cela est particulièrement vrai pour le développement et la compétitivité des entreprises. L'investissement dans les innovations technologiques affecte le changement structurel et les performances économiques des entreprises par son effet de substitution ou de complémentarité sur la composition du capital et des intrants, en particulier pour les industries à forte intensité de capital (Chan-Kang et al., 1999; Morrison, 1997b; Berndt & Morrison, 1995). Par exemple, Morrison (1997a) a indiqué que l'investissement dans les innovations observé dans l'industrie manufacturière aux États-Unis a induit une réduction importante des coûts de production à court et long termes. Ceci est particulièrement important dans les industries intensives en capital à l'instar du secteur manufacturier. En effet, celui-ci se caractérise par un faible niveau de flexibilité des coûts récurrents à court terme et une utilisation intensive du capital. La croissance de la productivité peut provenir du changement technique (Baldwin & Green, 2008), de la croissance de la production en présence d'économies d'échelle, des ajustements des intrants quasi fixes et des changements dans la compétitivité des entreprises en matière de prix (Berndt & Morrison, 1995 ; Berndt et al., 1992).

3.2 Sur la relation entre productivité et exportation des entreprises

La croissance de la productivité est l'une des sources importantes du développement économique, et est une source essentielle de l'augmentation de la production et du revenu (Mustafa & Kingsley, 2005). Des études empiriques, se basant sur des données, soit au niveau des pays, soit au niveau des industries, ont pu examiner l'existence et la direction de relations causales entre la croissance de la productivité et les exportations (Elliott et al., 2020 ; Greenaway & Kneller, 2004). Certaines études ont souligné que l'exportation n'améliore pas nécessairement la productivité (Wagner, 2007). Ainsi, la littérature théorique sur le commerce international a mis en évidence l'hétérogénéité de la productivité ou de l'efficacité des entreprises comme le facteur déterminant dans la décision d'une entreprise d'exporter (Aw et al., 2011 ; Cassiman et al., 2010).

Une vaste littérature empirique utilisant des données au niveau de l'entreprise et de l'usine montre qu'en moyenne, les firmes exportatrices sont plus productives que celles non exportatrices, et les firmes plus productives s'autosélectionnent dans les marchés exportateurs (Aw et al., 2011 ; Wagner, 2007). Baldwin (2004) puis Baldwin et al. (2016) montrent que, compte tenu de leur exposition à une intense compétition, les firmes exportatrices s'amélioreraient plus vite que celles non exportatrices. Ainsi, l'exportation rend les firmes exportatrices plus productives. Melitz (2003) démontre que les entreprises les plus productives sont susceptibles de s'autosélectionner sur

les marchés d'exportation. Une des raisons explicatives de l'autosélection des firmes plus productives sur les marchés d'exportation serait l'existence des coûts de mise en marché des biens et services dans les pays étrangers : coûts de transport, coûts de distribution et de commercialisation, coûts de renforcement de compétences du personnel afin de gérer les réseaux étrangers, coûts de production pour modifier les produits domestiques pour leur consommation à l'étranger. Ces coûts constituent une barrière à l'entrée que les entreprises moins performantes ne peuvent pas surmonter.

Mais la question est de savoir comment ces firmes exportatrices arrivent à améliorer leur productivité, déterminant majeur de la rentabilité et de compétitivité (Wang & Walden, 2021). Certains auteurs mettent en avant le rôle du transfert technologique venant des acheteurs internationaux ou les effets d'apprentissage de l'exportation. D'autres auteurs mettent en avant le rôle de l'innovation comme source de gain de productivité ex post (Baldwin et al., 2016). La productivité est la manifestation révélée de certaines compétences ou capacités qui sont associées au succès sur le marché d'exportation, qu'elles soient développées avant l'entrée ou pendant l'exportation (Baldwin et al., 2016). Un des mécanismes possibles permettant de développer ces compétences est l'investissement en R&D (Baldwin et al., 2016). L'évolution de la productivité des entreprises est endogène et est positivement affectée par les investissements en R&D et l'exportation (Aw et al., 2011).

Les effets théoriques de l'exportation sur la productivité ont été testés empiriquement dans le contexte canadien (Baldwin et al., 2016; Baldwin, 2004). Ces études ont indiqué qu'au Canada, ce sont les entreprises les plus productives qui entrent sur les marchés d'exportation, et en retour, le fait de devenir un exportateur augmente la productivité (Baldwin & Gu, 2003). En démontrant qu'il existe à la fois des effets de sélection et d'apprentissage, les exportateurs canadiens ont non seulement une productivité plus élevée que les non-exportateurs, mais aussi une croissance plus rapide de la productivité du travail après l'entrée sur les marchés d'exportation parmi les usines de fabrication canadiennes (Baldwin & Yan, 2015; Baldwin, 2004). Ainsi, en mettant en évidence les preuves d'apprentissage et de transfert de connaissances par l'exportation, les usines de fabrication sont plus susceptibles d'adopter des technologies étrangères, de s'engager dans des projets de collaboration en R&D à l'étranger. Par exemple, les entreprises peuvent apprendre des technologies supérieures sur les marchés étrangers directement par le biais de relations acheteur-vendeur ou indirectement par une exposition accrue aux produits similaires des concurrents étrangers. Il en résulte que les entreprises profitent des différences de coûts et de technologies de production pour améliorer leur productivité et compétitivité sur les marchés. Cet avantage concurrentiel des entreprises pourrait aussi provenir des gains de productivité dans les industries en amont. Une part importante de la croissance de la PTF, particulièrement dans les petites économies ouvertes comme celles du Canada, est attribuable aux gains de production d'intrants intermédiaires dans les pays étrangers, notamment en provenance des États Unis (Gu & Yan, 2014).

3.3 Sur la relation entre innovation et exportation des entreprises

Le commerce et l'innovation sont deux forces économiques importantes qui influent sur les entreprises manufacturières (Tamini & Valéa, 2021; Aghion et al., 2018 ; Baldwin et al., 2016 ; Ito & Pucik, 1993). La libéralisation du commerce et les activités d'exportation ont souvent exposé les firmes à une intense compétition sur les marchés étrangers, conduisant à une augmentation des activités de R&D/innovation, comme étant une des stratégies de survie sur ces marchés, ou une augmentation de l'intensité de R&D/innovation.

Des études ont analysé la relation causale existante entre les activités d'exportation et celles d'innovation des firmes, et vice versa, en montrant que l'exportation est positivement corrélée avec les investissements en R&D des entreprises (Tamini & Valéa, 2021; Ghazalian & Fakhri, 2017; Baldwin et al., 2016 ; Aw et al., 2011 ; Mustafa & Kingsley, 2005). Ainsi, l'innovation associée à la R&D est un facteur clé qui accroît la probabilité d'une firme d'entrer sur les marchés d'exportation (Baldwin et al., 2016). En retour, l'exportation augmente également la probabilité que les entreprises, petites ou grandes, investissent par la suite dans tous les types de R&D. Mieux, l'entrée sur les marchés d'exportation est également associée à une augmentation immédiate de l'intensité de la R&D, traduisant ainsi l'existence de stratégies simultanées — l'entrée sur les marchés d'exportation et l'adoption d'une stratégie de R&D plus intense (Baldwin et al., 2016).

Plusieurs études empiriques ont mis en évidence que les firmes exportatrices ont une activité de R&D/innovation plus élevée que celles qui ne le sont pas, que ce soit avant ou après l'entrée sur le marché d'exportation ; et que la pression de compétition des marchés en est un des déterminants (Tamini & Valéa, 2021; Aghion et al., 2018 ; Ghazalian & Fakhri, 2017; Baldwin et al., 2016). Tamini & Valéa (2021) ont montré que l'investissement en R&D a eu un impact positif sur la performance à l'exportation des PME agroalimentaires canadiennes ; l'impact étant plus faible lorsque la destination est l'un des États des États-Unis. Ainsi, l'innovation devient l'une des stratégies permettant aux entreprises de faire face à la concurrence et à la compétition sur les marchés domestiques et internationaux surtout lorsque les concurrents disposent d'un avantage-coût (Ghazalian & Fakhri, 2017; Baldwin et al., 2016). Ce rôle de l'innovation dans le commerce international a été bien documenté dans la littérature. En particulier, il a été démontré que les entreprises manufacturières canadiennes s'autosélectionnent dans les marchés d'exportation (Baldwin et al., 2016).

En effet, l'innovation est un processus dynamique qui comporte de nombreuses dimensions, et les dépenses en R&D sont une composante importante du processus d'innovation. Il existe des différences dans les types de dépenses qui entrent dans la catégorie générale de la R&D et qui facilitent l'innovation. L'innovation peut consister en de nouveaux produits et processus révolutionnaires, ou en des améliorations plus marginales. Les entreprises peuvent effectuer de la R&D en interne, l'acheter ou la sous-traiter (Aghion et al., 2018 ; Baldwin et al., 2016). La procédure d'innovation comprend entre autres, les activités de R&D qui constituent des intrants primaires

dans la production des extrants de l'innovation. Des auteurs ont examiné la relation entre R&D et innovations en analysant comment les dépenses de R&D sont liées aux résultats de l'innovation. Certains auteurs utilisent les dépenses de R&D comme une mesure des activités d'innovation (Baldwin et al., 2016) alors que pour d'autres, les dépenses en R&D représentent normalement les intrants primaires dans la production de l'innovation, et elles sont généralement une fonction des variables explicatives dans les équations de production de l'innovation (Ghazalian & Fasih, 2017). Dans ce sens, les activités de R&D précèdent généralement l'innovation, ce qui implique qu'elle est une fonction des activités de R&D antérieures.

La taille du marché est un déterminant de l'incitation des entreprises à innover (Aghion et al., 2018). La taille des entreprises (mesurée par le nombre d'employés) et le soutien reçu du gouvernement canadien influent sur leur propension à investir dans la R&D ainsi que sur le montant des dépenses de R&D et leur intensité (Tamini & Valée, 2021, 2019 ; Therrien & Hanel, 2011). Ainsi, en moyenne, les entreprises répondent à une augmentation de la taille du marché en innovant davantage (Aghion et al., 2018). Mieux, l'effet de la taille du marché augmente non seulement l'innovation pour les entreprises, mais exerce aussi une concurrence endogène qui décourage l'innovation pour les entreprises à faible productivité. Cet impact positif de la taille du marché sur l'innovation est porté par les entreprises dont la productivité du travail est supérieure à la moyenne. En raison de la nature de la concurrence entre les entreprises, cet effet se dissipe progressivement à mesure que la productivité augmente (Aghion et al., 2018). La littérature récente sur l'autosélection indique que l'endogénéité de la productivité et de l'innovation est un déterminant important de la décision d'entrée sur le marché de l'exportation. Ainsi, un modèle théorique dans lequel les décisions d'exportation et d'innovation sont prises conjointement et influencées par le moment de la libéralisation du commerce a été développé (Costantini & Melitz, 2008). Il en résulte que les entreprises ont tendance à innover avant d'entrer sur les marchés d'exportation.

Quantifier les interrelations entre décision d'exporter, investissement en R&D et gain de productivité endogène est essentiel pour comprendre les effets à long terme des décisions dynamiques prises au sein des entreprises.

4 Méthodologie

Cette étude s'est déployée en deux principales étapes, soit (i) l'estimation et l'analyse de l'évolution de la PTF et (ii) l'estimation et l'analyse des effets de la croissance de la PTF sur les performances à l'exportation.

4.1 Estimation et analyse de l'évolution de la PTF

Pour évaluer les effets des investissements de R&D sur la productivité des entreprises, deux approches économétriques sont utilisées : l'approche primale qui estime une fonction de production (le plus souvent une fonction de type Cobb-Douglas) et l'approche duale qui estime une fonction de coût, généralement à l'aide de formes fonctionnelles flexibles (Mairesse & Mohnen, 1990). Dans l'approche duale, les

différences de spécifications sont plus marquantes, notamment au niveau de la représentation duale de la technologie (fonction de coût total, de coût variable ou de valeur), de la forme fonctionnelle (Cobb-Douglas généralisée, Translog, quadratique), du caractère statique ou dynamique de la formalisation, et de la prise en compte du progrès technique (avec en particulier, la présence ou l'absence d'un terme de tendance temporelle dit de progrès technique autonome).

Dans le but d'évaluer les impacts de l'investissement dans les innovations technologiques sur les coûts de production, la demande des autres intrants et la PTF des PME manufacturières québécoises, nous avons utilisé un modèle dual de fonction de coût. L'approche duale de fonction de coût est un moyen courant de générer théoriquement des systèmes de demandes de facteurs et de faire des inférences sur les économies d'échelle, le changement technologique et la substitution de facteurs (Pope & Just, 1998). Certaines études suggèrent que l'approche duale par la fonction de coût est supérieure à l'approche primale pour étudier les propriétés des technologies de production telles que la non-joncture (Leathers, 1991).

En effet, la motivation de réduction des coûts et les implications des adaptations des processus de production sont des facteurs importants contribuant à la performance économique des industries (Williamson et al., 2004 ; Morrison, 1997b). En effet, la fonction de coût fournit une estimation du coût minimum de production compte tenu des prix des facteurs (Baum & Linz, 2009) et nous permet d'étudier les caractéristiques de la technologie et la relation entre le processus de production et l'utilisation des intrants (Williamson et al., 2004). L'approche déterministe de la technologie a été utilisée comme approche préférée d'estimation, étant donné que l'approche stochastique frontière proposée par Kumbhakar (1991) et utilisée par exemple par Wang (2003) nécessite plusieurs hypothèses pour mieux contrôler la distribution de l'inefficience liée à l'investissement.

Tel que suggéré par plusieurs auteurs, dont van Soest et al. (2006), Williamson et al. (2004) et Morrison (1997b) pour représenter la technologie et la fonction de minimisation des coûts, nous avons utilisé une fonction de coût variable soumise à des coûts d'ajustement, de la forme générale $G(Y, t, \mathbf{x}, \Delta \mathbf{x}, \mathbf{p})$ avec \mathbf{x} et $\Delta \mathbf{x}$ les vecteurs qui indiquent les niveaux (et les valeurs absolues) d'investissement⁷ net dans les intrants fixes à savoir l'investissement dans la R&D, l'information technologique (O), autres équipements (E) et les bâtiments de la firme (S) ; \mathbf{p} est le vecteur des prix des intrants variables à savoir l'énergie (N), autres intrants variables intermédiaires (M) et la main-d'œuvre (L) ; Y est l'output global et t est l'horizon de temps qui permet d'inclure le changement technologique.

Cette méthodologie est étroitement liée à l'approche "double dynamique" d'analyse des décisions de production et met l'accent sur les délais d'ajustement des intrants en incluant l'investissement directement dans la fonction de coût. L'existence de

⁷ L'inclusion de Δx dans G permet de tenir compte des coûts internes d'ajustement pour chaque investissement x_k

coûts d'ajustement peut être une des raisons explicatives des variations cycliques de la productivité et peut limiter à court terme l'efficacité de certaines politiques de soutien à l'emploi et à l'investissement (Carmichael et al., 1990). Notre méthodologie intègre les coûts d'ajustement du capital, incorpore à la fois les changements technologiques et de prix, et permet de modéliser et de mesurer les réponses comportementales (minimisant les coûts) qui en résultent. La fonction de coût variable total $G(\cdot)$ est intéressante en ce sens qu'elle incorpore des retards d'ajustement Δx , qu'elle est duale de la fonction de production, et qu'elle permet de dériver les décisions relatives aux intrants (van Soest et al., 2006; Epstein, 1981).

La forme fonctionnelle généralisée de coût variable de Leontief (**GL**), proposée par Diewert (1971) puis étendue ensuite par (Morrison, 1988), a été utilisée pour un certain nombre de raisons. D'abord, elle permet d'estimer plusieurs indicateurs de substitution entre (i) les quatre types de capital fixe et (ii) le capital fixe et les intrants variables (Hussain & Bernard, 2018). Si certaines restrictions de paramètres sont imposées, cette fonction de coût se réduit à la fonction de coût traditionnelle de Leontief avec une technologie à coefficient fixe (Pettersson et al., 2012). Cette forme fonctionnelle a également l'avantage d'intégrer l'effet non neutre du changement technologique (van Soest et al., 2006; Williamson et al., 2004; Alpay et al., 2002; Morrison, 1997b; Nakamura, 1990). En particulier, cette forme inclut l'interaction entre les différentes variables et la tendance temporelle reflétant le progrès technologique (Ryan & Wales, 2000; Nakamura, 1990). La fonction utilisée s'écrit :

$$\begin{aligned}
 G(\mathbf{p}, \mathbf{Y}, \mathbf{x}, \Delta \mathbf{x}, t) = & \mathbf{Y} \left[\sum_i \sum_j \alpha_{ij} \mathbf{p}_i^{0,5} \mathbf{p}_j^{0,5} + \sum_i \sum_m \delta_{im} \mathbf{p}_i \mathbf{s}_m^{0,5} \right. \\
 & \left. + \sum_i \mathbf{p}_i \sum_m \sum_n \gamma_{mn} \mathbf{s}_m^{0,5} \mathbf{s}_n^{0,5} \right] \\
 & + \mathbf{Y}^{0,5} \left[\sum_i \sum_k \delta_{ik} \mathbf{p}_i \mathbf{x}_k^{0,5} + \sum_i \mathbf{p}_i \sum_m \sum_k \gamma_{mk} \mathbf{s}_m^{0,5} \mathbf{x}_k^{0,5} \right] \\
 & + \sum_i \mathbf{p}_i \sum_k \sum_l \gamma_{kl} \mathbf{x}_k^{0,5} \mathbf{x}_l^{0,5} \tag{1}
 \end{aligned}$$

où \mathbf{x}_k et \mathbf{x}_l sont les quatre composantes du capital fixe (*R&D*, *O*, *S* et *E*); \mathbf{p}_i et \mathbf{p}_j sont les indices de prix des intrants variables (*L*, *N* et *M*); puis \mathbf{s}_m et \mathbf{s}_n sont les arguments des variables restantes ($\mathbf{Y}, \Delta \mathbf{x}_k = \mathbf{x}_{kt} - \mathbf{x}_{kt-1}$ et t). Le coût total de production est de ce fait défini comme étant $C = G(\cdot) + \sum_k \mathbf{p}_k \mathbf{x}_k$ avec \mathbf{p}_k le prix des intrants quasi fixes \mathbf{x}_k . Cette fonction de coût est concave en prix et en facteurs quasi fixes (Gunning & Sickles, 2011). En réponse aux choix et décisions de production, les quantités d'intrants variables i et j , les dépenses en capital fixe k et l , et la quantité d'output Y représentent les variables endogènes du modèle.

Dans le premier grand terme de l'équation 1, Y entre linéairement, pour indiquer des coûts variables totaux $G(\cdot)$ qui sont proportionnels au niveau de production, indépendamment des quantités spécifiques des différents inputs. Dans le deuxième grand terme de l'équation 1, Y apparaît sous forme de racine carrée, pour représenter des rendements d'échelle décroissants, ce qui signifie que chaque unité supplémentaire de production nécessite des quantités croissantes d'inputs, mais à un rythme décroissant. La racine carrée permet de modéliser cette relation décroissante entre la production et les inputs. La fonction de coût généralisée de Leontief répond à la plupart des conditions de régularité, dont l'homogénéité de degré 1 sur les prix (Li & Rosenman, 2001 ; Ryan & Wales, 2000; Nakamura, 1990). Toutefois, elle n'est pas restreinte à l'homogénéité de degré 1 sur l'output (économie d'échelle constante), mais la non-homothéticité est permise. Ainsi, les économies d'échelle et les biais peuvent être mesurés (Nakamura, 1990). De plus, la symétrie de la matrice Hessienne exige que les termes croisés tels que α_{ij} , γ_{mn} , γ_{lk} soient symétriques ; c'est-à-dire, $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$, $\gamma_{mn} = \gamma_{nm}$, et $\gamma_{lk} = \gamma_{kl}$ (Ryan & Wales, 2000; Nakamura, 1990).

