



CIRANO

Allier savoir et décision

Analyse de la connectivité économique du Canada et du Québec

JULIEN MARTIN

DALIBOR STEVANOVIC

ADAM TOURÉ

2020RP-08
RAPPORT DE PROJET



RP

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 Laurentienne 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 la Science et de l'Innovation
Ministère des finances du Québec
Mouvement Desjardins
Power Corporation du Canada
Rio Tinto
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.*

© Mai 2020. Julien Martin, Dalibor Stevanovic, Adam Touré. 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 nécessairement 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 necessarily represent the positions of CIRANO or its partners.*

Analyse de la connectivité économique du Canada et du Québec

*Julien Martin, Dalibor Stevanovic, Adam Touré **

Résumé

Dans ce rapport, la méthode de Diebold and Yilmaz (2014) est utilisée pour quantifier l'exposition du Québec et du Canada aux chocs étrangers. Plus de la moitié des chocs qui touchent le PIB canadien trouvent leur origine à l'étranger, en particulier aux États-Unis et au Royaume-Uni. Ces deux pays sont également une source importante de chocs affectant le cycle des affaires québécois, tout comme l'Ontario qui à lui seul explique 30% des chocs dans la province.

Mots clés : Connectivité, Cycle des affaires, Synchronisation, Exposition au risque

Table des matières

1	Introduction	5
2	Méthodologie	10
2.1	Présentation des modèles VAR et VECM	10
2.2	Décomposition généralisée de la variance (GFEV) et mesures de connectivité	12
2.2.1	Mesures de connectivité	13
2.3	Données	14
3	Résultats	17
3.1	Réseau G7-Mexique-Chine	17
3.1.1	Connectivité statique	17
3.1.2	Connectivité dynamique	22
3.2	Réseau G6-Mexique-Chine-Provinces	26
3.2.1	Connectivité Statique	26
3.2.2	Connectivité dynamique	32
3.3	Déterminants de la connectivité	37
4	Conclusion	38
A	Annexe	42

Table des figures

1	Représentation graphique du réseau G7-Mexique-Chine	20
2	Exposition du Canada : Décomposition selon l'horizon de prévision	22
3	Connectivité globale dynamique, G7-Mexique-Chine (RW-60Q), 1996 :Q1-2017 :Q4	23
4	Exposition du Canada dans le réseau G7-Mexique-Chine	24
5	Influence du Canada dans le réseau G7-Mexique-Chine	24
6	Exposition du Canada : décomposition historique	26
7	Influence Nette du Canada dans le réseau G7-Mexique-Chine	28
8	Représentation graphique du réseau G6-Mexique-Chine-Provinces	29
9	Exposition du Québec : Décomposition selon l'horizon de prévision	30
10	Exposition de l'Ontario : Décomposition selon l'horizon de prévision	31
11	Exposition du Reste du Canada : Décomposition selon l'horizon de prévision	32
12	Connectivité globale dynamique, G6-Mexique-Chine-Provinces (RW-60Q), 1996 :Q1-2017 :Q1	33
13	Influence des provinces	34
14	Exposition des provinces	34
15	Exposition du Québec : décomposition historique	35
16	Exposition de l'Ontario : décomposition historique	36
17	Exposition du Reste du Canada : décomposition historique	36
18	Déterminants de l'exposition internationale d'un pays	40

A1	PIB des tertitoires retenues (en log)	42
A2	Influence nette des Provinces	45

Liste des tableaux

1	Table de connectivité	13
2	Connectivité Statique, G7-Mexique-Chine, PIB Trimestrielle, 1981 :T1 - 2017 :Q4	19
3	Connectivité Statique, G6-Mexique-Chine-Provinces PIB Trimestrielle, 1981 :T1 - 2017 :Q4	27
4	Déterminants des sources de connectivité	39
A.1	Test de co-intégration pour le réseau G7-Mexique-Chine	43
A.2	Test de co-intégration pour le réseau G6-Mexique-Chine-Provinces	43
A.3	Pics (P) et creux (T) des Cycles économiques des Pays du G7-Mex, 1984-2016	44

Résumé analytique

Ce rapport présente une mesure de la connectivité des économies canadienne et québécoise avec les grandes puissances économiques mondiales qui s'appuie sur la méthode proposée par Diebold and Yilmaz (2014).