La fonction générale de Leontief utilisée présente l'avantage d'être linéaire en fonction des paramètres et de ne pas imposer de restrictions *a priori* sur les élasticités de substitution entre les facteurs de production (Caves et al., 1980). En outre, elle permet de représenter un spectre complet de décisions relatives à la demande d'intrants (van Soest et al., 2006 ; Williamson et al., 2004) tout en fournissant une solution à forme fermée pour les stocks de facteurs quasi fixes, ce qui facilite le calcul des élasticités à long terme (Considine & Larson, 2009). Enfin, un autre avantage de la fonction de coût généralisée de Leontief est qu'elle a plus de chances de maintenir des conditions de courbure minimisant les coûts dans le cas de possibilités limitées de substitution d'intrants (Caves & Christensen, 1980 ; Caves et al., 1980).

Ainsi, de cette fonction de coût, sept équations de demande conditionnelle ont été dérivées dont trois pour les intrants variables et quatre pour les équations d'investissement. Les trois équations de demande d'intrants variables ont été obtenues par une simple différenciation de la fonction de coût par rapport au prix de chaque intrant variable en utilisant les propriétés de lemme Shephard, et s'écrit $v_i = \partial G / \partial p_i$ où v_i est la demande de l'intrant variable i de la minimisation à court terme de la fonction de coût $G(\cdot)$. Ces trois équations de demande conditionnelle s'écrivent sous la forme :

$$v_i = \partial G / \partial p_i = Y \left[\sum_j \alpha_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i} \right)^{0,5} + \sum_m \delta_{im} s_m^{0,5} + \sum_m \sum_n \gamma_{mn} s_m^{0,5} s_n^{0,5} \right] + Y^{0,5} \left[\sum_k \delta_{ik} x_k^{0,5} + \sum_m \sum_k \gamma_{mk} s_m^{0,5} x_k^{0,5} \right] + \sum_k \sum_l \gamma_{kl} x_k^{0,5} x_l^{0,5} \quad (2)$$

avec $i = L, N, M$.

Par ailleurs, les quatre autres équations d'investissement sont des expressions d'Euler représentant la réponse de l'investissement à l'écart entre le coût marginal d'investissement (c'est-à-dire la somme du prix observé p_k et les coûts marginaux d'ajustement) et les bénéfices marginaux de chaque intrant fixe. Ces équations d'Euler pour chacun des intrants fixes, basées sur l'optimisation dynamique consistant à minimiser chaque coût implicite de capital fixe, peuvent donc s'écrire :

$$p_k = -\partial G/\partial x_k - r \partial G/\partial \Delta x_k + \Delta x_k \partial^2 G/\partial x_k \partial \Delta x_k + \Delta \Delta x_k \partial^2 G/\partial (\Delta x_k)^2 \quad (3)$$

avec $x_k = R\&D, E, O, S$; $\Delta \Delta x_k$ est la dérivée seconde de x_k , $\Delta(\Delta x_k)$, r est le taux d'actualisation, $-\partial G/\partial x_k$ est la valeur implicite instantanée de x_k (Z_k), et $r \partial G/\partial \Delta x_k$ reflète les coûts d'ajustement amortis ($x_k \partial G/\partial \Delta x_k$ représente les coûts d'ajustement totaux). L'inclusion du taux d'actualisation r dans l'équation (3) indique la prise en compte d'un coût d'opportunité ou d'un rendement d'investissements alternatifs associé à l'utilisation du capital, influençant ainsi le prix marginal du capital. Les dérivées de la fonction de coût $G(\cdot)$ peuvent s'écrire :

$$\partial G/\partial x_k = 0,5 x_k^{-0,5} \left[\sum_i p_i \sum_l \gamma_{kl} x_l^{0,5} + Y^{0,5} \left(\sum_i \delta_{ik} p_i + \sum_i p_i \sum_m \gamma_{mk} s_m^{0,5} \right) \right] \quad (4a)$$

$$\partial G/\partial \Delta x_k = 0,5 \Delta x_k^{-0,5} \left[Y \left(\sum_i \delta_{i\Delta k} p_i + \sum_i p_i \sum_m \gamma_{m\Delta k} s_m^{0,5} \right) + Y^{0,5} \sum_i p_i \sum_k \gamma_{\Delta k k} x_k^{0,5} \right] \quad (4b)$$

$$\partial^2 G/\partial x_k \partial \Delta x_k = 0,25 Y^{0,5} x_k^{-0,5} \Delta x_k^{-0,5} \sum_i p_i \gamma_{k\Delta k} \quad (4c)$$

et

$$\partial^2 G/\partial (\Delta x_k)^2 = 0,25 Y \sum_i p_i \gamma_{\Delta k \Delta k} / \Delta x_k \quad (4d)$$

Ce système de sept équations a été donc estimé et les paramètres ont été utilisés pour construire les mesures qui expliquent l'investissement en R&D et dans les innovations technologiques (donc les demandes des différentes formes de capitaux) et les relations entre celui-ci et les demandes d'intrants variables et le changement technologique.

4.1.1 Mesure des indices : ratios q , demande implicite d'intrants, élasticités et croissance de la PTF

En absence de tout coût d'ajustement, le sentier d'investissement optimal de l'équation (3) serait celui le long duquel $p_k = -\partial G/\partial x_k = Z_k$ (demande implicite instantanée à court terme) à tout moment, impliquant un ajustement immédiat des stocks x_k , et donc des équilibres à court et long termes. Toutefois, en présence de coûts d'ajustement, l'état stationnaire et le processus d'ajustement sont tous deux affectés. Ainsi, dans un équilibre stationnaire à long terme où $\Delta \Delta x_k = \Delta x_k = 0$, les équations d'Euler évaluées à ce point seraient :

$$p_k = -(G_k + r G_{\Delta k}) \quad (5)$$

où les indices désignent les dérivées par rapport à la $k^{\text{ième}}$ composante des vecteurs x et Δx . Cependant, lorsque l'entreprise n'est pas en équilibre de long terme, le niveau d'investissement optimal de l'équation (3) reflète des coûts d'ajustement non nuls évalués aux valeurs réelles de x_k , Δx_k et $\Delta \Delta x_k$.

Cette expression peut être réécrite de deux manières différentes selon que le terme $rG\Delta_k$ est utilisé pour modifier le prix ou la demande implicite. Si un prix net est construit comme $p'_k = p_k + rG\Delta_k = -\partial G/\partial x_k = Z_k$, cela suggère que la demande implicite à court terme (les bénéfices marginaux de l'investissement dans x_k , Z_k) est égale au coût *ex ante* du capital p_k plus les coûts d'ajustement marginaux amortis $rG\Delta_k$ (coût marginal de l'investissement). Alternativement, on peut aussi écrire cette égalité en termes de demande implicite nette $Z'_k = Z_k - rG\Delta_k = p_k$, ce qui permet d'interpréter le coût d'ajustement en termes de bénéfices. Les bénéfices marginaux de l'investissement en capital — la demande implicite instantanée plus le flux futur du bénéfice découlant de la décision d'investissement actuelle — devraient être égaux au coût de cet investissement.

En appliquant l'équation (5) à l'évaluation de l'investissement en capital technologique \mathbf{O} , notons d'abord que si les entreprises étaient en équilibre de long terme, elles investiraient en \mathbf{O} jusqu'au point où $Z_o = p'_o$. Il est toutefois peu probable que cela soit vrai en général, car il est possible que les avantages *ex post* d'un investissement supplémentaire soient supérieurs ou inférieurs aux coûts marginaux. En d'autres termes, Z_o , calculé en prenant la dérivée de l'équation (1) par rapport à \mathbf{O} , et en l'évaluant pour une année particulière, représente les avantages (rendements) marginaux d'un investissement supplémentaire en capital \mathbf{O} par rapport aux économies d'intrants variables à court terme. Le rendement net, cependant, est ce qui présente un intérêt économique ; en le comparant à p'_o par la construction d'un rapport bénéfice-coût $q_o = Z_o/p'_o$, cela nous permet de déterminer si ces rendements sont suffisants pour justifier un investissement supplémentaire. Des mesures analogues q_k peuvent être calculées pour \mathbf{E} et \mathbf{S} .

L'expression $q_o = Z_o/p'_o < 1$ implique que, même si les rendements ou les avantages représentés par Z_o sont importants, ils ne sont pas suffisants pour rationaliser l'investissement à la marge compte tenu des coûts. L'expression $q_o = Z_o/p'_o > 1$, en revanche, suggère qu'il y a des avantages en termes d'économies de coûts à réaliser en effectuant un investissement marginal en \mathbf{O} parce que les économies sur le coût des intrants variables couvriraient largement les coûts en capital associés.

Ainsi, si q_o est supérieur (inférieur) à 1, il y a sous (sur) accumulation du capital en \mathbf{O} , et il y a des incitations à l'investissement net (désinvestissement) ; ce n'est que lorsque $q_o = 1$ que l'entreprise est en équilibre à long terme. Ces ratios sont essentiels pour évaluer la logique économique qui sous-tend l'accumulation de capital, et donc la productivité de ces décisions d'investissement en termes d'augmentation de la rentabilité.

Une mesure supplémentaire de l'impact productif de l'accumulation de capital en innovation technologique est son effet sur la productivité des autres capitaux. Cela découle de la substituabilité entre les différentes composantes du capital et de l'impact résultant de l'investissement dans l'une de ces composantes sur la demande implicite des autres composantes.

Dans cette étude, l'effet des augmentations de O sur le produit marginal de tous les autres équipements E présente un intérêt particulier. Plus précisément, si $\partial Z_E / \partial O$ est positif (négatif), alors les accroissements de O augmentent (diminuent) la demande implicite de E , la rendant plus (moins) productive en réduisant les coûts variables ; ceci suggère que E et O sont complémentaires (substitués). S'ils sont des substitués, par exemple, des changements dans la composition du capital seront probables, car les entreprises réduiront la demande d'autres équipements de préférence à des équipements en information technologique en réponse à la baisse des prix ou à l'augmentation de l'efficacité du capital en O . Ces possibilités de substitution peuvent être mesurées sous forme d'élasticité, $\varepsilon_{EO} = (\partial Z_E / \partial O) * O / Z_E = (-\partial^2 G / \partial E \partial O) * O / Z_E$ en calculant les dérivées indiquées de l'équation (1).

Une mesure similaire peut être calculée pour évaluer les impacts directs de l'équipement en information technologique O sur les coûts et la productivité par le biais de son interaction avec le progrès technique global. Si le changement technique global (désincarné) a un effet de coût supérieur à l'impact technologique (incorporé) d'un capital de plus en plus sophistiqué, par exemple, ce progrès technique (à court terme) peut être évalué en calculant la dérivée partielle $-\partial G / \partial t = Z_t$.

Les effets de variation du stock d'équipements en information technologique O sur Z_t - l'interaction entre l'expansion du capital en information technologique et les tendances du progrès technique général — peuvent alors être représentés par l'élasticité $\varepsilon_{tO} = (\partial Z_t / \partial O) * (O / Z_t)$. Notons que cette élasticité est également étroitement liée à une élasticité de la mesure paramétrique habituelle des coûts de productivité (ou du changement technique) $\varepsilon_{Ct} = \partial \ln C / \partial t$ par rapport à O , car $\varepsilon_{Ct} = \partial G / \partial t (1/C)$ à partir de la définition des coûts totaux $C = G(.) + \sum_k p_k x_k$.

Un autre aperçu de l'effet productif de l'information technologique O concerne les effets de l'investissement en capital O sur les demandes d'intrants variables. Si les augmentations de O ont un effet neutre sur la minimisation des coûts pour L , N et M , alors les changements de O affecteraient les demandes de ces intrants de manière équiproportionnelle, et donc dans la même mesure que les coûts variables globaux. Dans la plupart des cas, cependant, on s'attendrait plutôt à une certaine non-neutralité de ce type de changement technique.

Si, par exemple, le progrès technologique sous la forme d'une augmentation du capital en information technologique O est orienté vers l'économie de main-d'œuvre et l'utilisation d'intrants, alors la baisse des coûts résultant de l'augmentation du capital O proviendra principalement de la réduction de la demande de main-d'œuvre (substituabilité du capital O et du L). Dans ce cas, $\partial \ln L / \partial \ln O < 0$ avec une baisse

en pourcentage supérieure à celle des coûts variables globaux [$\partial \ln G / \partial \ln O = -Z_o(O/G)$], et donc des autres intrants ($\partial \ln L / \partial \ln O < \partial \ln N / \partial \ln O$ et $\partial \ln L / \partial \ln O < \partial \ln M / \partial \ln O$). De plus, la tendance à l'utilisation des intrants impliquerait $\partial \ln M / \partial \ln O > \partial \ln G / \partial \ln O$.

Pour évaluer ces tendances, les élasticités de la demande d'intrants variables par rapport au capital O ont été construites comme $\varepsilon_{iO} = (\partial v_i / \partial O) * O / v_i$. Pour mieux comprendre les modèles de demande d'intrants et leurs déterminants, des élasticités analogues ont été calculées pour les autres composantes du capital, t et Y :

$$\varepsilon_{iE} = (\partial v_i / \partial E) * E / v_i; \varepsilon_{iS} = (\partial v_i / \partial S) * S / v_i$$

$$\varepsilon_{it} = (\partial v_i / \partial t) / v_i \text{ et } \varepsilon_{iY} = (\partial v_i / \partial Y) * Y / v_i$$

Ces paramètres ont servi également à calculer la PTF et à analyser les déterminants de son évolution (Feng & Serletis, 2008). La baisse des coûts et donc de l'utilisation des intrants pour un niveau de production donné représente une augmentation de l'efficacité des coûts et donc de la productivité. Dans ce contexte, le potentiel de réduction des coûts (nets) des intrants résultant de l'investissement en capital O peut être considéré comme une augmentation de la productivité à court terme si le rapport q est supérieur à 1. À long terme, la productivité augmente encore si des baisses de coûts supplémentaires sont générées par la mesure du changement technique ε_{Ct} ou si elle induit des économies d'échelle.

La mesure résiduelle standard de Solow de la croissance de la productivité primaire multifactorielle, donnée par

$$\varepsilon_{Yt} = \partial \ln Y / \partial t = d \ln Y / dt - \sum_i S_i d \ln v_i / dt \quad (6)$$

peut être dérivée de la fonction de production $Y = Y(v, t)$ (où v est un vecteur de tous les intrants de capital, travail et intrants intermédiaires) en prenant la dérivée totale de $Y(\cdot)$ par rapport à t , en transformant l'expression résultante en taux de croissance et en résolvant l'impact du changement technique $\partial \ln Y / \partial t$. Cela nécessite toutefois de supposer que le prix de chaque intrant est égal à son produit marginal (toutes les demandes d'intrants sont à l'équilibre à long terme). Elle ne permet pas non plus de considérer séparément les économies d'échelle — l'impact du changement technique ε_{Yt} devient une combinaison de tous les facteurs affectant la croissance de la production à des niveaux d'intrants donnés, y compris le sous-équilibre, les économies d'échelle ou la violation de toute autre hypothèse intégrée à l'analyse.

En supposant une concurrence parfaite, Ohta (1974) a démontré que $-\varepsilon_{Ct} = \varepsilon_{Yt}$ (où $\varepsilon_{Ct} = \partial \ln C / \partial t$, calculé à partir de la fonction de coût $C(p, Y, t)$, p est le vecteur des prix des intrants pour v). Il a aussi démontré que, s'il existe des économies d'échelle, alors $\varepsilon_{CY} = \partial \ln C / \partial \ln Y \neq 1$; cette égalité devient $-\varepsilon_{Ct} / \varepsilon_{CY} = \varepsilon_{Yt}$ (pour montrer la décomposition de la mesure primaire) ou encore $-\varepsilon_{Ct} = \varepsilon_{Yt} * \varepsilon_{CY}$ (pour représenter l'effet du changement technique indépendamment des économies d'échelle).

D'autres auteurs, dont Morrison (1985), ont montré que cette approche peut être élargie pour inclure le sous-équilibre de certains des facteurs de production (quasi-fixité des x_k variables) en (i) évaluant les parts des facteurs quasi fixes à leurs demandes implicites (en les multipliant par le ratio q), et (ii) en reconnaissant que ε_{Yt} pourrait être divisé par ε_{CY} afin de séparer à la fois les impacts de l'échelle et du sous-équilibre du changement technique, où ε_{CY} est une combinaison d'économie d'échelle de court et long termes. C'est-à-dire, $\varepsilon_{CY} = \varepsilon_{CY}^L(1 - \sum_k \varepsilon_{Ck})$, où L désigne le long terme et $\varepsilon_{Ck} = \partial \ln C / \partial \ln x_k = (x_k/C)(\partial G / \partial x_k + p_k) = (x_k/C)(p_k - Z_k)$, le négatif de l'évaluation nette de l'investissement dans x_k en termes de pourcentage [en utilisant la définition des coûts totaux $C = G(.) + \sum_k x_k p_k$]. Notons également que $(1 - \sum_k \varepsilon_{Ck})$ représente une combinaison des effets de fixité des x_k variables, et peut donc être considéré comme une mesure des coûts relativement à l'utilisation des capacités.

La mesure de la productivité facilite la mesure de la croissance de la productivité et de ses composantes, ainsi que la détermination des contributions du capital (et de sa quasi-fixité). Le résidu de la croissance de la productivité de l'équation (6) est désigné par ε_{Yt}^S pour indiquer qu'il s'agit d'un résidu "Solow" standard. Toutefois, lorsqu'il existe des fixités à court terme, cette mesure attribue de manière inappropriée les effets de rigidité au changement technique. Ceci est pris en compte dans les indices ε'_{Yt} et ε_{Yt} en évaluant les parts des facteurs quasi fixes par rapport à Z'_k et Z_k , respectivement, afin de générer des mesures représentant de manière plus appropriée le potentiel de croissance de la productivité à long terme. Enfin, ε'_{Ct} et ε_{Ct} ont été construites en multipliant les mesures de ε'_{Yt} et ε_{Yt} par celles de ε_{CY} .

Les mesures développées ci-dessus (indices des ratios q ; élasticités des demandes implicites, du progrès technique et de la demande d'intrants par rapport au capital O ; croissance de la productivité et ses composantes) fournissent donc une image détaillée des impacts du capital en R&D et en TIC sur la productivité, la performance économique (efficacité des coûts) et la composition des intrants.

4.1.2 Méthodes d'estimations

Pour l'estimation du système d'équations ci-dessus, un terme d'erreur additionnel a été ajouté à chacune des sept équations et le vecteur des termes d'erreurs résultant est censé être identiquement et indépendamment normalement distribué avec une matrice variance-covariance Ω . Le modèle a été estimé par la méthode des moindres carrés ordinaires à trois étapes, c'est-à-dire triples moindres carrés (*en anglais three-stage least squares, 3SLS*) avec comme variables instrumentales t , les stocks de capital en début d'années pour les quatre indicateurs d'investissement $R\&D, E, S$ et O et les valeurs décalées d'une année pour les autres variables $Y, R\&D, E, O, S, L, N, M, p_{R\&D}, p_E, p_S, p_O, \Delta R\&D, \Delta E, \Delta S$, et ΔO . L'utilisation de la méthode d'estimation et l'identification des modèles nécessite que les variables instrumentales disponibles soient affectées aux variables endogènes du système. Par conséquent, les variables endogènes sont donc :

- ✓ les niveaux d'investissement pour les intrants fixes à savoir la recherche et développement (R&D), l'information technologique (O), autres équipements (E) et les bâtiments de la firme (S) ;
- ✓ les quantités d'intrants variables à savoir l'énergie (N), les autres intrants variables intermédiaires (M) et la main-d'œuvre (L) ;
- ✓ le niveau d'output (Y).

Les prix des intrants variables ont été également instrumentés, car dans les équations d'Euler, ce sont les attentes des prix futurs p_L, p_N et p_M qui sont pertinentes.