La connectivité est une mesure de l'importance des liens d'une économie avec les différentes entités du réseau. La méthode Diebold and Yilmaz (2014) permet de mesurer l'exposition d'une économie aux autres économies du réseau, de mesurer l'influence d'une économie sur les autres économies et la connectivité globale du réseau.

Nous analysons dans un premier temps la connectivité dans le réseau constitué des pays du G7, de la Chine et du Mexique. Le Canada est très exposé aux autres pays du réseau. En moyenne sur les 35 dernières années, 57% des chocs sur le PIB proviennent de l'étrangers. Les États-Unis et le Royaume-Uni sont les deux pays qui influencent le plus le cycle des affaires canadiennes.

Nous répliquons ensuite cette analyse dans un réseau dans lequel nous remplaçons le Canada par le Québec, l'Ontario et le reste du Canada. Selon l'horizon temporel considéré, 20% à 30% des chocs au Québec trouvent leur origine en Ontario. La province est également fortement exposée aux aléas économiques des États-Unis et du Royaume-Uni. L'influence de l'Ontario sur le Québec n'est pas réciproque. La province de l'Ontario est très fortement liée à la conjoncture économique des États-Unis.

Enfin, nous étudions les déterminants de l'exposition d'un pays aux chocs étrangers. Les petits pays (en termes de population) sont plus exposés que les grands. L'exposition est également directement reliée à la distance géographique, aux flux commerciaux et aux investissements directs à l'étranger.

1 Introduction

La plupart des régions du globe sont liées les unes aux autres par des flux de capitaux, par le commerce de biens et services, et par les mouvements

d'individus. Ces interconnexions facilitent la transmission des chocs d'une économie à une autre. Ainsi une crise économique, une pandémie ou une catastrophe naturelle dans un pays se propagent à l'extérieur du pays selon l'importance des liens qui relient ce pays au reste du réseau (voir par exemple le travail de Boehm et al. (2019) sur la propagation du tsunami de 2011 au Japon sur l'économie américaine).

Comprendre la place d'un pays ou d'une région dans ce réseau global est un élément décisif pour permettre aux décideurs publics d'évaluer et de gérer le risque auquel ils font face. Dans cette perspective, une notion clé est celle de connectivité d'une économie. La connectivité est une mesure de l'importance des liens d'une économie avec les différentes entités du réseau. Récemment, les chercheurs ont développé de nouvelles méthodes permettant de décrire la connectivité économique et ainsi évaluer l'exposition au risque d'un secteur, d'une entreprise ou d'une économie (Diebold and Yilmaz, 2013, 2014).

L'objectif principal de ce rapport est d'appliquer ces nouvelles méthodes pour quantifier l'exposition du Canada et du Québec à différentes régions du monde (provinces canadiennes ou pays). La méthode développée pour y parvenir permettra par ailleurs de mesurer l'évolution de l'exposition au risque du Québec, de comparer cette exposition à d'autres provinces, et d'étudier les déterminants principaux du niveau d'exposition entre les territoires considérés.

Après avoir décrit la méthodologie, l'analyse comprend trois volets. Le premier porte sur l'économie canadienne. Cela permet d'exposer la méthode et le type de résultats qui pourront être obtenus pour le Québec. L'analyse est aussi digne d'intérêt car cette méthodologie n'a pas été appliquée pour le Canada. La méthode développée par Diebold and Yilmaz (2014) est appliquée aux produits intérieurs bruts (PIB) des pays du G7 (y compris le Canada) auxquels nous ajoutons le Mexique étant donné sa proximité géographique et économique au Canada et la Chine. Les données utilisées sont trimestrielles,

allant du premier trimestre 1981 au quatrième trimestre de 2017. Elles sont analysées dans un modèle VECM, car le test de Johansen indique l'existence de liens de co-intégration.

Dans ce réseau, et sur la période considérée, en moyenne près de 57% des chocs sur le PIB canadien viennent de pays tiers. Parmi ces pays, les États-Unis et le Royaume-Uni occupent une place centrale avec 46% de la variance des chocs expliquée. L'analyse dynamique montre que depuis 2010, la France semble également avoir une influence grandissante.

Le second exercice consiste à appliquer la même méthode pour le Québec, l'Ontario, le reste du Canada, les 6 autres pays du G7, la Chine et le Mexique. Cela nous permet d'appréhender la place du Québec et de l'Ontario dans ce réseau. Le Québec est fortement exposé aux aléas économiques de l'Ontario, des États-Unis et du Royaume-Uni. Il ressort en particulier de cette analyse, que les chocs en Ontario ont un effet quasi immédiat sur le Québec ; près de 20% de la volatilité étant tirée par l'Ontario à un horizon d'un trimestre. L'incertitude provenant de l'Ontario s'étend sur plusieurs mois et atteint près de 30% après 4 trimestres. Le Québec est aussi exposé de manière significative à l'économie française.

L'Ontario est également exposé aux chocs étrangers. L'économie de cette province est très sensible aux fluctuations de l'économie américaine. Les chocs touchant le Royaume-Uni et le Mexique mettent plus de temps à se transmettre, mais jouent également un rôle central pour la volatilité de l'activité économique de l'Ontario.

Le Québec, comme les autres provinces canadiennes, tend à être un receveur nets de chocs. En effet, les chocs provinciaux se transmettent de manière limitée aux pays du réseau. L'Ontario fait figure d'exception en étant un transmetteur net de chocs, notamment à cause de son influence sur les autres territoires canadiens, mais aussi de façon significative sur certains pays du réseau.

Le dernier exercice consiste à étudier les déterminants de la connectivité

qui a été calculée et présentée. Le premier résultat de cette analyse est que l'exposition aux chocs provenant de l'étranger est inversement proportionnelle à la taille d'une économie. Ainsi les petits pays sont plus sujets que les autres aux aléas économiques des autres membres du réseau. Le second résultat est que les flux de commerce et les investissements directs à l'étranger entre pays sont corrélés avec le niveau de la connectivité entre ces pays. Ceci suggère que le commerce international et les investissements directs sont des canaux de propagation des chocs entre les pays.

Littérature. Plusieurs indicateurs de connectivité économique ont été développés. Adrian and Brunnermeier (2016) proposent le CoVAR, un indicateur basé sur la valeur à risque (VaR) permettant de mesurer la contribution d'une firme tierce (ou d'un marché) au risque de perte financière d'une entreprise. Acharya et al. (2016) proposent, eux, le SES (*systemic expected shortfall*) qui mesure la sensibilité du rendement d'une firme à un événement extrême sur le marché. Billio et al. (2012) utilisent l'analyse par composante principale pour mesurer le niveau de connectivité totale dans le réseau des institutions financières. Ils utilisent aussi la causalité au sens de Granger pour évaluer la connectivité entre deux entités.

À la différence de la plupart des auteurs de cette littérature, Diebold and Yilmaz (2014) proposent un cadre d'analyse qui permet de produire à partir d'une même méthode différents types de connectivité : l'exposition, l'influence ou la connectivité globale. Ils font interagir les données des différentes entités dans un modèle VAR/VECM et utilisent la décomposition généralisée de la variance comme matrice d'adjacence du réseau. Cette matrice donne une description quasi complète d'un réseau à un moment donné. Ils appliquent ensuite cette méthode de façon récursive pour obtenir l'évolution de la connectivité à travers le temps. Cela leur permet de dresser un portrait du réseau des grandes institutions financières américaines à partir des séries de volatilités financières et d'analyser les changements de ce réseau

au fil de la crise.