Comme nous n'avons pas de contraintes d'équations croisées entre les paramètres et que la méthode 3SLS ne suppose aucune distribution spécifique des erreurs et que, de plus, les estimations 3SLS sont cohérentes, nous l'avons adoptée comme méthode préférée. Cette méthode, conforme à la méthode des moments généralisés (GMM), a été utilisée par plusieurs auteurs (Chan-Kang et al., 1999 ; Morrison, 1997b).

Les conditions de régularité (positivité, monotonie et concavité) imposées par la théorie économique ont été testées sans compromettre la flexibilité de la forme fonctionnelle générale de Leontief (Serletis & Feng, 2015; Feng & Serletis, 2008 ; Ryan & Wales, 2000). Nous avons évalué les valeurs ajustées de la fonction de coût à chaque observation afin de vérifier si la fonction de coût estimée est strictement positive (Hussain & Bernard, 2018; Feng & Serletis, 2008). Pour la monotonie, nous avons vérifié si les fonctions de demande d'intrants estimées sont toutes strictement positives à tous les points de données (Hussain & Bernard, 2018; Feng & Serletis, 2008). La condition nécessaire et suffisante pour la concavité impose que la matrice Hessienne de la dérivée seconde de la fonction de coûts soit négative semi-définie (Griffiths et al., 2000; Diewert & Wales, 1987). Afin de nous assurer que cette condition est remplie à des points de référence donnés, où tous les prix et l'output sont rendus unitaires (Feng & Serletis, 2008), nous avons appliqué la procédure développée, consistant à vérifier que les valeurs propres de la matrice Hessienne soient négatives à des points de référence donnés (Baum & Linz, 2009; Diewert & Wales, 1987) ou zéro (Feng & Serletis, 2008). Lorsque la matrice Hessienne est singulière, la condition nécessaire et suffisante pour qu'elle soit négative semi-définie est que sa valeur propre maximale est exactement égale à zéro, la singularité impliquant que, au moins une valeur propre soit égale à zéro (Griffiths et al., 2000).

Suivant Baum & Linz (2009), Ryan & Wales (2000) puis De Borger (1992), le système d'équations de demandes de facteurs a été estimé en ajoutant des termes d'erreurs et en appliquant une régression apparemment non liée afin de capter les possibles corrélations entre les termes d'erreurs et les différentes équations. Seules les équations de demande en facteurs (eq. 2) et celles des prix implicites (eq. 3) ont été estimées. Afin de corriger les problèmes éventuels d'hétéroscédasticité, chaque fonction de demande en facteurs a été normalisée en divisant chaque terme de l'équation (eq. 2) par l'output.

4.2 Productivité totale des facteurs et performances à l'exportation des PME manufacturières québécoises

Dans la deuxième étape, les performances à l'exportation des firmes manufacturières québécoises ont été analysées en mettant un accent particulier sur le rôle de la croissance de la PTF. Cette variable, estimée dans la précédente étape (ci-dessus), a donc été un des facteurs explicatifs des performances à l'exportation. Suivant Tamini & Valéa (2021), deux modèles ont été estimés, soit un modèle de marge extensive et un modèle de marge intensive (volume du commerce).

4.2.1 Impact de la productivité totale des facteurs sur la marge extensive

Dans les analyses empiriques, la marge extensive peut être définie à différents niveaux d'agrégation et diverses définitions ont été utilisées dans les travaux empiriques soit au niveau des expéditions (Hillberry & Hummels, 2008), au niveau des entreprises (Tamini & Valéa, 2021 ; Eaton et al., 2004) ou encore au niveau du secteur/produit (Gagné & Tamini, 2021 ; Tamini & Valéa, 2021 ; Dennis & Shepherd, 2007). Comme indiqué précédemment, le marché des États-Unis constitue la principale destination des exportations des PME manufacturières québécoises. Dans cette section, nous avons tout d'abord analysé les variables expliquant la capacité des PME manufacturières québécoises à avoir accès à plusieurs marchés à l'exportation : états américains pris séparément et autres pays dans le monde. Cette mesure de la marge extensive (EM_1), en plus d'être non continue, est bornée par zéro et le nombre maximum de pays et états potentiellement partenaires des PME manufacturières du Québec (281 dans notre base de données). Ainsi, pour chaque firme f , cette mesure est :

$$EM_1_f = \sum_d 1[Export_{f,d} > 0]$$

le paramètre d représentant la destination. La deuxième mesure est, le nombre de lignes tarifaires (HS8 (hs)) avec des flux non nuls par firme et par destination (EM_2) :

$$EM_2_f = \sum_{hs,d} 1[Export_{f,hs,d} > 0]$$

Enfin, la troisième mesure de marge extensive que nous analysons est le nombre total de lignes tarifaires faisant l'objet d'exportations par les entreprises (EM_3) :

$$EM_3_f = \sum_{hs,d} 1[Export_{f,hs,d} > 0]$$

Ces deux dernières étant des mesures de comptage, les estimations de marge extensive sont faites en utilisant une approche PPML (*pseudo poisson maximum likelihood*) (Santos Silva & Tenreyro, 2006). Les variables explicatives du modèle estimé sont, en plus de la PTF, l'âge des entreprises, le fait qu'elles aient ou non de multiples localisations, le fait qu'elles aient ou non de multiples établissements, la valeur de leurs actifs totaux et la valeur de leurs revenus totaux.

4.2.2 Impact de la productivité totale des facteurs sur la valeur des exportations (marge intensive)

Un modèle de valeur des exportations a été estimé en utilisant une approche PPML qui permet de prendre en compte les flux non nuls et de corriger pour une potentielle hétéroscédasticité (Santos Silva & Tenreyro, 2006 ; Gagné & Tamini, 2021). Le modèle général est de la forme :

$$A_{fat} = \beta_0 + \beta_1 TFP_{ft} + \beta_2 \ln Z_{ft} + \beta_3 \ln Z_{dt} + \sum_{t=1} \beta_t T + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

où A est le volume des exportations d'une firme donnée i vers le pays d , TFP représente le gain de productivité obtenu dans la première étape ci-dessus, Z consiste aux variables de contrôle associées à l'entreprise (f) ou au pays de destination des exportations (d) incluant des effets fixes destination, T est la variable binaire de temps pour contrôler les effets fixes liés au temps. Le paramètre ε constitue le terme d'erreur et est supposé suivre une distribution tronquée normale $N^+(0, \sigma_\varepsilon)$. Les paramètres β sont les paramètres estimés dont le plus important dans cette étude est β_1 .

4.3 Données et variables

Dans cette étude, nous avons utilisé des microdonnées de panel non cylindrées (en anglais *unbalanced panel data*) d'entreprises manufacturières du Québec. Les données de panel utilisées nous permettent de prendre en compte à la fois les effets temporels et individuels, ce qui offre une grande flexibilité dans la modélisation des différences spécifiques à l'entreprise (Li & Rosenman, 2001) et le contrôle de l'hétérogénéité non observée en incluant les effets individuels et les effets temporels (Baltagi, 2021 ; Das, 2019 ; Mike, 2019).

Nos estimations sont basées sur les données longitudinales des PME manufacturières québécoises et proviennent du Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux (FMLCN) de 2001 à 2018, soit sur une période de 18 années. Cette banque de données couvre les industries manufacturières dans toutes les provinces du Canada. Les entreprises appartenant aux codes du Système de Classification des Industries d'Amérique du Nord (SCIAN) à quatre chiffres pour les classes 31 à 33 ont été utilisées, soit 21 industries (Annexe 1). Les données sur les exportations proviennent de la base de données du *Commerce selon les caractéristiques des exportateurs* (CCE) de 2005 à 2018.

L'unité d'analyse concerne les PME manufacturières et par conséquent, les données utilisées sont au niveau des entreprises. Ainsi donc, la mesure de la PTF tient compte des gains de productivité découlant de l'étape de production finale, et les données requises sont disponibles dans la banque de données de Statistique Canada (Chan-Kang et al., 1999).

La variable output a été mesurée par le revenu total de l'entreprise. Comme les dépenses en *R&D* sont des investissements consentis en vue d'améliorer les

techniques et produits, il est donc naturel de vouloir analyser leurs effets sur la PTF. Les dépenses en R&D peuvent être de différente nature, mais ont toujours pour objet d'accroître le stock des connaissances en vue de nouvelles applications et innovations. Tout comme Tang & Wang (2019) puis Ghazalian & Fakhri (2017), les dépenses de R&D sont représentées comme une mesure agrégée de l'innovation. Cette mesure ne fait pas de distinction entre les parts des dépenses de R&D affectées au développement de nouveaux produits, à l'introduction de nouvelles technologies et à d'autres innovations. Les données relatives à l'investissement en R&D ont été mesurées par les dépenses totales en R&D et comprennent 18 composants.

Le capital de l'information technologique (**O**) permet aux entreprises d'organiser plus efficacement leurs intrants, de gérer leurs stocks et de mener des activités commerciales sur le plan international (Biagi, 2013). En suivant Baldwin et al. (2012), Berndt & Morrison (1995), Musgrave (1986) puis Gorman et al. (1985), les données relatives aux équipements d'information technologique ont été construites à partir des codes de quatre groupes de capital fixe : (4) équipements de bureau, ordinateurs et équipements de comptabilité et de gestion ; (10) équipements de communication ; (25) instruments de laboratoire et d'ingénierie ; puis (26) équipements de photocopie et ceux y afférents. Ces données ont permis de construire un agrégat relatif au capital de l'information technologique (**O**), mesuré par la somme des coûts d'acquisition en ordinateurs et les coûts d'acquisition en équipements de fabrication.

L'agrégat relatif aux autres équipements (**E**) composés de composants d'équipements non technologiques durables a été mesuré par les dépenses en machines et équipements. Enfin, l'agrégat de structure relatif aux bâtiments (**S**) de la firme a été mesuré par les coûts d'acquisition des bâtiments.

Le stock net de capital de chaque intrant fixe (**R&D**, **O**, **E** et **S**) à prix constant a été utilisé comme mesure de l'apport de chaque intrant fixe. Le coût des services du capital pour la **R&D**, l'information technologique **O**, les autres équipements **E** et pour les bâtiments **S** est la somme de l'amortissement, des loyers et des intérêts sur l'actif net de chaque PME manufacturière. Ces coûts de stock de capital ont été calculés suivant la méthode d'inventaire perpétuelle (PIM). La PIM additionne les investissements passés amortis et nécessite des données sur les investissements et les amortissements enregistrés pour construire le stock de capital (Collard-Wexler & De Loecker, 2016 ; Goldar, 2004 ; Hulten & Schreyer, 2010 ; OCDE, 2001 ; Christensen & Jorgenson, 1969). Ainsi, le stock de capital actuel K_{it}^e pour un actif agrégé e tel que les équipements et les bâtiments est égal à :

$$K_{it}^e = (1 - \delta_{st})K_{it-1}^e + I_{it} \quad (10)$$

où s indique l'industrie, i indexe l'entreprise, t est l'année, δ_{st} est le taux de dépréciation des actifs à l'échelle de l'industrie, I_{it} est la dépense réelle d'investissement brut de l'actif. Nous avons construit le stock de capital de chaque facteur fixe pour chaque entreprise en utilisant des taux de dépréciation tirés de la littérature : 18 % pour le capital des équipements, 7,3 % pour le capital des bâtiments, 33 % pour le capital de l'information technologique et 16 % pour le capital en R&D

(Tang & Wang, 2020, 2019; Baldwin et al., 2012 ; Huang & Diewert, 2011 ; Baghana & Mohnen, 2009 ; Corrado et al., 2009 ; Fournier, 2007). Suivant Baldwin et al. (2012) puis Corrado et al. (2009), le stock de capital de chaque facteur fixe pour la période de référence (2001) a été calculé comme suit :

$K_{i2001}^E = \frac{E}{(0.18+Y_{TCM})}$ pour le stock de capital en équipement de 2001, avec E la dépense en équipement en 2001 pour l'entreprise i , et Y_{TCM} le taux de croissance moyen du revenu total de l'entreprise i ;

$K_{i2001}^O = \frac{O}{(0.33+Y_{TCM})}$ pour le stock de capital en information technologique de 2001, avec O la dépense en information technologique en 2001 pour l'entreprise i ;

$K_{i2001}^S = \frac{S}{(0.073+Y_{TCM})}$ pour le stock de capital en bâtiments de 2001, avec S la dépense en bâtiments en 2001 pour l'entreprise i ;

$K_{i2001}^{R\&D} = \frac{R\&D}{(0.16+Y_{TCM})}$ pour le stock de capital en R&D de 2001, avec R&D la dépense en R&D de 2001 pour l'entreprise i .

Suivant Baldwin et al. (2012); Hulten & Schreyer (2010) ; Corrado et al. (2009) ; Schreyer (2004) ; Diewert (1992) puis Christensen & Jorgenson (1969), le prix de location ou le coût du service du capital P_t^e de chaque facteur fixe e (**R&D**, **O**, **E** et **S**) de chaque année a été calculé comme suit :

$$P_t^e = r_t q_{t-1} + \delta q_t - \bar{q}_t \quad (11)$$

Avec r_t le taux d'actualisation (ou taux de rendement) ; δ le taux de dépréciation de l'actif ; q_t le prix des immobilisations de la période t ; \bar{q}_t le gain du capital anticipé, représenté par la différence entre le prix de l'année en cours et celui de l'année précédente.

Les séries de données sur la main-d'œuvre **L**, l'intrant énergétique **N** et les intrants intermédiaires **M** ont été extraits de la banque de données de Statistique Canada. La dépense en main-d'œuvre a été mesurée par la masse salariale totale de l'entreprise, calculée en additionnant tous les salaires et traitements des T4 soumis avec des NAS valides. Tout comme Huang (1991), le coût de la main-d'œuvre a été calculé comme étant le total des salaires versés aux travailleurs de la production. La dépense en intrants intermédiaires a été mesurée par la différence entre le produit brut et la valeur ajoutée ; le produit brut étant la somme du revenu total et du revenu total agricole ; et la valeur ajoutée la somme du revenu net/perte nette avant impôts, de la masse salariale et la déduction pour amortissement du capital. La dépense en énergie a été mesurée par la différence entre le coût total des ventes et celui des intrants intermédiaires. Les données sur les variables **L**, **N** et **M** ne concernent que les intrants utilisés dans les PME de production et ne tiennent pas compte de l'utilisation des intrants dans les bureaux administratifs centraux et auxiliaires des entreprises manufacturières. Bien que cette différence puisse affecter les mesures de

L, *N* et *M*, il est probable que la mesure de la production de l'entreprise ne soit pas affectée de manière significative par l'exclusion des bureaux administratifs centraux et auxiliaires (Berndt & Morrison, 1995).

Afin d'étudier la demande de travail, de capital, d'énergie et d'intrants intermédiaires dans l'industrie manufacturière québécoise, nous avons exploité les données sur les prix unitaires et les quantités utilisées de chaque facteur au sein de chaque entreprise. Les bases de données sur les entreprises n'intègrent pas souvent les quantités et prix des facteurs et de l'output, mais incluent seulement les dépenses en intrants et les revenus tirés des ventes des outputs (Watson, 2018). Ainsi, les données sur les prix et les quantités d'intrants par PME manufacturière ont été construites et ont intégré le rendement des obligations en utilisant la technique de calcul proposée par Harper et al. (1989), et en supposant une compétition parfaite sur les marchés permettant alors de considérer que les prix des intrants/outputs de l'industrie manufacturière sont ceux des entreprises, et que ces dernières achètent les intrants ou vendent leurs outputs à ces prix. Le prix unitaire de la main-d'œuvre a été construit comme le rapport entre la masse salariale annuelle et le nombre total d'heures annuel. Le nombre total d'heures annuel a été calculé en multipliant le nombre moyen mensuel d'employés de l'entreprise par 12 mois par le nombre d'heures moyen travaillé par semaine dans l'industrie manufacturière du Québec (36,89) et par le nombre de semaines (4,33) (Statistique Canada, Tableau 14-10-0208-01). Le prix unitaire de l'énergie a été mesuré comme étant le rapport entre la dépense en énergie par la quantité moyenne consommée en énergie. Le prix unitaire des intrants intermédiaires a été construit en utilisant le Tableau entrée-sortie (TES) 2018 de Québec (Statistique Canada, Tableaux 36-10-0478, 36-10-0479 et 36-10-0438) en nous inspirant de Diewert (1992) et de Leontief (1986). Nous avons alors pris la valeur des intrants intermédiaires en \$ constant de 2018 des entreprises manufacturières de Québec (soit 7 747 208,12 \$) et l'indice de prix de 2018 des matières premières (100,98) pour construire un indice de quantité des intrants intermédiaires. Les valeurs des intrants intermédiaires en \$ courant de chaque année ont été ensuite transformées en \$ constant de 2018 au moyen du taux d'inflation maintenu à 2 % de 2001 à 2018 par la [Banque du Canada](#). Puis, le prix unitaire des intrants intermédiaires de chaque année a été généré comme étant le rapport entre la valeur des intrants intermédiaires en \$ constant de 2018 de chaque année par l'indice de quantité des intrants intermédiaires de 2018 (soit 7 747 208,12/100,98).

Les indices de prix des facteurs variables (*L*, *N* et *M*) et des facteurs fixes (***R&D***, ***O***, ***E*** et ***S***) ont été utilisés afin de contrôler les fluctuations de prix sur le marché manufacturier québécois (Statistique Canada, Tableau 36-10-0206-01). Le revenu total et les dépenses en intrants ont été déflatés pour refléter les ajustements pour le changement de qualité incorporés. Suivant Goldar (2004), le revenu total a été déflaté par l'indice du produit intérieur brut aux prix du marché. Les dépenses en salaires *L* ont été déflatées par l'indice des salaires du secteur manufacturier. Les dépenses en intrants intermédiaires *M* ont été déflatées par l'indice des prix des matières premières brutes. Les dépenses en énergie *N* ont été déflatées par l'indice

de prix de l'énergie de l'industrie manufacturière (Statistique Canada, Tableau 18-10-0204-01). Les dépenses en bâtiments ont été déflatées par l'indice des prix des bâtiments non résidentiels, les dépenses en équipements par l'indice des prix des machines et matériels. Les dépenses en information technologique et celles en R&D ont été déflatées par l'indice des produits de propriété intellectuelle. Le Tableau 3 présente des statistiques descriptives des principales variables.⁸

Tableau 3 : Données et statistiques descriptives associées (sorties)

Définition des variables	Moyenne	Écart-type
Valeur annuelle des exportations par entreprise (\$)	18 257,31 ⁹	1 343 318,14
Âge des entreprises (an)	26,81	5,58
Dépense annuelle en autres intrants variables utilisés par l'entreprise (\$)	7 511 300	117 369 000
Dépense annuelle en main-d'œuvre utilisée par l'entreprise (\$)	2 711 000	33 482 800
Dépense annuelle d'énergie utilisée par l'entreprise (\$)	2 144 600	9 461 700
Dépense annuelle en investissement dans la recherche-développement de l'entreprise (\$)	1 148 000	6 701 600
Dépense de l'investissement en information technologique de l'entreprise (\$)	937 800	3 312 400
Dépense annuelle de l'investissement en autres équipements de l'entreprise (\$)	32 147 000	370 621 000
Dépense annuelle de l'investissement en bâtiments de l'entreprise (\$)	1 553 600	5 258 500
Valeur (revenu) totale annuelle de la production de l'entreprise (\$)	20 026 100	83 597 200

5 Résultats

5.1. Ratios q , demande implicite d'intrants

Les valeurs moyennes des demandes implicites (q_E, q_S, q_O, q_{RD}) et des élasticités croisées et du changement technique induit par R&D ($\varepsilon_{ORD}, \varepsilon_{ERD}, \varepsilon_{SRD}, \varepsilon_{LRD}, \varepsilon_{EO}, \varepsilon_{SO}, \varepsilon_{ES}$) sont présentées dans le Tableau 10 (Annexe 5), les indices sont reportés de 2001 à 2018.