Ce cadre d'analyse a l'avantage d'être simple et transférable à des domaines autres que purement financiers. Après l'analyse du réseau des institutions financières, Diebold and Yilmaz (2013) utilisent leur méthode pour étudier la connectivité de 6 pays du G7 (sans le Canada) entre 1958 et 2012. Le modèle VAR met en relation les productions industrielles des pays. Ils trouvent que dans ce réseau les États-Unis et le Japon sont les plus importants transmetteurs de choc.

Park and Shin (2018) l'utilisent dans un cadre plus général, à l'aide d'un VAR global, pour étudier l'exposition de la Corée du Sud. Ils trouvent que les États-Unis sont l'économie qui exerce le plus d'effets sur la Corée du Sud. Kang and Yoon (2019) et l'appliquent sur 9 entités économiques (pays et régions) pour mesurer la connectivité entre elles dans la dimension de l'incertitude. L'information utilisée pour chaque entité économique est la mesure d'incertitude politique développée par Baker et al. (2016). Dans ce réseau, ils trouvent qu'en moyenne 67.4 % de la volatilité de l'incertitude provient de l'exposition des économies les unes aux autres. L'Europe et la Chine sont d'importants émetteurs de chocs d'incertitude de politique économique.

À notre connaissance, ce type d'étude n'a pas été appliqué à l'économie canadienne ni à l'économie québécoise. Nous proposons ici de combler ce vide et d'offrir une analyse du degré de connectivité économique et d'exposition du Canada et du Québec.

Enfin, notre étude est en lien avec le papier séminal de Backus et al. (1992) et les travaux empiriques cherchant à comprendre les déterminants de la synchronisation internationales des cycles économiques (voir par exemple Frankel and Rose, 1998). La principale innovation de l'approche utilisée dans ce papier est que la connectivité n'est pas mesurée par une corrélation bilatérale statique de variables macroéconomiques (PIB ou production), mais sur la corrélation dynamique d'innovations sur ces variables.

2 Méthodologie

Diebold and Yilmaz (2014) mesurent la connectivité entre des entités économiques en faisant interagir les informations de ces entités dans un modèle vectoriel. Cela permet par la suite de calculer la part d'incertitude future sur chaque entité qui est expliquée par les innovations (chocs, imprévus) qui affectent les autres entités du réseau : la décomposition de la variance de l'erreur de prévision. C'est cette décomposition de la variance de l'erreur de prévision qui fournit les différentes mesures de connectivité (statique, dynamique et directionnelle).

Dans cette section nous présentons les différents éléments de la méthode développée par Diebold and Yilmaz (2013) et les données sur lesquelles nous l'appliquons pour étudier la connectivité du Canada et celle du Québec. La description de la méthodologie se déclinera en deux points. Dans un premier temps nous présentons les différents modèles vectoriels VAR et VECM, puis viendra la méthode de la décomposition de la variance permettant d'obtenir les mesures de connectivité. Les données ne seront présentées qu'après ces deux points.

2.1 Présentation des modèles VAR et VECM

Le modèle vectoriel utilisé pour estimer les mesures de connectivité peut être un modèle VAR ou un modèle VECM selon qu'il existe ou non une relation de co-intégration entre les séries. Il est important de noter que c'est en fonction des caractéristiques des données que l'on finit par choisir l'un ou l'autre des modèles. Si les données ne présentent pas de lien de co-intégration (une tendance stochastique commune), nous pourrions utiliser le modèle VAR. Dans le cas contraire, il est préférable d'utiliser un modèle VECM. C'est pourquoi nous présentons dans cette sous-section les deux modèles.