La valeur moyenne de la demande implicite q_{RD} entre 2001 et 2018 est de 0,236. La demande implicite en R&D, a d'abord augmenté (0,360) entre 2001 et 2005, avant de chuter entre 2006 et 2011 (0,163) et a ensuite augmenté (0,210) entre 2012 et 2018, sans toutefois atteindre le niveau de 2001-2005. Ainsi, les deux périodes (2006-2011 et 2012-2018) ont été caractérisées par une baisse de la demande en R&D des PME manufacturières québécoises, dont le facteur explicatif pourrait être la tendance

⁸ Les données proviennent de Statistique Canada et selon les règles de confidentialité des données, seules les moyennes et les écarts-types peuvent être publiés.

⁹ Cette moyenne tient compte des flux de commerce nuls.

observée dans le prix relatif de l'intrant fixe R&D. La période 2001-2005 étant celle de grande transition technologique, les entreprises ont pu trouver l'importance d'investir davantage dans la R&D afin de s'adapter aux innovations technologiques. Toutefois, l'incitation observée s'est estompée pour diverses raisons, dont le prix de l'intrant et la concurrence exercée sur le marché de la R&D.

La valeur moyenne de la demande implicite q_O de 2001-2018 est de -0,011, mais a chuté à -0,041 entre 2001 et 2005, a ensuite augmenté et atteint 0,008 entre 2006 et 2011, et enfin a chuté atteignant -0,007 entre 2012 et 2018. L'évolution de la demande en information technologique montre une grande fluctuation et un comportement de désinvestissement en TIC (O) des entreprises entre 2012 et 2018. On observe une tendance à la prudence des entreprises à investir en TIC au début de l'année 2000. La demande en TIC a augmenté entre 2006 et 2012 leur permettant de s'ajuster rapidement, mais s'est estompée rapidement, probablement en raison des coûts d'ajustement.

Les interactions entre les intrants du capital fixe sont analysées par les élasticités ε_{kl} (Tableau 10). Le signe des élasticités ε_{kl} indique la nature des liens entre ces intrants du capital fixe. Ainsi, entre 2001 et 2018, les intrants TIC et R&D ($\varepsilon_{kl} = 2,28e^{-7}$), S et TIC ($\varepsilon_{kl} = 3,72e^{-6}$), E et S ($\varepsilon_{kl} = 2,03e^{-7}$) peuvent être considérés comme complémentaires alors que E et R&D ($\varepsilon_{kl} = -7,66e^{-8}$), S et R&D ($\varepsilon_{kl} = -3,39e^{-7}$), E et TIC ($\varepsilon_{kl} = -7,33e^{-6}$) sont substituables.

Le progrès technique engendré par les investissements en R&D et TIC devrait générer une hausse de la productivité et contribuer à l'accélération de la croissance, étant donné que l'innovation et le progrès technique assurent surtout la croissance de long terme. Le coefficient négatif associé au progrès technique de l'investissement en R&D ($\varepsilon_{tRD} = -9,28e^{-7}$) signifie qu'une augmentation de l'investissement en R&D entraîne une diminution du progrès technique. Cela peut sembler contre-intuitif, car on pourrait penser que plus les entreprises investissent en R&D, plus elles seraient susceptibles d'améliorer leurs technologies, ce qui conduirait à un progrès technique plus important. Cependant, l'investissement en R&D peut être considéré comme un substitut au progrès technique, ce qui signifie que les entreprises utilisent l'investissement en R&D pour compenser la faible innovation ou le manque de progrès technique. Dans ce contexte, une augmentation de l'investissement en R&D pourrait indiquer que les entreprises rencontrent des difficultés à innover par elle-même, ce qui explique pourquoi elles doivent augmenter leurs dépenses en R&D. Ainsi, nos résultats indiquent que les entreprises qui investissent davantage en R&D ne produisent pas nécessairement plus de progrès technique, car cet investissement pourrait servir à compenser une faible innovation interne. Ainsi, le retard technologique semble important à rattraper par les PME manufacturières québécoises. Ce résultat peut avoir plusieurs explications, soit la diminution des budgets annuels de R&D des PME québécoises, lesquelles seraient confrontées à des pressions financières ou à des priorités concurrentes qui réduisent la quantité de ressources consacrées à la R&D, soit l'efficacité accrue de la R&D qui autorise les PME à dépenser moins de ressources en raison de l'efficacité de gestion des programmes

de recherche, soit enfin la diminution au fil du temps, des coûts de la R&D grâce à des progrès techniques, à une concurrence accrue sur le marché de la R&D, ou à d'autres facteurs qui réduisent les coûts.

Les PME manufacturières qui investissent dans l'innovation (R&D et O) sont-elles moins dépendantes de la main-d'œuvre, un facteur qui limite la croissance de la production et la productivité au Québec ? Quelle peut être la relation entre R&D et L, et entre O et L ? Quelle est la croissance de la PTF qui en résulte ? Les impacts de l'augmentation des intrants de capital fixe sur la demande en intrants variables sont mesurés par les élasticités ε_{ki} , les indices générés sont indiqués dans le Tableau 11. L'impact de l'investissement en R&D sur la demande en travail est positif entre 2001 et 2018 ($\varepsilon_{LRD} = 7,98e^{-7}$). En décomposant par période, cet impact demeure positif entre 2001 et 2005 ($\varepsilon_{LRD} = 1,05e^{-5}$) et 2012 et 2018 ($\varepsilon_{LRD} = 5,6e^{-7}$), mais négatif entre 2006-2011 ($\varepsilon_{LRD} = -5,37e^{-6}$). Bien que l'ampleur ne soit pas trop grande, le niveau atteint entre 2001 et 2005 reste relativement plus important. Ainsi, l'augmentation de l'investissement en R&D durant la première période a induit une augmentation de la demande en main-d'œuvre permettant ainsi aux entreprises de s'ajuster et de maîtriser les innovations puis s'en est suivie une phase d'automatisation où la R&D et la main-d'œuvre sont devenues substituables entre 2006 et 2011. Cette automatisation grâce aux efforts en R&D permet aux entreprises de bénéficier des effets positifs induits et d'économiser sur les coûts de main-d'œuvre. Cette phase de flexibilité où main-d'œuvre et innovations se substituent caractérise l'industrie manufacturière et justifie les choix d'investissements en R&D des entreprises. De plus, ce résultat indique qu'il faut un certain temps avant que les effets de l'investissement en R&D ne commencent à produire ses effets positifs. Toutefois, cette phase d'automatisation s'est vite estompée entre 2012 et 2018 avec le développement d'innovations exigeant une utilisation plus accrue de main-d'œuvre. La pénurie de main-d'œuvre à laquelle fait face l'industrie manufacturière québécoise pourrait être un facteur favorable au désinvestissement en R&D des entreprises dans cette dernière période.

L'effet de l'investissement en R&D sur la demande en énergie est aussi intéressant à analyser. Globalement, l'effet de l'investissement en R&D sur la demande en énergie est positif ($\varepsilon_{NRD} = 2,99e^{-8}$), indiquant qu'un accroissement de l'investissement en R&D a induit une hausse de la consommation en énergie entre 2001 et 2018. Cela suggère que les entreprises investissent dans des innovations consommatrices d'énergie. Toutefois, ces effets et leur ampleur diffèrent d'une période à une autre. La dernière période (2012-2018) indique qu'une augmentation des dépenses en R&D induit une baisse de la demande en énergie ($\varepsilon_{NRD} = -1,14e^{-8}$), suggérant alors que les entreprises ont pris un virage plus vert dans la dernière période en investissant dans des innovations moins énergivores. L'augmentation de l'investissement en R&D fait augmenter la demande en intrants intermédiaires, insinuant que les activités de R&D sont consommatrices d'intrants ou de services ($\varepsilon_{MRD} = 1,69e^{-6}$). Toutefois, l'effet a été plus important entre 2001 et 2005 ($\varepsilon_{MRD} = 3,17e^{-6}$), a baissé entre 2006

et 2011 ($\varepsilon_{MRD} = 6,88e^{-8}$), puis a augmenté entre 2012 et 2018 ($\varepsilon_{MRD} = 2,23e^{-6}$) sans pour autant atteindre le niveau de 2001-2005.

L'effet de l'investissement en information technologique sur la demande en facteurs variables présente un intérêt particulier à analyser compte tenu du lien entre R&D et TIC. En effet, l'effet de l'investissement en O sur la demande de main-d'œuvre a été positif ($\varepsilon_{LO} = 5,39e^{-6}$) entre 2001 et 2018, avec toutefois un effet négatif ($\varepsilon_{LO} = -2,65e^{-6}$) entre 2006 et 2011. Cela suggère que l'augmentation de l'investissement en O des entreprises s'accompagne d'une augmentation de la demande en travail et indique une certaine rigidité entre les facteurs O et L. Cet effet, quoique positif et modeste, était plus important entre 2001 et 2006 ($\varepsilon_{LO} = 2,69e^{-5}$) qu'en 2012-2018 ($\varepsilon_{LO} = 6,14e^{-9}$). Les facteurs O et L peuvent être alors considérés comme complémentaires sur toute la période, et le changement technologique dû à l'information technologique est relativement consommateur de main-d'œuvre, à cause des processus d'apprentissage et d'adaptation des entreprises. Parce que toute innovation nécessite des adaptations et des effets d'apprentissage.

L'augmentation de l'investissement en O fait baisser la demande en énergie ($\varepsilon_{NO} = -4,93e^{-8}$) entre 2001 et 2018, et confirme la tendance d'investissements en technologies non énergivores. L'effet de l'augmentation des investissements en O sur la demande en M est positif ($\varepsilon_{MO} = 2,83e^{-7}$), ce qui indique une complémentarité entre ces deux facteurs et suggère que l'investissement en O s'accompagne d'une hausse de l'utilisation des intrants intermédiaires. Ainsi, le changement technologique dû à l'information technologique est relativement consommateur d'intrants intermédiaires. Les effets de l'augmentation des investissements en S sur la demande en intrants variables sont positifs ($\varepsilon_{LS} = 1,91e^{-6}$; $\varepsilon_{NS} = 1,31e^{-7}$; $\varepsilon_{MS} = 1,35e^{-6}$), exprimant alors une complémentarité avec chacun des intrants variables. L'expansion des PME ne peut que provenir d'une augmentation des activités et donc de la demande en facteurs variables.

5.2 Effets d'échelle et du progrès technique

Les estimations confirment l'existence d'économie d'échelle (*SEC*) au sein des entreprises manufacturières du Québec entre 2001-2018 car les valeurs de *SEC* $\neq 1$ (Tableau 4). L'effet d'économie d'échelle est négatif sur toute la période 2001-2018 (-0,37), mais positif et relativement plus important entre 2001-2005 comparativement aux deux autres périodes à cause de l'impact faible, voire négatif, du progrès technique et des économies réalisées sur la demande en main-d'œuvre et en biens intermédiaires. Les valeurs moyennes estimées de *SEC* sont faibles et inférieures à 1 en raison de l'ampleur des coûts des facteurs fixes (*R&D*, *O*, *E* et *S*), du niveau de l'output (revenu) des entreprises et du secteur manufacturier qui implique d'importants coûts. Les estimations indiquent clairement que les coûts augmentent moins que proportionnellement à l'augmentation des revenus des entreprises manufacturières du Québec.

Tableau 4 : Mesure de croissance de la productivité totale des facteurs.

Année	Effet d'Économie d'échelle (SEC)	Croissance de la productivité totale des facteurs de court terme (CSFP)	Croissance de la productivité totale des facteurs de long terme (LTFP)	Croissance de la productivité totale des facteurs duale de coût de court terme (CSFP)
2002	-0,38	-0,93	-0,001	-1,31
2003	0,15	-0,94	-0,0016	-0,79
2004	0,63	-0,92	-0,0022	-0,29
2005	0,21	-0,50	-0,0017	-0,29
2006	-0,87	-0,11	-0,00034	-0,98
2007	0,09	-0,07	-0,00021	0,02
2008	-0,39	-0,20	-0,0011	-0,59
2009	-0,11	-0,12	-0,00055	-0,23
2010	2,23	-0,15	-0,00098	2,08
2011	0,69	-0,00	-0,00003	0,69
2012	-0,46	0,15	0,0017	-0,31
2013	-0,16	0,11	0,0016	-0,05
2014	-0,06	0,12	0,0018	0,06
2015	0,66	-0,23	-0,0038	0,43
2016	-0,56	0,08	0,0018	-0,48
2017	0,93	-0,09	-0,0019	0,84
2018	1,21	-0,12	-0,004	1,09
2001-2018	-0,37	-3,4e-1	-7,62e-4	-0,71
2001-2005	0,94	-1,1	-1,54e-3	-0,16
2006-2011	-0,73	-1,08e-1	-5,35e-4	-0,84
2012-2018	0,42	2,86e-3	-4e-4	0,42

Note : Investissement dans la recherche-développement (*R&D*), l'information technologique (*O*), autres équipements (*E*), bâtiments de la firme (*S*), énergie (*N*), autres intrants variables intermédiaires (*M*) et la main-d'œuvre (*L*) ; *Y* est l'output global et *t* est l'horizon de temps qui permet d'inclure le changement technologique.

5.3 Croissance de la PTF

Les estimations indiquent globalement une décroissance de la PTF de court terme entre 2001-2018 (-0,34), malgré la croissance positive (+0,003) atteinte entre 2012-2018 et les efforts continus pour rattraper le retard cumulé de croissance : -1,10 et -0,01 entre 2001-2005 et 2006-2011, respectivement. Le ralentissement de la croissance de la PTF de court terme, considéré comme un résidu de Solow, s'est traduit par une baisse moins importante de la croissance des coûts de court terme (CSFP), accentuée entre 2001-2005 et 2006-2011 en raison des coûts d'ajustement. Notons que la croissance de la PTF de court terme entre 2012-2018 s'est traduite

également par une croissance des coûts de court terme. Il en découle un ralentissement de la croissance, voire une croissance nulle de la PTF de long terme en raison du niveau d'utilisation et des coûts partagés des facteurs. Finalement, l'impact de l'investissement en R&D et en TIC n'a pas induit une croissance durable de la PTF probablement en raison de l'incitation faible à innover, le retard accumulé étant plus significatif à rattraper et les effets de progrès technique de R&D étant d'ailleurs négatifs. L'existence d'économie d'échelle expliquerait le désir d'expansion des firmes. Une part des effets observés résulterait de l'effet de l'économie d'échelle étant donné que l'output (revenu d'entreprise) augmente ou diminue, et non du changement technique.

Le taux de croissance de la production (revenu) a fluctué entre 2001-2018 avec une moyenne de 0,054, et une tendance baissière entre 2006-2011 (0,028) et 2012-2018 (0,054), comparée à celle de 0,084 entre 2001-2005 (Tableau 5). Quant au taux de croissance de tous les intrants (du capital fixe et variable), celui-ci suit la même tendance baissière, et s'est même aggravé, particulièrement pour *R&D* et *O* entre 2012-2018. Bien que faibles voire négligeables, les contributions de la croissance des intrants (du capital fixe et variable) sont soit positives, soit négatives et sont pratiquement nulles entre 2012-2018 en ce qui concerne singulièrement *R&D* et *O* (Tableau 6). La faible croissance de la PTF pourrait être attribuée au progrès technique ou aux économies d'échelle, et partiellement aux faibles coûts partagés des intrants du capital (comme le montre la contribution de chacun des intrants de capital fixe).

Tableau 5 : Taux de croissance de la production et des intrants

Année	% ΔY	% ΔRD	% ΔO	% ΔE	% ΔS	% ΔL	% ΔN	% ΔM
2002	0,15	0,26	0,28	0,14	0,15	0,09	-0,01	0,08
2003	0,09	0,36	0,23	0,18	0,20	0,09	0,12	0,09
2004	0,11	0,29	0,16	0,16	0,17	0,10	0,22	0,22
2005	0,07	0,25	0,10	0,14	0,15	0,10	0,25	0,17
2006	0,06	0,20	0,07	0,08	0,10	0,05	0,02	0,15
2007	0,03	0,14	0,00	0,13	0,09	0,06	0,06	0,08
2008	0,03	0,12	0,09	0,12	0,10	0,03	0,29	0,14
2009	-0,08	0,08	-0,02	0,08	0,08	-0,07	-0,42	-0,33
2010	0,06	0,03	-0,01	0,06	0,04	0,07	0,16	0,17
2011	0,07	-0,01	0,00	0,06	0,08	0,09	0,30	0,16
2012	0,06	-0,02	0,02	0,06	0,07	0,07	0,01	0,00
2013	0,02	-0,03	0,03	0,05	0,05	0,04	0,09	0,00
2014	0,05	-0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,02	0,05
2015	0,06	-0,08	0,02	0,06	0,04	0,07	-0,42	-0,19
2016	0,04	-0,05	-0,22	0,08	0,03	0,05	-0,07	-0,03
2017	0,07	-0,09	-0,23	0,05	0,03	0,04	0,16	0,15
2018	0,08	-0,10	-0,21	0,06	0,03	0,08	0,23	0,14
2001-2018	0,054	0,071	0,021	0,088	0,082	0,056	0,056	0,058
2001-2005	0,084	0,232	0,154	0,124	0,134	0,076	0,116	0,112
2006-2011	0,028	0,093	0,022	0,088	0,082	0,038	0,068	0,062
2012-2018	0,054	-0,063	-0,076	0,061	0,046	0,057	0,003	0,017

Note : Investissement dans la recherche-développement (*R&D*), l'information technologique (*O*), autres équipements (*E*), bâtiments de la firme (*S*), énergie (*N*), autres intrants variables intermédiaires (*M*) et la main-d'œuvre (*L*) ; *Y* est l'output global et *t* est l'horizon de temps qui permet d'inclure le changement technologique.

Tableau 6 : Contributions de la croissance des intrants

Année	<i>RD</i> CONT	<i>O</i> CONT	<i>E</i> CONT	<i>S</i> CONT	<i>L</i> CONT	<i>N</i> CONT	<i>M</i> CONT
2002	0,01	0,01	0,10	0,01	0,03	0,00	0,03
2003	0,01	0,01	0,06	0,00	0,03	0,01	0,04
2004	0,01	0,00	0,07	-0,00	0,03	0,02	0,10
2005	0,01	0,00	0,07	-0,00	0,03	0,04	0,09
2006	0,01	0,00	0,03	0,00	0,02	0,01	0,08
2007	0,01	0,00	0,05	0,00	0,02	0,01	0,05
2008	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01	0,05	0,09
2009	0,01	-0,00	0,08	0,01	-0,03	-0,09	-0,20
2010	0,00	0,00	0,07	0,00	0,03	0,02	0,10
2011	0,00	0,00	0,06	0,01	0,03	0,07	0,11
2012	0,00	0,00	0,07	0,01	0,02	-0,00	0,00
2013	-0,00	0,01	0,06	0,01	0,02	0,02	0,00
2014	-0,00	0,01	0,09	0,01	0,02	0,01	0,04
2015	-0,00	0,01	0,10	0,01	0,02	-0,08	-0,11
2016	-0,00	-0,01	0,10	0,00	0,02	-0,01	-0,01
2017	-0,00	-0,01	0,09	0,00	0,02	0,03	0,09
2018	-0,00	-0,01	0,10	0,01	0,03	0,04	0,09
2001-2018	0,0044	0,0017	0,0711	0,005	0,0194	0,0083	0,0328
2001-2005	0,008	0,004	0,06	0,002	0,024	0,014	0,052
2006-2011	0,0067	0,0017	0,0617	0,005	0,0133	0,0117	0,0383
2012-2018	0,00	0,00	0,0871	0,0071	0,0214	0,0014	0,0143

Note : Investissement dans la recherche-développement (*R&D*), l'information technologique (*O*), autres équipements (*E*), bâtiments de la firme (*S*), énergie (*N*), autres intrants variables intermédiaires (*M*) et la main-d'œuvre (*L*) ; *Y* est l'output global et *t* est l'horizon de temps qui permet d'inclure le changement technologique.

5.4 Impact de la productivité totale des facteurs sur les différentes mesures de marge extensive

Le Tableau 7 présente les résultats des estimations du modèle de marge extensive. Il montre que dans l'échantillon des entreprises manufacturières québécoises et sur la période considérée, la croissance de la productivité n'a eu un impact d'une part que sur le nombre de destinations des exportations et, d'autre part, uniquement si la destination était un des États des États-Unis.

Tableau 7 : Résultats des estimations du modèle de marge extensive

Variables dépendantes	EM_1		EM_2		EM_3	
	Coef.	e.s	Coef.	e.s.	Coef.	e.s.
Variables explicatives						
PTF	-0,011	0,0123	0,027	0,0248	0,014	0,0128
PTF_USA	0,024*	0,0132	0,002	0,0148	<0,001	0,0061
Log de l'âge	-0,313	0,7142	0,25	1,1995	0,304	0,7258
Multiples localisations (oui=0)	0,245	0,5903	-0,498	0,7843	-0,16	0,5156
Multiples établissements (oui=0)	-0,153	0,7895	0,788	1,0548	0,534	0,5715
Log des actifs totaux	0,204	0,2459	0,097	0,3953	<0,001	0,223
Log du revenu total	-0,387	0,3032	-0,576	0,4914	-0,122	0,2687
Effets fixes années	Oui		Oui		Oui	
Effets fixes industries (SCIAN3)	Oui		Oui		Oui	
Log de vraisemblance	-4.3e ⁺⁵		-3e ⁺⁷		-4.4e ⁺⁶	

* p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01. Erreurs standard (e.s.) corrigées avec les clusters des entreprises.

5.5 Impact de la productivité totale des facteurs sur la valeur des exportations (marge intensive)

Le Tableau 8 présente les résultats de l'estimation du modèle de marge intensive. Les résultats montrent que l'hypothèse nulle d'une absence d'effet (coefficient nul) sur intensive de la croissance de la PTF ne peut être rejetée que seulement lorsque la destination est un des États des États-Unis. Pour ces États, l'effet est négatif et significatif au seuil de 1 %. Ce résultat ainsi que celui de la marge extensive semblent suggérer qu'en multipliant les destinations, les PME manufacturières québécoises réduisent les volumes par destination. Ce tableau 8 montre également que, pour les entreprises manufacturières québécoises de notre échantillon, la taille des entreprises mesurée par le revenu total a un effet positif sur la marge intensive. Et, le fait de ne pas avoir de multiples localisations et donc de concentrer la production, a également un effet positif sur la marge intensive.

Tableau 8 : Résultats de l'estimation du modèle de marge intensive

Variables explicatives	Valeur dépendante : valeur du commerce (hs8)	
	Coef.	e.s.
Entreprises		
PTF	-0,005	0,0103
PTF_USA	-0,011***	0,004
Log de l'âge	-0,885	0,9645
Multiples localisations (oui=0)	0,689*	0,389
Multiples établissements (oui=0)	-0,72	0,4575
Log des actifs totaux	0,078	0,1989
Log du revenu total	0,562*	0,2997
Destination des exportations		
Log GDP destination	-0,305	0,2131
Log valeur ajoutée secteur manufacturier destination	6,929	4,7125
Appartenance à l'OMC du pays de destination	0,765***	0,2343
Accord commercial entre le Canada et le pays de destination	0,302	0,2197
Effets fixes années	Oui	
Effets fixes destinations	Oui	
Effets fixes industries (SCIAN3)	Oui	
Log de vraisemblance	-1.1 ^{e+11}	

* p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01. Erreurs standard (e.s.) corrigées avec les clusters des entreprises.

6 Discussion

Conformément à la littérature existante, nous avons appliqué la technique de régressions apparemment non liées (Zellner & Huang, 1962) pour estimer le système d'équations de demande de facteurs variables (main-d'œuvre, énergie et biens intermédiaires) et l'équation d'Euler pour dériver les prix implicites de quatre facteurs fixes (R&D, TIC, équipements et bâtiments) pour les PME manufacturières du Québec, comme l'ont fait d'autres auteurs (Lorenzo, 2012; Morrison, 1997b, 1988). L'approche duale de fonction de coût a été utilisée pour contribuer à enrichir le débat sur ses contributions empiriques (Mairesse & Mohnen, 1990). La fonction de coût généralisée de Leontief a été alors estimée avec des données de panel d'entreprises afin de mesurer les effets de substitution ou de complémentarité entre les quatre intrants de capital fixe et les trois intrants variables.

6.4 Impacts faibles de l'investissement en R&D et en information technologique

Les estimations indiquent un faible impact, voire négatif, de l'investissement en *R&D* et en TIC sur la croissance de la PTF des entreprises manufacturières québécoises. Bien que cet effet de la *R&D* sur la croissance de la PTF de court ou long terme existe, il est toutefois faible, voire relativement modeste, comme l'ont souligné les travaux de Mairesse & Mohnen (1990), et expliquerait l'écart de productivité constaté depuis

quelques décennies avec les entreprises concurrentes de l'Ontario, du reste du Canada et des É.-U. (Baldwin et al., 2012; Therrien & Hanel, 2011; Baldwin & Green, 2008; Chan-Kang et al., 1999). Ainsi, reconnaître que la contribution des investissements de R&D à la productivité est relativement modeste à court terme n'enlève rien à leur caractère fortement productif de long terme. Ce résultat met aussi en évidence la complexité de la contribution des dépenses en R&D à la croissance de la productivité des PME manufacturières (Tang & Wang, 2019). À long terme, les estimations montrent que cet effet demeure négatif (effet temporel) et dépend de l'efficacité d'utilisation ou de l'intensité des dépenses de R&D, des stratégies et objectifs des entreprises, comme l'ont montré d'autres travaux en particulier, ceux de Tang & Wang (2019), Baldwin et al. (2016) et Aw et al. (2011). Ainsi, accentuer l'innovation auprès des PME manufacturières peut prendre du temps avant de produire des résultats positifs (Josée & Claude, 2003). Bien que l'innovation stimule la croissance, elle peut réduire la productivité à court terme exigeant ainsi de la patience dans les interventions des pouvoirs publics (Josée & Claude, 2003). Il paraît alors important de développer à court terme les capacités d'innovation des PME qui, conjuguées à des activités de R&D formalisées, favoriseront la compétitivité et la productivité à long terme. Les effets cumulés du retard technologique sur plusieurs décennies semblent importants à rattraper pour que les effets positifs des investissements en R&D et en TIC ne s'expriment à court terme.

Cette étude confirme la décroissance ou la très faible croissance de la PTF et le retard de productivité des entreprises de l'industrie manufacturière québécoise durant les années 2000 par rapport à leurs homologues des É.-U., de l'Ontario et du reste du Canada (Gu & Wang, 2013; Basu, 2010; Gagné et al., 2003). Les estimations confirment celles de Tang & Wang (2020) qui ont indiqué la diminution de la productivité canadienne de 2000 à 2009. En effet, cette diminution de la productivité après 2000 dans le secteur de la fabrication canadienne a principalement découlé d'un recul de la productivité des grandes entreprises (Tang, 2017) ou des exportateurs (Baldwin et al., 2011). Cependant, Baldwin et al. (2011) ont également soutenu qu'au moins, la moitié de la baisse de la productivité était attribuable à la nature procyclique de la croissance de la productivité découlant de l'utilisation de la capacité.

6.2 Rigidité de l'industrie manufacturière Québécoise dans l'utilisation des ressources

La croissance de la PTF peut être divisée en deux composantes : un effet d'échelle et un effet de progrès technique (Gagné et al., 2003). Les effets de progrès technique sont très faibles ou négatifs probablement en raison du manque de flexibilité et des effets d'ajustement induits par les investissements en R&D et en TIC. Les effets de complémentarité et/ou de substitution entre facteurs ont été analysés par les élasticités, et nos résultats indiquent que ces effets et leur ampleur varient suivant les périodes. Les valeurs négatives ou positives estimées de la PTF de court terme et celles de la PTF de long terme, et celles des effets d'économie d'échelle sont proches de celles de Morrison (1997) qui a trouvé un SEC moyen de 0,734 et une croissance de PTF de court terme de 0,748 entre 1965-1991 pour l'industrie de transformation

alimentaire américaine. Ce taux de croissance de la PTF et le SEC pouvant être soit positif soit négatif en fonction des années. Lorenzo (2012) a trouvé une valeur moyenne de SEC égale à 0,594 pour l'industrie pharmaceutique italienne entre 2002 à 2004. Utilisant un modèle de coût GL, Nakamura (1990) a trouvé une valeur de SEC comprise entre 1,021 à 0,930 et un taux de croissance de la PTF compris entre 0,010 à 0,011 pour l'industrie manufacturière japonaise entre 1964-1982.

Les élasticités indiquent un effet de substitution lorsque le signe est négatif et de complémentarité lorsque le signe est positif (Huang, 1991). En particulier, la complémentarité entre les composants du capital fixe, notamment entre *R&D* et *O*, puis les interactions avec les intrants variables permettent de conclure à une rigidité dans l'efficacité d'utilisation des ressources par les entreprises manufacturières du Québec. Cette étude confirme les interdépendances entre les quatre intrants de capital fixe et les trois facteurs variables, dont la nature varie en fonction des périodes. Les estimations indiquent davantage de complémentarité que de substitution entre le travail et chacune des quatre composantes du capital en fonction des périodes et des types de composantes du capital fixe (Huang, 1991). Ainsi, les composantes du capital fixe et le facteur travail peuvent se compléter, requérant une forte demande de main-d'œuvre ou de biens intermédiaires tout comme ils peuvent se substituer quelquefois en fonction des processus d'innovations. Toutefois, l'effet de rigidité du travail caractérise plus fortement l'industrie manufacturière du Québec, comme celui mis en évidence dans l'industrie pharmaceutique italienne (Lorenzo, 2012) que celui de flexibilité de l'industrie manufacturière américaine et japonaise (Morrison, 1988). Cette rigidité expliquerait l'impact faible du progrès technologique sur la croissance de la PTF à certaines périodes, confirmant ainsi les résultats de Chan-Kang et al. (1999). La PTF est généralement synonyme implicite d'efficacité économique, stipulant l'inefficacité des entreprises québécoises. Les résultats concernant le travail et la production sont cohérents avec l'évidence d'une plus grande complémentarité entre le travail et le capital. En raison de cette complémentarité, les réactions à court terme aux variations de la production seraient plus problématiques du fait de la fixité du capital, et l'ajustement du capital serait plus lent à réaliser (Morrison, 1988).

Les estimations montrent également l'existence d'économies d'échelle réalisée par les entreprises ($\varepsilon_{Y \neq 1}$), avec une croissance plus forte entre 2001-2005 (0,94) ensuite négative entre 2006-2011 (-0,73) puis redevient positive entre 2012-2018 (0,42). Sur toute la période 2001-2018, l'effet d'économie d'échelle est négatif (-0,37), signifiant ainsi une augmentation des coûts moins bien proportionnelle que celle des revenus en raison de l'ampleur des coûts du capital fixe. Toutefois, cette contribution de l'effet d'échelle ne compense pas la contribution très faible, voire nulle, du progrès technique pour induire une croissance substantielle de la PTF. Ainsi, la correction par les effets de taille n'affecte pas significativement la croissance de la PTF, et ne vient pas améliorer le retard de productivité (Gagné et al., 2003). L'élément central de la

faible ou lente croissance de la PTF des entreprises québécoises semble être le progrès technique dont les effets s'expriment très faiblement.

6.3 Robustesse du modèle d'analyse de la productivité et conditions de régularité

Les probabilités associées à chacune des équations des trois fonctions de demande d'intrants et des quatre prix implicites estimés sont toutes significatives. Les valeurs de la racine de l'écart quadratique moyen (RMSE) des trois équations de demande d'intrants sont toutes positives et très faibles, ce qui indiquerait un ajustement parfait aux données. La convergence a été atteinte, sans imposer des contraintes lors des estimations, car les coefficients des paramètres estimés de chacune des trois fonctions de demande d'intrants ne présentaient pas de différences significatives. Les conditions de régularité ont été vérifiées en postestimation. La positivité a été vérifiée, car toutes les valeurs ajustées de la fonction de coût pour chaque observation ont été strictement positives. La monotonie a été globalement confirmée puisque les fonctions de demande d'intrants estimées sont toutes positives, excepté à certains points de données. Pour la concavité globale, la matrice Hessienne de la fonction de coût doit être négative semi-définie, c'est-à-dire que $\alpha_{ij} > 0$. Mais cette concavité globale détruit la flexibilité de la forme fonctionnelle (Diewert & Wales, 1987). Cette condition semble remplie pour tous les $\alpha_{ij} \geq 0$, excepté $\alpha_{L,N}$ et $\alpha_{L,M}$ qui sont négatifs. Nous avons vérifié cette concavité à des points de référence donnés, et les estimations indiquent une violation pour certains points d'observation.

6.4 Modèles de commerce

La littérature sur la théorie des firmes et le commerce international donne une place de choix à la PTF autant pour la marge extensive que pour la marge intensive. Cinq principales leçons peuvent être tirées de nos analyses. Premièrement, les gains de PTF ne suffisent à générer des nouvelles destinations des exportations que pour les États des États-Unis. Pour les destinations autres, il est impossible de rejeter l'hypothèse nulle d'une absence d'effets. Une véritable diversification des partenaires commerciaux passe donc par des gains plus importants de PTF permettant de franchir le seuil de productivité favorable à l'entrée sur un marché autre que celui des États des États-Unis. Deuxièmement, il est impossible de rejeter l'hypothèse nulle d'une absence d'impact sur le nombre de lignes tarifaires faisant l'objet de commerce international, des gains de PTF, quelle que soit la destination. Troisièmement, lorsque les destinations autres que les États des États-Unis sont analysées, il est impossible de rejeter l'hypothèse nulle de l'absence d'impact sur la marge intensive (par ligne tarifaire) de la croissance de la PTF. Plus encore, quatrièmement, pour les États des États-Unis, l'effet est négatif. Ces résultats sur les marges extensives et la marge intensive suggèrent que les opportunités offertes par des nouvelles destinations des États-Unis ne s'accompagnent pas d'une augmentation « suffisante » des capacités de production des entreprises, ce qui pourrait conduire à une réallocation des exportations vers les États des États-Unis que les gains de productivité permettent à présent de desservir. Cette contrainte de capacité qui empêche de profiter des opportunités commerciales avait également été suggérée par Tamini & Valéa (2021)

dans leur étude sur le secteur de la transformation bioalimentaire canadienne. Ainsi, cinquièmement, selon les résultats obtenus de notre échantillon, des politiques visant une augmentation de la PTF dans l'industrie manufacturière québécoise doivent impérativement se traduire par des politiques leur permettant également de croître en capacité.

7 Conclusion et implications de politiques

La croissance de la productivité dans le secteur des entreprises au Québec a connu un ralentissement substantiel après les années 2000 et s'est accentuée au cours des dernières années. La majeure partie de ce ralentissement a eu lieu dans le secteur de la fabrication. La présente étude vise à donc examiner comment l'investissement en R&D et en TIC a pu impacter la croissance de la PTF et la performance sur les marchés d'exportations des PME manufacturières du Québec. Nous avons mobilisé des données de panel d'entreprises puis utilisé une approche duale de coût généralisée de Leontief permettant d'étudier les possibilités de substitution entre facteurs et de conclure sur la rigidité de l'industrie manufacturière du Québec. De plus, un modèle de marge extensive (nombre de destinations des exportations ou de produits exportés) et un modèle de marge intensive (volume du commerce) ont été estimés, utilisant des données de commerce de 2005 à 2018.

Le modèle et les indices présentés soulignent l'importance de prendre en compte le capital — et les fixités associées ainsi que la composition du capital et des intrants lors de l'évaluation des changements structurels dans l'industrie manufacturière du Québec. Les résultats obtenus confirment la décroissance, voire la croissance très lente, de la PTF à court et long termes provenant d'une demande très volatile des quatre composantes du capital fixe, avec notamment une baisse de la demande en R&D et en TIC au cours des dernières périodes. Il en résulte une augmentation des coûts qui compromet la compétitivité des entreprises manufacturières québécoises. Bien que les effets d'économie d'échelle existent dans cette industrie manufacturière, ils n'impactent pas de façon significative la croissance de la PTF de court et de long terme. Les effets de progrès technique induits par la R&D sont négatifs, signifiant que l'investissement en R&D est considéré comme un substitut au progrès technique. Les entreprises utiliseraient donc la R&D pour compenser la faible innovation ou le manque de progrès technique. Le retard accumulé en innovations dans l'industrie manufacturière québécoise paraît grand pour que les investissements en R&D et en TIC puissent produire des effets positifs à court terme. Le progrès technique induit une baisse très faible de la consommation en intrants variables, justifiant la faible compétitivité de l'industrie manufacturière québécoise, et sa capacité d'ajustement à court terme. À court terme, l'investissement en R&D ne stimule ni le progrès technique ni la croissance de la PTF. L'analyse des effets de substitution entre les composantes du capital fixe et les intrants variables indique plus de complémentarité que de substitution, et traduit la rigidité des entreprises manufacturières québécoises à court terme, en ce qui concerne particulièrement le lien entre le travail et les composantes du capital fixe. Ainsi, la composition des intrants s'adapte (plus de

travail, plus de biens intermédiaires, plus d'énergie) aux changements de composition du capital (plus de *R&D*, de *O*, *E* et de *S*). La complémentarité entre l'investissement en R&D et celui en TIC explique en partie les difficultés de croissance de la productivité des entreprises.

Les résultats montrent que les gains de PTF ne suffisent à générer des destinations des exportations nouvelles que pour les États des États-Unis. Une véritable diversification des partenaires commerciaux passe donc par des gains plus importants de PTF permettant de franchir le seuil de productivité favorable à l'entrée sur un marché autre que celui des États-Unis. Pour ce qui est de la marge intensive, la croissance de la PTF a un effet négatif si la destination est un État des États-Unis. Ces résultats pour le commerce international suggèrent que les opportunités offertes par les nouvelles destinations des États-Unis ne s'accompagnent pas d'une augmentation « suffisante » des capacités de production des entreprises, ce qui pourrait conduire à une réallocation des exportations vers les États des États-Unis que les gains de productivité permettent à présent de desservir.

En somme, induire des changements structurels dans l'industrie manufacturière québécoise nécessite :

- un accroissement soutenu et une efficacité d'utilisation des investissements en R&D pour espérer bénéficier significativement des effets positifs cumulés sur le long terme. Ce qui assurera un effet positif du progrès technique généré par l'investissement intensif en R&D ;
- la rigidité des entreprises manufacturières générée par la faible substitution entre le travail et les quatre composantes du capital fixe leur confère une faible capacité d'adaptation et d'ajustement à court terme, surtout dans le contexte actuel de pénurie de main-d'œuvre. Il apparaît alors important de développer les capacités d'innovation des PME qui, conjuguées à des activités de R&D, favoriseront la compétitivité et la productivité des entreprises à long terme ;
- les effets d'économie d'échelle seraient significativement importants avec une plus grande expansion des entreprises manufacturières québécoises, cette expansion leur permettant en retour de profiter des différentes opportunités des marchés à l'exportation.

8 Références bibliographiques

- Aghion, P., Bergeaud, A., Lequien, M., & Melitz, M. J. (2018). The heterogeneous impact of market size on innovation : Evidence from French firm-level exports. *NBER Working Papers* (24600).
- Alpay, E., Kerkvliet, J., & Buccola, S. (2002). Productivity growth and environmental regulation in Mexican and US food manufacturing. *American Journal of Agricultural Economics*, 84(4), 887-901.
- Aw, B. Y., Roberts, M. J., & Winston, T. (2007). Export market participation, investments in R&D and worker training, and the evolution of firm productivity. *World Economy*, 30(1), 83–104.
- Aw, B. Y., Roberts, M. J., & Xu, D. Y. (2011). R&D investment, exporting, and productivity dynamics. *American Economic Review*, 101(4), 1312–1344.
- Baghana, R., & Mohnen, P. (2009). Effectiveness of R&D tax incentives in small and large enterprises in Québec. *Small Business Economics*, 33(1), 91-107.
- Baldwin, J. R. (2004). Trade liberalization: Export-market participation, productivity growth, and innovation. *Oxford Review of Economic Policy*, 20(3), 372-392.
- Baldwin, J. R., Dar-Brodeur, A., & Yan, B. (2016). Innovation and export-market participation in Canadian manufacturing. *Analytical Studies Branch Research Paper Series*(386).
- Baldwin, J. R., & Green, A. G. (2008). La différence de productivité entre le secteur de la fabrication au Canada et aux États-Unis : Une perspective fondée sur le début du vingtième siècle. *La Revue canadienne de productivité, No 15-206-X au catalogue* (022).
- Baldwin, J. R., & Gu, W. (2003). Export-market participation and productivity performance in Canadian manufacturing. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique*, 36(3), 634-657.
- Baldwin, J. R., Gu, W., & Macdonald, R. (2012). Intangible capital and productivity growth in Canada. *Catalogue no. 15-206-X — No. 029*.
- Baldwin, J. R., Gu, W., & Yan, B. (2011). *Croissance des exportations, utilisation de la capacité et croissance de la productivité: Données sur les établissements de fabrication canadiens*.
- Baldwin, J. R., & Yan, B. (2015). Indications empiriques du rapport entre le commerce et la productivité basées sur des données au niveau des entreprises canadiennes. *Statistique Canada, 11F0027M(97)*.
- Baltagi, B. H. (2021). *Econometric analysis of panel data*. Sixth Edition ed.: Springer.
- Basu, S. (2010). Dissociation du rendement de productivité faible au Canada : Une revue des enjeux.
- Baum, C. F., & Linz, T. (2009). Evaluating concavity for production and cost functions. *The Stata Journal*, 9(1), 161–165.
- Bernard, A. B., & Jensen, J. B. (2004). Exporting and productivity in the USA. *Oxford Review of Economic Policy*, 20(3), 343-357.

- Berndt, E. R., & Morrison, C. J. (1995). High-tech capital formation and labor composition in U.S. manufacturing industries: An exploratory analysis. *Journal of Econometrics* 65, 9-43.
- Berndt, E. R., Morrison, C. J., & Rosenblum, L. S. (1992). High-tech capital formation and labor composition in U.S. manufacturing industries: An exploratory analysis. *NBER Working Papers*(4010).
- Biagi, F. (2013). ICT and productivity: A review of the literature.
- Carmichael, B., Mohnen, P., & Vigeant, S. (1990). La demande de facteurs de production dans le secteur manufacturier québécois: Une approche dynamique avec attentes rationnelles. *Annales d'Économie et de Statistique*, 43-68.
- Cassiman, B., Golovko, E., & Martínez-Ros, E. (2010). Innovation, exports and productivity. *International Journal of Industrial Organization*, 28(4), 372–376.
- Caves, D. W., & Christensen, L. R. (1980). Global properties of flexible functional forms. *The American Economic Review*, 70(3), 422-432.
- Caves, D. W., Christensen, L. R., & Tretheway, M. W. (1980). Flexible cost functions for multiproduct firms. *The Review of Economics and Statistics*, 477-481.
- Chan-Kang, C., Buccola, S., & Kerkvliet, J. (1999). Investment and productivity in Canadian and U.S. food manufacturing. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 47, 105-118.
- Christensen, L. R., & Jorgenson, D. W. (1969). The measurement of US real capital input, 1929–1967. *Review of Income and Wealth*, 15(4), 293-320.
- Collard-Wexler, A., & De Loecker, J. (2016). Production function estimation and capital measurement error. *NBER Working Paper 22437*.
- Considine, T. J., & Larson, D. F. (2009). Substitution and technological change under carbon cap and trade: Lessons from Europe. *World Bank Policy Research Working Paper*(4957).
- Corrado, C., Hulten, C., & Sichel, D. (2009). Intangible capital and US economic growth. *Review of Income and Wealth*, 55(3), 661-685.
- Costantini, J. A., & Melitz, M. J. (2008). The dynamics of firm-level adjustment to trade liberalization. In E. Helpman, D. Marin, & T. Verdier (eds.), *The Organization of Firms in a Global Economy* (Harvard University Press ed., pp. 107-141). Cambridge, MA and London, England: Harvard University Press.
- Das, P. (2019). *Econometrics in theory and practice - Analysis of cross section, Time series and panel data with Stata 15.1*: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- De Borger, B. (1992). Estimating a multiple-output generalized Box-Cox cost function: Cost structure and productivity growth in Belgian railroad operations, 1950–1986. *European Economic Review*, 36(7), 1379-1398.
- Dennis, A., & Shepherd, B. (2007). Trade costs, barriers to entry, and export diversification in developing countries. *World Bank Policy Research Working Paper*, (4368).
- Deslauriers, J., Gagné, R., & Paré, J. (2021). *Performance des PME québécoises : Perspectives sur la formation des dirigeants*. Montréal, Qc: Centre sur la productivité et la prospérité — Fondation Walter J. Somers HEC Montréal.

- Diewert, W. (1971). An application of the Shephard duality theorem: A generalized Leontief production function. *Journal of Political Economy* 79(3), 491-507.
- Diewert, W. (1992). Fisher ideal output, input, and productivity indexes revisited. *Journal of Productivity Analysis*, 3(3), 211-248.
- Diewert, W., & Wales, T. (1987). Flexible functional forms and global curvature conditions. *Econometrica*, 55(1), 43-68.
- Dupuis, F., & Noreau, J. (2015). Le secteur manufacturier au 21^e siècle : Au-delà de l'usine, une véritable révolution est en cours. *Point de vue économique*, 1-9.
- Eaton, J., Kortum, S., & Kramarz, F. (2004). Dissecting trade: Firms, industries, and export destinations. *American Economic Review*, 94(2), 150-154.
- Elliott, R. J., Jabbour, L., & Vanino, E. (2020). Innovation and the creative destruction of trade : A study of the intensive and extensive margins of trade for French firms. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 82(1), 180–208.
- Epstein, L. G. (1981). Duality theory and functional forms for dynamic factor demands. *The Review of Economic Studies*, 48(1), 81-95.
- Feng, G., & Serletis, A. (2008). Productivity trends in US manufacturing: Evidence from the NQ and AIM cost functions. *Journal of Econometrics*, 142(1), 281-311.
- Fournier, M.-H. (2007). Impacts des dépenses en recherche et développement sur la fonction de production et l'efficacité des entreprises canadiennes et américaines du secteur manufacturier.
- Gagné, R., Landry, S., & Patry, M. (2003). *Le « retard » de productivité du Québec :constats et diagnostics*. CIRANO.
- Gaigné, C., & Tamini, L. D. (2021). Environmental taxation and import demand for environmental goods: Theory and evidence from the European union. *Environmental and Resource Economics*, 78(2), 307-352.
- Ghazalian, P. L., & Fasih, A. (2017). R&D and innovation in food processing firms in transition countries. *Journal of Agricultural Economics*, 68(2), 427-450.
- Goldar, B. (2004). Indian manufacturing: Productivity trends in pre-and post-reform periods. *Economic and Political Weekly*, 39(46/47), 5033-5043.
- Gorman, J. A., Musgrave, J. C., Silverstein, G., & Comins, K. (1985). Fixed private capital in the United States. *Survey of Current Business* 65, 36-55.
- Gourieroux, C., Monfort, A., & Trognon, A. (1984). Pseudo maximum likelihood methods: Theory. *Econometrica*, 681-700.
- Greenaway, D., & Kneller, R. (2004). Exporting and productivity in the United Kingdom. *Oxford Review of Economic Policy* 20(3), 358-371.
- Griffiths, W. E., O'Donnell, C. J., & Tan Cruz, A. (2000). Imposing regularity conditions on a system of cost and factor share equations. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 44(1), 107-127.
- Gu, W., & Wang, W. (2013). Croissance de la productivité et utilisation de la capacité. *No 11F0027M au catalogue — No 085*.

- Gu, W., & Yan, B. (2014). Croissance de la productivité et compétitivité internationale. *Revue canadienne de productivité*, 15-206-X(037), 1-43.
- Gunning, T. S., & Sickles, R. C. (2011). A multi-product cost function for physician private practices. *Journal of Productivity Analysis*, 35(2), 119-128.
- Harper, J. M., Brendt, R. E., & Wood, O. D. (1989). Rates of return and capital aggregation using alternative rental prices. In W. D. Jorgenson & R. Landau (Eds.), *Technology and capital formation*. Cambridge, MA MIT Press.
- Heien, D. M. (1983). Productivity in U.S. food processing and distribution. *American Journal of Agricultural Economics* 65(2), 297-302.
- Helpman, E., Melitz, M. J., & Yeaple, S. R. (2004). Export versus FDI with heterogeneous firms. *American economic review*, 94(1), 300-316.
- Hillberry, R., & Hummels, D. (2008). Trade responses to geographic frictions: A decomposition using micro-data. *European Economic Review*, 52(3), 527-550.
- Homsy, M., & Savard, S. (2021). *Combien gagnent au juste les travailleurs québécois? Le point sur les salaires au Québec et en Ontario* (IDO ed.). Montréal, QC: Institut du Québec.
- Huang, K. S. (1991). Factor demands in the U.S. food-manufacturing industry. *American Journal of Agricultural Economics* 73(3), 615-620.
- Huang, N., & Diewert, W. (2011). Estimation of R&D depreciation rates: A suggested methodology and preliminary application. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économie*, 44(2), 387-412.
- Hulten, C. R., & Schreyer, P. (2010). GDP, technical change, and the measurement of net income : The Weitzman model revisited. *National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper*(16010).
- Hussain, J., & Bernard, J. T. (2018). Flexible functional forms and curvature conditions: Parametric productivity estimation in Canadian and US manufacturing industries. *Productivity and Inequality*, 203.
- Institut de la Statistique du Québec. (2022). Produit intérieur brut au Québec – Mars 2022, Faits saillants. Québec, QC : ISQ.
- Ito, K., & Pucik, V. (1993). R&D spending, domestic competition, and export performance of Japanese manufacturing firms. *Strategic Management Journal*, 14(1), 61-75.
- Josée, S.-P., & Claude, M. (2003). L'innovation de produit chez les PME manufacturières : organisation, facteur de succès et performance.
- Kumbhakar, S. C. (1991). Estimation of technical inefficiency in panel data models with firm- and time-specific effects. *Economics Letters*, 36(1), 43-48.
- Leathers, H. D. (1991). Allocable fixed inputs as a cause of joint production: A cost function approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(4), 1083-1090.
- Leontief, W. (1986). *Input-output economics*: Oxford University Press.
- Li, J. (2009). *Production structure, input substitution, and total factor productivity growth in the softwood lumber industries in US and Canadian regions*. Master of Science in Forestry, University of Toronto.

- Li, T., & Rosenman, R. (2001). Estimating hospital costs with a generalized Leontief function. *Health Economics*, 10(6), 523-538.
- Lorenzo, C. (2012). Quasi-fixed inputs in the Italian manufacturing: The case of the pharmaceutical industry. *Прикладная эконометрика*, 1-25.
- Mairesse, J., & Mohnen, P. (1990). Recherche-développement et productivité : un survol de la littérature économétrique. *Économie et statistique*, 237-238, 99-108.
- Mairesse, J., & Mohnen, P. (2005). The importance of R&D for innovation: A reassessment using French survey data. *Journal of Technology Transfer*, 30(1-2), 183-197.
- Melitz, M. J. (2003). The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *Econometrica*, 71(6), 1695-1725.
- Melitz, P. A., Bergeaud, A., Lequien, M., & Melitz, M. J. (2019). The Impact of exports on innovation: Theory and evidence. *Banque de France, Working Paper*, 678, 1–50.
- Mike, T. (2019). *Panel data econometrics: Theory*. Elsevier Inc.
- Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie. (2023a). *Le calepin. Le commerce extérieur du Québec* (2023 ed.). Québec, Qc: Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie.
- Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie. (2023b). *Portrait manufacturier des régions du Québec* (Gouvernement du Québec ed.). Québec, Qc: Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie.
- Morrison, C. J. (1985). Primal and dual capacity utilization: An application to productivity measurement in the US automobile industry. *Journal of Business & Economic Statistics*, 3(4), 312-324.
- Morrison, C. J. (1988). Quasi-fixed inputs in US and Japanese manufacturing: A generalized Leontief restricted cost function approach. *The Review of Economics and Statistics*, 275-287.
- Morrison, C. J. (1997a). Assessing the productivity of information technology equipment in US manufacturing industries. *Review of Economics and Statistics*, 79(3), 471-481.
- Morrison, C. J. (1997b). Structural change, capital investment and productivity in the food processing industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 79(1), 110-125.
- Murray, A. (2016). Partial versus total factor productivity measures: An assessment of their strengths and weaknesses. *International Productivity Monitor*, 31, 113-126.
- Murray, A., & Sharpe, A. (2016). *Partial versus total factor productivity: Assessing resource use in natural resource industries in Canada*. Centre for the Study of Living Standards.
- Musgrave, J. C. (1986). Fixed reproducible tangible wealth in the United States : Revised estimates. *Survey of Current Business* 66, 51-75.
- Mustafa, D., & Kingsley, H. (2005). Productivity, international trade and reference area interactions in shift-share analysis: Some operational notes. *Growth and Change* 36 (3), 374–394.
- Nakamura, S. (1990). A nonhomothetic generalized Leontief cost function based on pooled data. *The Review of Economics and Statistics*, 649-656.

- OCDE. (2001). *La Mesure du Capital - Manuel de l'OCDE — La mesure des stocks de capital, de la consommation de capital fixe et des services du capital*. Paris: OCDE.
- OCDE. (2018). Decoupling of wages from productivity : What implications for public policies ? *OECD Economic Outlook*, 2, 51-65.
- Ohta, M. (1974). A note on the duality between production and cost functions: Rate of returns to scale and rate of technical progress. *The Economic Studies Quarterly (Tokyo. 1950)*, 25(3), 63-65.
- Papke, L. E., & Wooldridge, J. M. (1996). Econometric methods for fractional response variables with an application to 401 (k) plan participation rates. *Journal of Applied Econometrics*, 11(6), 619-632.
- Pettersson, F., Söderholm, P., & Lundmark, R. (2012). Fuel switching and climate and energy policies in the European power generation sector: A generalized Leontief model. *Energy Economics*, 34(4), 1064-1073.
- Pope, R. D., & Just, R. E. (1998). Cost function estimation under risk aversion. *American Journal of Agricultural Economics*, 80(2), 296-302.
- Pucik, V., & Ito, K. (1987). R&D spending, domestic competition, and export performance of Japanese manufacturing firms. *Working paper*, 530.
- Ryan, D. L., & Wales, T. (2000). Imposing local concavity in the translog and generalized Leontief cost functions. *Economics Letters*, 67(3), 253-260.
- Schreyer, P. (2004). Capital stocks, capital services and multi-factor productivity measures. *OECD Economic Studies*, 2003(2), 163-184.
- Serletis, A., & Feng, G. (2015). Imposing theoretical regularity on flexible functional forms. *Econometric Reviews*, 34(1-2), 198-227.
- Silva, J. S., & Tenreyro, S. (2006). The log of gravity. *The Review of Economics and statistics*, 88(4), 641-658.
- Silva, J. S., Tenreyro, S., & Wie, K. (2014). Estimating the extensive margin of trade. *Journal of International Economics* (93), 67-75.
- Sobhani, A. (2008). *Impact of information technology on productivity*. Master of science, Tarlat Modares University. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-54437>
- STIQ. (2023). *Baromètre industriel québécois 2022 — Un portrait unique du secteur manufacturier* (14^e éd.). Québec , Qc: STIQ.
- Tamini, L. D., & Valéa, A. B. (2019). Innovation activities and export performance of Canadian small and medium-sized agri-food firms. *CIRANO, Cahiers scientifiques*, 2019S-09.
- Tamini, L. D., & Valéa, A. B. (2021). Investment in research and development and export performances of Canadian small and medium-sized agri-food firms. *Canadian Journal of Agricultural Economics* (69), 311–336.
- Tang, J. (2017). Industrial structure change and the widening Canada–US labor productivity gap in the post-2000 period. *Industrial and Corporate Change*, 26(2), 259-278.
- Tang, J., & Wang, W. (2019). Is R&D enough to improve firm productivity? *International Productivity Monitor* (37), 120-143.

- Tang, J., & Wang, W. (2020). Frontières technologiques et croissance de la productivité au Canada après l'an 2000. *No 11F0019M au catalogue — No 438*.
- Therrien, P., & Hanel, P. (2011). Innovation and productivity in Canadian manufacturing establishments. *International Productivity Monitor* 22 11-28.
- Van Leeuwen, G., & Klomp, L. (2006). On the contribution of innovation to multi-factor productivity growth. *Economics of Innovation and New Technology*, 15(4-5), 367-390.
- van Soest, D. P., List, J. A., & Jeppesen, T. (2006). Shadow prices, environmental stringency, and international competitiveness. *European Economic Review*, 50(5), 1151-1167.
- Wagner, J. (2007). Exports and productivity: A survey of the evidence from firm-level data. *The World Economy*, 30(1), 60-82.
- Wang, H.-J. (2003). A stochastic frontier analysis of financing constraints on investment: The case of financial liberalization in Taiwan. *Journal of Business & Economic Statistics* 21(3), 406-419.
- Wang, S., & Walden, J. B. (2021). Measuring fishery productivity growth in the Northeastern United States 2007–2018. *Marine Policy*, 128, 104467.
- Watson, C. L. (2018). *TFP measurement : A guide*.
- Williamson, T., Hauer, G., & Luckert, M. (2004). A restricted Leontief profit function model of the Canadian lumber and chip industry: Potential impacts of US countervail and Kyoto ratification. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(9), 1833-1844.
- Yeaple, S. R. (2009). Firm heterogeneity and the structure of US multinational activity. *Journal of International Economics*, 78(2), 206-215.
- Zellner, A., & Huang, D. S. (1962). Further properties of efficient estimators for seemingly unrelated regression equations. *International Economic Review*, 3(3), 300-313.

9 Annexes

Annexe 1 : Liste des secteurs d'entreprises concernés (SCIAN 31-33)

Secteur manufacturier concerné (31-33)	Description
311	Fabrication d'aliments
312	Fabrication de boissons et de produits du tabac
313	Usines de textiles
314	Usines de produits textiles
315	Fabrication de vêtements
316	Fabrication de produits en cuir et de produits analogues
321	Fabrication de produits en bois
322	Fabrication du papier
323	Impression et activités connexes de soutien
324	Fabrication de produits du pétrole et du charbon
325	Fabrication de produits chimiques
326	Fabrication de produits en plastique et en caoutchouc
327	Fabrication de produits minéraux non métalliques
331	Première transformation des métaux
332	Fabrication de produits métalliques
333	Fabrication de machines
334	Fabrication de produits informatiques et électroniques
335	Fabrication du matériel... d'appareils et de composants électriques
336	Fabrication de matériel de transport
337	Fabrication de meubles et de produits connexes
339	Activités diverses de fabrication

Annexe 2 : Données de commerce selon les caractéristiques des exportateurs (2005-2018)

#	Variable	Type	Label	Scrambled ID
1	Year	String	year	
2	Entid	String		entid
3	country_edesc	String	country of destination English description	
4	us_state_code	String	alpha state code (ie. AK... NY... FL... ..)	
5	hs8	String	eight digit commodity code	
6	Value	Numeric	value for duty amounts of the shipment	

Annexe 3 : Données du Fichier de microdonnées longitudinales des comptes nationaux (FMLCN) — 2000-2018

Field Name	Size	Type	Source	Line/Item
Unité d'observation				
EntID	9	CH	Derived — BR	N/A
1. Données nécessaires pour le niveau d'output				
net_income_for_tax_purposes	8	N	T2 Schedule 200	300
Schedule1_Net_Income	8	N	T2 Schedule 1	A
Schedule1_Additions	8	N	T2 Schedule 1	500
Schedule1_Deductions	8	N	T2 Schedule 1	510
net_income_3680	8	N	T2 Schedule 100	3680
total_revenue	8	N	T2 Schedule 125	8299
net_income_after_taxextraitems	8	N	T2 Schedule 125	9999
net_income_9369	8	N	T2 Schedule 125	9369
2. Données nécessaires pour l'intrant "Autres équipements"				
land	8	N	T2 Schedule 100	1600
Manufacturing_Rate_Reduction	8	N	T2 Schedule 200	616
Investment_Tax_Refund	8	N	T2 Schedule 200	780
Investment_tax_credit	8	N	T2 Schedule 200	652
Part1_tax_payable	8	N	T2 Schedule 200	700
Part13_tax_payable	8	N	T2 Schedule 200	704
PartVI_tax_payable	8	N	T2 Schedule 200	720
total_assets	8	N	T2 Schedule 100	2599
total_liabilities	8	N	T2 Schedule 100	3499
total_shareholder_equity	8	N	T2 Schedule 100	3620
total_current_assets	8	N	T2 Schedule 100	1599
total_tangible_assets	8	N	T2 Schedule 100	2008
tot_acum_amort_tangible_assets	8	N	T2 Schedule 100	2009
total_intangible_assets	8	N	T2 Schedule 100	2178
tot_acum_amort_intang_assets	8	N	T2 Schedule 100	2179
total_long_term_assets	8	N	T2 Schedule 100	2589
total_current_liabilities	8	N	T2 Schedule 100	3139
total_long_term_liabilities	8	N	T2 Schedule 100	3450
tot_liabilities_shrholdequity	8	N	T2 Schedule 100	3640
dividends_payable	8	N	T2 Schedule 100	2962
dividends_declared	8	N	T2 Schedule 100	3700
machinery_and_equipment	8	N	T2 Schedule 100	1740
intangible_assets	8	N	T2 Schedule 100	2010
Related_Party_Assets	8	N	Derived — T2	N/A
Related_Party_Liabilities	8	N	Derived — T2	N/A
ABI_Additions	8	N	Derived — T2	N/A

Field Name	Size	Type	Source	Line/Item
ABI_Deductions	8	N	Derived – T2	N/A
opening_inventory	8	N	T2 Schedule 125	8300
closing_inventory	8	N	T2 Schedule 125	8500
amortization_tangible_assets	8	N	T2 Schedule 1	104
amortization_intangible_assets	8	N	T2 Schedule 1	106
capital_cost_allowance	8	N	T2 Schedule 1	127
3. Données nécessaires pour l'intrant "Bâtiments de la firme"				
buildings	8	N	T2 Schedule 100	1680
CCA_Buildings	8	N	T2 Schedule 8	127
4. Données nécessaires pour l'intrant "Autres intrants variables intermédiaires"				
head_office_account	8	N	T2 Schedule 100	3570
small_business_deduction	8	N	T2 Schedule 200	430
Total_provincial_taxes	8	N	Derived – T2	N/A
PartII_surtax_payable	8	N	T2 Schedule 200	708
taxable_income	8	N	T2 Schedule 200	360
total_expenses	8	N	T2 Schedule 125	9368
total_cost_of_sales	8	N	T2 Schedule 125	8518
gross_profits	8	N	T2 Schedule 125	8519
sales_goods_and_services	8	N	T2 Schedule 125	8089
current_income_taxes	8	N	T2 Schedule 125	9990
total_operating_expenses	8	N	T2 Schedule 125	9367
interest_and_bank_charges	8	N	T2 Schedule 125	8710
subsidies_grants	8	N	T2 Schedule 125	8242
5. Données nécessaires pour l'intrant "Main-d'œuvre"				
T4_Payroll	8	N	Derived – T4	N/A
T4_EI	8	N	Derived – T4	N/A
T4_CPP	8	N	Derived – T4	N/A
T4_ILU	8	N	Derived – T4	N/A
NbrMonths_Pay	8	N	Derived – PD7	N/A
NbrMonths_Remmit	8	N	Derived – PD7	N/A
PD7_AvgEmp_12	8	N	Derived – PD7	N/A
PD7_AvgPay_12	8	N	Derived – PD7	N/A
PD7_AvgRemit_12	8	N	Derived – PD7	N/A
PD7_AvgEmp_NonZero	8	N	Derived – PD7	N/A
PD7_AvgPay_NonZero	8	N	Derived – PD7	N/A
PD7_AvgRemit_NonZero	8	N	Derived – PD7	N/A

Field Name	Size	Type	Source	Line/Item
PD7_TotalPayroll	8	N	Derived – PD7	N/A
PD7_TotalRemit	8	N	Derived – PD7	N/A
salaries_wages	8	N	T2 Schedule 125	9060
research_development	8	N	T2 Schedule 125	9282
direct_wages	8	N	T2 Schedule 125	8340
6. Données nécessaires pour l'intrant "Information technologique"				
CCA_Computers	8	N	T2 Schedule 8	127
CCA_Manufacturing	8	N	T2 Schedule 8	127
Investment_Computers	8	N	T2 Schedule 8	203
Investment_Manufacturing	8	N	T2 Schedule 8	203
Investment_Buildings	8	N	T2 Schedule 8	203
7. Données nécessaires pour l'intrant "R&D"				
SRED_Expenditures	8	N	T2 Schedule 31	380
SRED_ITC_Earned	8	N	T2 Schedule 8	540
SRED_ITC_Current_at_35Percent	8	N	T2 Schedule 8	420
SRED_ITC_Capital_at_35Percent	8	N	T2 Schedule 8	440
SRED_ITC_Current_at_20Percent	8	N	T2 Schedule 8	430
SRED_ITC_Capital_at_20Percent	8	N	T2 Schedule 8	450
SRED_Deducted_PartI	8	N	T2 Schedule 8	560
SRED_from_partnership	8	N	T2 Schedule 8	550
SRED_refunded	8	N	T2 Schedule 8	610
SRED_carried_back_1year	8	N	T2 Schedule 8	911
SRED_carried_back_2years	8	N	T2 Schedule 8	912
SRED_carried_back_3years	8	N	T2 Schedule 8	913
RD_WagesAndSalaries	8	N	Derived – T2	N/A
RD_OtherCurrentCosts	8	N	Derived – T2	N/A
RD_CurrentExpenditures	8	N	Derived – T2	N/A
RD_CapitalExpenditures	8	N	Derived – T2	N/A
RD_TotalExpenditures	8	N	T661	390
RD_L0460	8	N	T661	460
8. Données nécessaires pour les "caractéristiques de l'entreprise"				
filed_Schedule32	8	N	Derived – T2	N/A
OPAddressProvince	2	CH	Business Register	N/A
LegalTypeCode	1	CH	Business Register	N/A
CountryOfControl	3	CH	Business Register	N/A
NonProfitCode	8	N	Business Register	N/A
CharityFlag	8	N	Business Register	N/A
StatisticalAreaClassification	3	CH	Business Register	N/A

Field Name	Size	Type	Source	Line/Item
EconomicRegion	2	CH	Business Register	N/A
NAICS	6	CH	Business Register	N/A
EntMultiEstablishmentFlag	8	N	Business Register	N/A
EntMultiLocationFlag	8	N	Business Register	N/A
EntMultiProvinceFlag	8	N	Business Register	N/A
EntMultiActivityFlag	8	N	Business Register	N/A
FiscalStartDate	8	N	Business Register	N/A
FiscalEndDate	8	N	Business Register	N/A
BirthDate	8	N	Business Register	N/A
BusinessStatusCode	1	CH	Business Register	N/A
IncorporationDate	8	N	Business Register	N/A

Annexe 4 : Composantes de la croissance de la PTF et leur calcul

La croissance de la productivité "de base" ε_{Yt}^S a été calculée à l'aide de l'équation du "résidu de Solow" (6) et est cohérente avec les mesures présentées par Heien (1983). En particulier, les taux de croissance de la production et des intrants ont été calculés comme $\ln(Y_t/Y_{t-1})$, et $\ln(v_{it}/v_{it-1})$, et les mesures de la croissance des intrants pondérées $\sum_i S_i \ln(v_i/v_{it-1})$ ont été calculées en utilisant les moyennes des parts de coût $(p_{it}v_{it}/C_t + p_{it-1}v_{it-1}/C_{t-1})/2$; les mesures résultantes sont des indices de Tornqvist/Theil. Les taux de croissance $\ln(Y_t/Y_{t-1})$, et $\ln(v_{it}/v_{it-1})$ sont désignés par $\% \Delta Y$ et $\% \Delta v_i$ dans le tableau 8, et chaque taux de croissance pondéré par la part $S_i \ln(v_i/v_{it-1})$ est appelé la "contribution" de l'intrant associé ou "CONT" dans le tableau 9.

Ces indices ont été calculés et adaptés par les mesures économétriques. Les élasticités ε_{Ct} ont été calculées indirectement comme $\varepsilon_{Yt} * \varepsilon_{CY}$ afin de "purger" l'impact des économies d'échelle (la mesure paramétrique directe $\varepsilon_{Ct} = \partial \ln C / \partial t$ impliquée par la mise en œuvre économétrique est en moyenne très similaire à la mesure "non paramétrique adaptée" résultante). L'élasticité ajustée ε_{CY} et ses composantes ε_{CY}^L et ε_{Ck} ont été mesurées comme suit : $\varepsilon_{CY} = \partial \ln C / \partial \ln Y$; $\varepsilon_{CY}^L = \partial \ln C / \partial \ln Y^*$ où * indique l'évaluation par rapport à la demande implicite au lieu de celle du marché et $\varepsilon_{Ck} = (p_k - Z_k)(x_k/C)$.

La mesure combinée $(1 - \sum_k \varepsilon_{Ck})$ (tenant compte de la non-homothéticité) évalue la capacité d'utilisation des coûts $CU_C = C^*/C$, où * implique à nouveau une évaluation de la demande implicite, donc $C^* = G(.) + \sum_k Z_k x_k$. Enfin, une prime indique l'évaluation à la demande implicite nette $Z'_k = Z_k - rG_{\Delta k}$ au lieu de la valeur instantanée à court terme $Z_k = -\partial G / x_k$.

Annexe 5: Estimation des paramètres et indices

Estimation et analyse de l'évolution de la productivité totale des facteurs

Les paramètres d'estimation des fonctions de demande (eq.2) de travail, d'énergie et de biens intermédiaires sont reportés dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Paramètres d'estimations

Paramètre	Coefficient	Erreur-type	Paramètre	Coefficient	Erreur-type
$\alpha_{L,L}$	0	--	$\delta_{L,RD}$	2,15e-7***	5,29e-8
$\alpha_{N,N}$	0	--	$\delta_{N,RD}$	2,49e-8	5,3e-8
$\alpha_{M,M}$	0	--	$\delta_{M,RD}$	5,46e-7***	8,92e-8
$\alpha_{L,N}$	-1,06e-10**	5,25e-11	$\delta_{L,O}$	1,24e-7*	6,87e-8
$\alpha_{L,M}$	-6,45e-11*	2,25e-9	$\delta_{N,O}$	4,74e-8	6,85e-8
$\alpha_{N,M}$	1,73e-7***	2,56e-8	$\delta_{M,O}$	9,03e-9	1,15e-7
$\delta_{L,Y}$	1,65e-11***	5,67e-12	$\delta_{L,E}$	1,63e-8	1,05e-8
$\delta_{N,Y}$	6,79e-12	5,12e-12	$\delta_{N,E}$	1,98e-8*	1,05e-8
$\delta_{M,Y}$	2,66e-11***	8,62e-12	$\delta_{M,E}$	3,12e-8*	1,76e-8
$\delta_{L,\Delta RD}$	-1,03e-10***	3,4e-11	$\delta_{L,S}$	8,49e-8**	3,43e-8
$\delta_{N,\Delta RD}$	-5,52e-11	3,4e-11	$\delta_{N,S}$	9,05e-8**	3,43e-8
$\delta_{M,\Delta RD}$	-2,33e-10***	5,71e-11	$\delta_{M,S}$	3,65e-7***	5,77e-8
$\delta_{L,\Delta O}$	-2,46e-12	2,73e-11	$\gamma_{Y,RD}$	4,72e-11	3,16e-11
$\delta_{N,\Delta O}$	4,32e-12	2,72e-11	$\gamma_{Y,O}$	4,9e-12	2,2e-11
$\delta_{M,\Delta O}$	-3,57e-12	4,58e-11	$\gamma_{Y,E}$	-8,83e-12	5,45e-12
$\delta_{L,\Delta E}$	2,73e-12	5,60e-12	$\gamma_{Y,S}$	5,71e-11***	2,02e-11
$\delta_{N,\Delta E}$	-7,68e-13	5,58e-12	$\gamma_{\Delta RD,RD}$	2,2e-11	2,64e-11
$\delta_{M,\Delta E}$	-4,68e-12	9,4e-12	$\gamma_{\Delta RD,O}$	7,27e-11	6,32e-11
$\delta_{L,\Delta S}$	-9,07e-11***	2,21e-11	$\gamma_{\Delta RD,E}$	1,64e-11	1,8e-11
$\delta_{N,\Delta S}$	-5,41e-11*	2,21e-11	$\gamma_{\Delta RD,S}$	-6,09e-11	5,65e-11
$\delta_{M,\Delta S}$	-1,51e-10***	3,72e-11	$\gamma_{\Delta O,O}$	-6e-11	4,58e-11
$\delta_{L,t}$	2,7e-8*	1,15e-8	$\gamma_{\Delta O,E}$	-1,33e-11	1,08e-11
$\delta_{N,t}$	7,43e-9	1,12e-8	$\gamma_{\Delta O,S}$	-4,31e-11	3,81e-11
$\delta_{M,t}$	3,01e-8	1,9e-8	$\gamma_{\Delta E,E}$	3,02e-12***	1,03e-12
$\gamma_{Y,Y}$	1,43e-16	2,59e-16	$\gamma_{\Delta E,S}$	-2,23e-11	1,41e-11
$\gamma_{Y,\Delta RD}$	1,94e-15	1,25e-15	$\gamma_{\Delta S,S}$	-5,82e-12	1,03e-11
$\gamma_{Y,\Delta O}$	-5,89e-15***	2,2e-15	$\gamma_{t,RD}$	-3,39e-8***	1,17e-8
$\gamma_{Y,\Delta E}$	5,35e-16*	2,11e-16	$\gamma_{t,O}$	-4,67e-8***	1,61e-8
$\gamma_{Y,\Delta S}$	1,67e-15	1,21e-15	$\gamma_{t,E}$	-6,41e-9**	2,86e-9
$\gamma_{Y,t}$	-5,59e-12***	1,33e-12	$\gamma_{t,S}$	-2,25e-8***	8,23e-9
$\gamma_{\Delta RD,\Delta RD}$	-1,39e-15	2,26e-15	$\gamma_{RD,RD}$	-1,03e-7	4,53e-8
$\gamma_{\Delta RD,\Delta O}$	7,25e-15	5,76e-15	$\gamma_{RD,O}$	8,55e-8	1,08e-7
$\gamma_{\Delta RD,\Delta E}$	-1,14e-15**	4,97e-16	$\gamma_{RD,E}$	-4,11e-8*	1,7e-8
$\gamma_{\Delta RD,\Delta S}$	-8,57e-15*	4,58e-15	$\gamma_{RD,S}$	-8,81e-8	4,95e-8
$\gamma_{\Delta RD,t}$	5,99e-12**	2,99e-12	$\gamma_{O,O}$	6e-8	7,25e-8
$\gamma_{\Delta O,\Delta O}$	1,35e-14***	4,75e-15	$\gamma_{O,E}$	8,04e-8***	1,9e-8
$\gamma_{\Delta O,\Delta E}$	6,28e-16	6,1e-16	$\gamma_{O,S}$	-4,71e-8	6,76e-8

$\gamma_{\Delta O, \Delta S}$	2,41e-15	4,58e-15	$\gamma_{E, E}$	9,44e-9***	2,07e-9
$\gamma_{\Delta O, t}$	1,33e-11*	5,16e-12	$\gamma_{E, S}$	-2,68e-8	1,21e-8
$\gamma_{\Delta E, \Delta E}$	-1,05e-16*	6,31e-17	$\gamma_{S, S}$	3,24e-9	1,1e-8
$\gamma_{\Delta E, \Delta S}$	-1,95e-15 *	7,91e-16	$\gamma_{\Delta S, E}$	4,77e-11***	1,3e-11
$\gamma_{\Delta E, t}$	6,19e-13	6,18e-13	$\gamma_{\Delta S, RD}$	1,59e-10***	5,59e-11
$\gamma_{\Delta S, \Delta S}$	1,37e-16	2e-15	$\gamma_{\Delta E, O}$	-1,77e-11	1,12e-11
$\gamma_{\Delta S, t}$	4,9e-12	3,22e-12	$\gamma_{\Delta E, RD}$	8,68e-12	1,68e-11
			$\gamma_{\Delta S, O}$	2,16e-11	3,5e-11
			$\gamma_{\Delta O, RD}$	-1,83e-10**	6,65e-11

Note : Investissement dans la recherche-développement (*R&D*), information technologique (*O*), autres équipements (*E*), bâtiments de la firme (*S*), énergie (*N*), autres intrants variables intermédiaires (*M*) et main-d'œuvre (*L*) ; *Y* est l'output global et *t* est l'horizon de temps qui permet d'inclure le changement technologique. * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

Estimation des fonctions de demandes, prix implicites et indices

Tableau 10 : Valeurs moyennes des demandes implicites (*shadow values*) des quatre intrants fixes : investissement en *R&D*, l'information technologique (*O*), autres équipements (*E*) et les bâtiments de la firme (*S*), les 6 élasticités croisées et l'élasticité du changement R&D pour chaque année

Année	Demande implicite des autres équipements (q_E)	Demande implicite des bâtiments (q_S)	Demande implicite de l'information technologique (q_O)	Demande implicite de la recherche-développement (q_{RD})	Élasticité croisée (ϵ_{ORD})	Élasticité croisée (ϵ_{ERD})	Élasticité croisée (ϵ_{SRD})	Élasticité croisée (ϵ_{LRD})	Élasticité croisée (ϵ_{EO})	Élasticité croisée (ϵ_{SO})	Élasticité croisée (ϵ_{ES})
2002	-0,00	0,003	-0,02	0,22	-3,4e-9	-6,2e-8	-1,8e-9	-1,3e-8	-0,00024	0,00009	-4,4e-10
2003	0,00	0,00	-0,06	0,29	8e-8	-1,1e-7	-1,4e-7	-6,8e-8	-9,2e-7	6,9e-8	2,1e-8
2004	0,00	0,07	-0,06	0,42	8,8e-8	-1,4e-7	-2,4e-7	-2,7e-7	-1,4e-6	3e-7	3,7e-8
2005	0,00	0,08	-0,06	0,55	-2e-7	5,3e-7	2e-7	6,9e-7	1,1e-6	-1,6e-7	-1,4e-8
2006	0,00	0,10	0,02	0,16	4e-8	6,6e-8	-2,8e-8	-2,2e-7	5,1e-8	-2,5e-8	-8,4e-9
2007	0,03	0,11	0,02	0,16	4,5e-6	-8,9e-7	-6,8e-6	-0,000018	3,2e-7	-6,5e-8	3,5e-6
2008	0,00	0,09	0,01	0,14	-1,3e-7	-2,3e-7	5,1e-7	1,3e-6	5,2e-7	-5e-8	-8,1e-9
2009	0,00	0,06	0,01	0,08	2e-7	-3,9e-7	-2,3e-7	-1,1e-6	5,7e-8	-7,2e-8	1,5e-8
2010	0,00	0,05	-0,00	0,18	6,6e-9	-5,5e-8	-1,1e-8	-2,2e-8	-6,9e-8	-6,5e-8	1,3e-7
2011	-0,00	0,10	-0,01	0,26	1,8e-7	-2,1e-8	-2,1e-7	-1,3e-6	0,000016	-3,1e-6	-2,8e-9
2012	-0,01	0,40	0,03	0,27	2,8e-7	3,1e-7	-2,9e-7	-2,5e-6	1,1e-6	-1,5e-7	1,3e-8
2013	-0,00	0,31	0,02	0,19	8e-8	1,6e-7	-1,5e-8	-1,6e-6	1,4e-7	1,3e-7	9,9e-1
2014	-0,00	0,19	0,02	0,19	4e-8	-1,2e-7	-5,2e-8	-1,8e-7	-2,6e-7	2,6e-8	-1,3e-8
2015	-0,00	0,08	-0,02	0,17	1,5e-8	-7e-9	4e-9	-2,6e-7	5,5e-8	-1,7e-8	-7,1e-10
2016	0,00	0,07	0,00	0,16	1e-7	-1,6e-7	-1,7e-7	-4,4e-7	0,000017	-2,9e-6	-1,8e-9
2017	0,01	0,03	-0,03	0,20	-1,4e-6	1,6e-6	1,4e-6	8,8e-6	0,000074	-0,000017	3,4e-9
2018	0,02	0,01	-0,07	0,29	1,8e-7	-6e-7	-1,4e-7	-1,5e-6	3e-7	-2,1e-8	-1,3e-9
2001-2018	2,78e-3	9,74e-2	-1,14e-2	2,36e-1	2,28e-7	-7,66e-8	-3,39e-7	-9,28e-7	-7,33e-6	3,72e-6	2,03e-7
2001-2005	0,00	3,06e-2	-4,1e-2	3,6e-1	9,2e-10	7,96e-8	-1,44e-8	6,3e-8	-4,82e-5	1,8e-5	6,51e-9

Année	Demande implicite des autres équipements (q_E)	Demande implicite des bâtiments (q_S)	Demande implicite de l'information technologique (q_O)	Demande implicite de la recherche-développement (q_{RD})	Élasticité croisée (ϵ_{ORD})	Élasticité croisée (ϵ_{ERD})	Élasticité croisée (ϵ_{SRD})	Élasticité croisée (ϵ_{LRD})	Élasticité croisée (ϵ_{EO})	Élasticité croisée (ϵ_{SO})	Élasticité croisée (ϵ_{ES})
2006-2011	5e-3	8,5e-2	8,33e-3	1,63e-1	7,99e-7	-2,53e-7	-1,13e-6	-3,22e-6	2,81e-6	-5,63e-7	6,04e-7
2012-2018	2,86e-3	1,56e-1	-7,14e-3	2,1e-1	-1,01e-7	-3,67e-8	1,05e-7	3,31e-7	1,32e-5	-2,85e-6	-1,59e-9

La valeur moyenne de la demande implicite q_E entre 2001 et 2018 est de 0,003, alors qu'elle est nulle, 0,005 et 0,003 entre 2001-2005; 2006-2011 et 2012-2018 respectivement. La demande en E montre aussi une tendance de désinvestissement des PME entre 2012 et 2018 alors que la décennie 2000 a été une période d'accélération certainement induite par l'augmentation de la demande en biens et services. Ainsi, le coût d'ajustement et les prix relatifs des autres équipements pourraient être inférieurs aux bénéfices marginaux, ce qui justifierait le comportement de désinvestissement observé.

La valeur moyenne de la demande implicite q_S est de 0,097; 0,030; 0,085 et 0,156 entre 2001-2018; 2001-2005; 2006-2011 et 2012-2018, respectivement. La demande de S suit une croissance au fil des périodes, indiquant une croissance de la taille des entreprises dans le temps. Ainsi, malgré l'effort de développement, on observe une tendance au désinvestissement en facteurs fixes, indiquant une non-instantanéité due aux coûts d'ajustement et enfin la faiblesse des profits marginaux de court terme.

Tableau 11 : Valeurs moyennes des élasticités croisées output-input, élasticités croisées des intrants fixes-variables et élasticités totales des firmes à savoir les trois élasticités croisées des intrants variables et l'élasticité du changement technologique par année

Année	Élasticité croisée (ε_{LRD})	Élasticité croisée (ε_{NRD})	Élasticité croisée (ε_{MRD})	Élasticité croisée (ε_{LO})	Élasticité croisée (ε_{NO})	Élasticité croisée (ε_{MO})	Élasticité croisée (ε_{LE})	Élasticité croisée (ε_{NE})	Élasticité croisée (ε_{ME})	Élasticité croisée (ε_{LS})
2002	2,6e-6	-2,5e-7	8,3e-6	3,7e-7	1,8e-7	3,6e-6	-7e-7	-5,1e-7	-9,3e-7	9,9e-7
2003	0,000041	4,4e-7	-4,7e-10	0,0001	-1,6e-7	-3,5e-7	0,00009	-2,7e-7	1,7e-8	-0,00002
2004	-1,5e-6	-1,4e-7	2e-6	-2,3e-6	-1,1e-7	7,1e-7	-1,9e-6	7,4e-7	-2,9e-8	3e-6
2005	-2,3e-7	-9,2e-8	2,4e-6	-5e-7	1,8e-7	7,8e-7	5,6e-7	9,4e-8	-2,1e-8	2,7e-8
2006	3,7e-7	3,7e-8	2,2e-7	2,4e-7	1,1e-7	5,4e-8	6,5e-7	1,7e-8	3,1e-7	-9,7e-8
2007	7,5e-7	5,2e-7	-5,5e-8	3,7e-7	1,9e-7	-2,5e-7	8,1e-8	5,1e-7	-2,4e-7	-4e-8
2008	3,8e-7	9,7e-8	2,5e-7	3,7e-7	-1,1e-7	7,7e-8	-5,1e-8	-2,4e-8	-1,5e-8	-7,6e-8
2009	1,2e-7	5,4e-8	-3,1e-7	-2,7e-8	2e-8	-1,2e-7	5,6e-8	-4,8e-8	1e-7	1,4e-8
2010	-0,000033	-2,5e-8	1,8e-8	-0,00002	-9,7e-10	-9,4e-8	-0,000014	-2,4e-8	1,4e-7	0,000045
2011	-8,5e-7	-5,3e-8	2,9e-7	1,4e-7	2,1e-9	5,5e-8	5,4e-7	3,2e-7	3,2e-8	-4e-7
2012	3,1e-7	7,4e-8	1,6e-7	1,8e-7	-5,2e-8	3,7e-8	8,9e-8	-3,7e-8	5,6e-8	-2,9e-7
2013	4,7e-7	-5,4e-8	-1,2e-6	1,6e-7	-4e-7	-1e-7	4,1e-7	2,8e-7	-6,6e-8	-2,6e-7
2014	5,3e-7	-4,7e-7	3,3e-7	-9,5e-8	2,2e-8	9,1e-8	1,1e-7	-1,2e-8	-9,9e-8	2,5e-7
2015	1,1e-6	-1,1e-7	-6,4e-7	2,7e-7	1,7e-9	-2,1e-7	-3,7e-7	5,2e-9	1,9e-7	-1,5e-7
2016	7,4e-7	1,7e-7	-1,2e-6	-4,2e-8	-6,8e-7	6,1e-9	1e-7	6,5e-7	-5,4e-7	1,4e-7
2017	4,6e-7	1,4e-7	0,000019	-8e-8	1,5e-8	5,2e-7	4,2e-8	-6,8e-8	4,3e-7	9,8e-8
2018	3,1e-7	1,7e-7	-8,1e-7	-3,5e-7	-4,6e-8	6,4e-9	2,8e-7	1,2e-7	-1,1e-6	1,8e-7
2001-2018	7,98e-7	2,99e-8	1,69e-6	5,39e-6	-4,93e-8	2,83e-7	4,64e-6	1,03e-7	-1,04e-7	1,91e-6
2001-2005	1,05e-5	-1,05e-8	3,17e-6	2,69e-5	2,25e-8	1,19e-6	2,27e-5	1,35e-8	-2,41e-7	-3e-6
2006-2011	-5,37e-6	1,05e-7	6,88e-8	-2,65e-6	3,52e-8	-4,63e-8	-2,12e-6	1,25e-7	5,45e-8	7,4e-6
2012-2018	5,60e-7	-1,14e-8	2,23e-6	6,14e-9	-1,63e-7	5,01e-8	9,44e-8	1,34e-7	-1,61e-7	-4,57e-9

Note : Investissement dans la recherche-développement ($R\&D$), l'information technologique (O), autres équipements (E), bâtiments de la firme (S), énergie (N), autres intrants variables intermédiaires (M) et la main-d'œuvre (L) ; Y est l'output global et t est l'horizon de temps qui permet d'inclure le changement technologique.

Tableau 11. Valeurs moyennes des élasticités croisées output-input, élasticités croisées des intrants fixes-variables et élasticités totales des firmes à savoir les trois élasticités croisées des intrants variables et l'élasticité du changement technologique par année (Suite)

Année	Élasticité croisée (ε_{NS})	Élasticité croisée (ε_{MS})	Élasticité croisée (ε_{LN})	Élasticité croisée (ε_{LM})	Élasticité croisée (ε_{NM})	Élasticité croisée (ε_{Lt})	Élasticité croisée (ε_{Nt})	Élasticité croisée (ε_{Mt})	Élasticité croisée (ε_{LY})	Élasticité croisée (ε_{NY})	Élasticité croisée (ε_{MY})
2002	-1,4e-7	0,000018	-5,2e-8	-3,7e-9	-7,8e-8	1,4e-7	-1,4e-8	-8,6e-6	8,7	-4,8	12,0
2003	2,5e-7	1,8e-7	-0,00001	-2,5e-7	-1,1e-7	-0,00003	2,5e-7	2,5e-7	214,0	-0,1	-0,5
2004	4,6e-7	9,9e-7	4,9e-8	-4,6e-10	4e-7	1,6e-6	-4,9e-7	-1e-6	6,1	1,2	1,2
2005	-7,5e-8	8,3e-7	1,4e-8	6,8e-11	7,8e-8	4e-7	-4,3e-8	-8,2e-7	5,5	0,88	2,5
2006	-6,3e-8	2,6e-7	-4,5e-8	-1,4e-9	5,8e-7	1,6e-7	-2,6e-8	-2,7e-7	-3,0	0,81	0,09
2007	5e-7	1,2e-7	-8,2e-8	-2,4e-9	6,5e-7	-4,5e-8	-1e-7	6e-7	2,9	2,2	-0,12
2008	1,6e-7	5,3e-8	-3,6e-8	-7,1e-10	1,4e-7	-5,3e-8	-5,7e-8	-2,2e-7	-1,1	0,12	0,66
2009	-3,2e-8	-4,5e-9	2,6e-8	5,9e-10	-9e-8	-9,9e-8	4,3e-8	2,6e-7	0,82	0,12	-0,42
2010	1e-7	9e-8	1,5e-6	1,9e-8	-4e-9	0,000027	6,2e-8	1,1e-7	-5,7	-0,096	0,56
2011	-1,5e-7	3,1e-8	2,7e-8	5,9e-9	-2,7e-6	-1,2e-6	1,6e-8	-2,1e-7	-0,86	-1,1	0,71
2012	6,5e-9	-3,8e-8	-3,9e-8	-2,1e-9	-2,8e-8	-7,9e-8	-4,1e-8	-1,2e-7	1,8	0,38	-0,052
2013	-2,5e-7	-3,3e-7	-4,8e-8	-1,2e-9	4,6e-8	-3,5e-7	-4,8e-7	5,1e-8	5,2	-0,04	-4,8
2014	4,6e-8	-1,5e-7	-3,7e-8	-1,2e-9	-7,9e-8	-2,4e-7	3,5e-7	-3,4e-7	4,8	-0,79	0,12
2015	-1,9e-8	7,8e-8	-1e-7	-3,2e-9	-2,7e-7	1e-7	-6,1e-8	4,8e-9	1,5	-0,84	0,56
2016	1,1e-6	-2e-7	-4,4e-8	-2,4e-9	8,7e-7	3,9e-7	-6,1e-7	1,2e-7	3,3	13,0	-3,9
2017	2,6e-7	3,6e-6	-4,8e-8	-2,1e-9	9,1e-7	-1,5e-7	4,1e-7	-5,7e-7	4,5	0,73	13,0
2018	7,2e-8	-5e-7	-2,8e-8	-1,5e-9	1,1e-7	2,4e-7	5,7e-8	3,6e-7	1,5	0,67	-7,2
2001-2018	1,31e-7	1,35e-6	-6,2e-7	-1,53e-8	1,97e-8	-1,29e-7	-4,32e-8	-6,11e-7	1,47e+1	7,26e-1	9,32e-1
2001-2005	1,24e-7	5e-6	-2,21e-6	-5,11e-8	1,74e-7	-6,97e-6	-7,43e-8	-2,54e-6	5,86e+1	-7,05e-1	5,23
2006-2011	8,58e-8	9,16e-8	-3,07e-8	-8,4e-10	2,33e-7	4,29e-6	-1,03e-8	4,5e-8	-1,16	3,42e-1	2,47e-1
2012-2018	1,74e-7	3,51e-7	1,51e-7	1,59e-9	-1,57e-7	-1,27e-8	-5,36e-8	-7,06e-8	3,23	1,87	-3,25e-1

Note : Investissement dans la recherche-développement ($R\&D$), l'information technologique (O), autres équipements (E), bâtiments de la firme (S), énergie (N), autres intrants variables intermédiaires (M) et la main-d'œuvre (L) ; Y est l'output global et t est l'horizon de temps qui permet d'inclure le changement technologique.

Les effets d'interaction entre les intrants variables sont mesurés par les élasticités ε_{ij} , dont les indices sont globalement faibles, négatifs entre la main-d'œuvre et l'énergie ($\varepsilon_{LN} = -6,2e^{-7}$) d'une part, et entre la main-d'œuvre et les biens intermédiaires ($\varepsilon_{LM} = -1,53e^{-8}$) d'autre part. Ce qui suggère un effet de substitution, qui a été relativement plus important entre 2001-2005 ($\varepsilon_{LN} = -2,21e^{-6}$; $\varepsilon_{LM} = -5,11e^{-8}$) qu'en 2006-2011 ($\varepsilon_{LN} = -3,07e^{-8}$; $\varepsilon_{LM} = -8,4e^{-10}$). Toutefois, cet indice est positif ($\varepsilon_{LN} = 1,51e^{-7}$; $\varepsilon_{LM} = 1,59e^{-7}$) entre 2012-2018 période durant laquelle les dépenses en main-d'œuvre ont été accompagnées d'une hausse de la consommation en énergie et en biens intermédiaires, stipulant ainsi le caractère énergivore et intensif en main-d'œuvre des entreprises. L'indice d'élasticité croisée est positif entre l'énergie et les biens intermédiaires ($\varepsilon_{NM} = 1,97e^{-8}$), indiquant leur complémentarité, laquelle a été plus forte entre 2006-2011 ($\varepsilon_{NM} = 2,33e^{-7}$) qu'en 2001-2005 ($\varepsilon_{NM} = 1,74e^{-7}$). Cet indice est négatif ($\varepsilon_{NM} = -1,57e^{-7}$) et stipule une consommation moins énergivore de biens intermédiaires entre 2012-2018.

Effets d'échelle et du progrès technique

Les effets d'économie d'échelle et de changement technique associés aux facteurs variables sont mesurés par les élasticités ε_{Yi} et ε_{it} , respectivement. Les élasticités ε_{Yi} sont positives entre 2001-2018 ($\varepsilon_{LY} = 14,71$; $\varepsilon_{NY} = 0,726$; $\varepsilon_{MY} = 0,932$), avec toutefois des variations selon les périodes (Tableau 4). Ainsi, l'augmentation du revenu Y de l'entreprise se traduit par des augmentations plus ou moins proportionnelles de demande en intrants variables. Le revenu de l'entreprise est fortement sensible aux effets du travail. Il en résulte que l'expansion des entreprises exige conséquemment une augmentation d'utilisation de facteurs variables. Le signe négatif des élasticités ε_{it} entre 2001-2018 ($\varepsilon_{Lt} = -1,29e^{-7}$; $\varepsilon_{Nt} = -4,32e^{-8}$; $\varepsilon_{Mt} = -6,11e^{-7}$) indique que le progrès technique se traduit par une baisse des dépenses en main-d'œuvre, en énergie et en biens intermédiaires. Ainsi, le progrès technique et la force de la complémentarité avec les intrants variables ont un grand impact sur la demande en intrants variables.

Annexe 6 : Code ISO des pays/États de destination potentiels des exportations

Tableau 12 : Code iso des pays/États de destination

ABW	CEB	EST	IDN	MAC	OED	SRB	USA_AK	USA_RI
AFE	CHE	ETH	IDX	MAR	OMN	SSA	USA_AL	USA_SC
AFG	CHL	ETH	IMN	MCO	OSS	SSD	USA_AR	USA_SD
AFW	CHN	EUU	IND	MDA	PAK	SSF	USA_AZ	USA_TN
AGO	CIV	FCS	IOT	MDG	PAK	SST	USA_CA	USA_TX
AIA	CMR	FIN	IRL	MDV	PAN	STP	USA_CO	USA_UT
ALB	COD	FJI	IRN	MEA	PCN	SUN	USA_CT	USA_VA
AND	COG	FLK	IRQ	MEX	PER	SUR	USA_DC	USA_VT
ANT	COK	FRA	ISL	MHL	PHL	SVK	USA_DE	USA_WA
ANT	COL	FRO	ISR	MIC	PLW	SVN	USA_FL	USA_WI
ARB	COM	FSM	ITA	MKD	PNG	SWE	USA_GA	USA_WV
ARE	CPV	GAB	JAM	MLI	POL	SWZ	USA_HI	USA_WY
ARG	CRI	GBR	JOR	MLT	PRE	SXM	USA_IA	UZB
ARM	CSK	GEO	JPN	MMR	PRI	SYC	USA_ID	VAT
ASM	CSS	GHA	KAZ	MNA	PRK	SYR	USA_IL	VCT
ATG	CUB	GIB	KEN	MNE	PRT	TCA	USA_IN	VDR
AUS	CUW	GIN	KGZ	MNG	PRY	TCD	USA_KS	VEN
AUT	CXR	GLP	KHM	MNP	PSE	TEA	USA_KY	VGB
AZE	CYM	GMB	KIR	MOZ	PSS	TEC	USA_LA	VIR
BDI	CYP	GNB	KNA	MRT	PST	TGO	USA_MA	VNM
BEL	CZE	GNQ	KOR	MSR	PYF	THA	USA_MD	VNM
BEN	DDR	GRC	KWT	MTQ	QAT	TJK	USA_ME	VUT
BES	DEU	GRD	LAC	MUS	REU	TKL	USA_MI	WLD
BFA	DEU	GRL	LAO	MWI	ROU	TKM	USA_MN	WLF
BGD	DJI	GTM	LBN	MYS	RUS	TLA	USA_MO	WSM
BGR	DMA	GUF	LBR	MYS	RWA	TLS	USA_MS	XKX
BHR	DNK	GUM	LBY	MYT	SAS	TMN	USA_MT	YEM
BHS	DOM	GUY	LCA	NAC	SAU	TON	USA_NC	YEM
BIH	DZA	HIC	LCN	NAM	SCG	TSA	USA_ND	YMD
BLR	EAP	HKG	LDC	NCL	SDN	TSS	USA_NE	YUG
BLZ	EAR	HND	LIC	NER	SDN	TTO	USA_NE	ZAF
BMU	EAS	HPC	LIE	NFK	SEN	TUN	USA_NH	ZMB
BOL	ECA	HRV	LKA	NGA	SGP	TUR	USA_NJ	ZWE
BRA	ECS	HTI	LMC	NIC	SHN	TUV	USA_NM	
BRB	ECU	HUN	LMY	NIU	SLB	TWN	USA_NV	
BRN	EGY	IBD	LSO	NLD	SLE	TZA	USA_NY	
BTN	EMU	IBT	LTE	NOR	SLV	UGA	USA_OH	
BWA	ERI	IDA	LTU	NPL	SMR	UKR	USA_OK	
CAF	ESH	IDB	LUX	NRU	SOM	UMC	USA_OR	
CCK	ESP	IDN	LVA	NZL	SPM	URY	USA_PA	