Modèle VAR

Le modèle VAR (vectoriel auto-régressif) s'écrit comme suit :

$$Y_t = A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + e_t \quad (1)$$

$$= A(L)Y_{t-1} + e_t, \quad (2)$$

où $A(L)$ est un polynôme matriciel d'ordre p et e_t est un bruit blanc de dimension n . Ce modèle VAR(P) peut être réécrit comme suit :

$$Y_t = B(L)(e_t); \quad B(L) = [I - A(L)L]^{-1} \quad (3)$$

Cette forme (3) nous renvoie à une représentation en moyenne mobile des innovations de la forme réduite (2) du système. Elle permet de calculer les fonctions de réponses linéaires qui mesurent l'effet d'un choc de la variable i sur l'évolution de la variable j .

Dans ce modèle, le système de variables doit être stationnaire de sorte que les effets d'innovations sur chaque variable du système finissent par s'estomper dans le temps. Or, comme beaucoup de séries temporelles macroéconomiques ont une tendance, la possibilité de co-intégration ne devrait pas être ignorée. Dans ce cas, il est plus approprié d'utiliser un modèle VECM (Vectoriel Error Correction Model).

Modèle VECM

Le Modèle VECM permet de tenir compte des relations de long terme qui existent entre les variables non stationnaires. De façon générale, un modèle VECM pour un vecteur X_t de n variables s'écrit comme suit :

$$\Delta X_t = \Pi X_{t-1} + C_1 \Delta X_{t-1} + C_2 \Delta X_{t-2} + \dots + C_{p-1} \Delta X_{t-p+1} + \epsilon_t. \quad (4)$$

Ce modèle traite la non-stationnarité en prenant la première différence des variables en niveau et par le terme ΠX_{t-1} qui permet de prendre en compte la relation de long terme entre les variables dans l'estimation de leur dynamique. C'est le terme de correction d'erreur.

Le choix entre le modèle VECM et le modèle VAR sera déterminé par un test de co-intégration sur les données. Les différents paramètres des modèles sont estimés respectivement par la méthode des moindres carrés ordinaires pour le VAR et de double moindre carré pour VECM. Le nombre de retards optimal étant choisi selon le critère d'informations de Akaike (AIC).

2.2 Décomposition généralisée de la variance (GFEV) et mesures de connectivité

Dans un modèle vectoriel (VAR ou VECM) mettant en relation k variables, la décomposition de la variance des erreurs de prévisions de la variable i permet de déterminer la part des variations de son erreur de prévision à un horizon h qui est due à une innovation de la variable j ($j = 1, \dots, k$).

La méthode de Cholesky est habituellement utilisée pour décomposer la variance. Bien que facile à implémenter, cette méthode est néanmoins sensible à l'ordre dans lequel les variables sont introduites dans l'estimation.

Souhaitant une estimation de la décomposition libre de cette contrainte (influence de l'ordre), Pesaran and Shin (1998) ont proposé la décomposition généralisée de la variance. Rappelons la forme moyenne mobile du modèle (3),

$$Y_t = B(L)e_t; \quad e_t \sim N(0, \Sigma) \quad (5)$$

où Σ est la matrice de covariance de e_t . La part de la variance de l'erreur de prévision à l'horizon h de la variable i , due à une innovation dans la variable

j , est donnée par la formule suivante :

$$d_{ij}^h = \frac{\sigma_{jj}^{-1} \sum_{l=0}^{h-1} (\iota_l' \Sigma B_l \iota_i)}{\sum_{l=0}^{h-1} (\iota_l' B_l \Sigma B_l' \iota_i)} \quad (6)$$

où σ_{jj} est le $j^{\text{ème}}$ élément de la diagonale de la matrice Σ et ι_i un vecteur de taille k ne contenant que des zéros sauf à la ligne i où il y a 1.

2.2.1 Mesures de connectivité

Lorsqu'on résume dans une table les résultats de la décomposition de la variance pour chaque série retenue dans le vecteur Y on obtient :

TABLE 1 – Table de connectivité

	y_1	y_2	...	y_N	Depuis les autres
y_1	d_{11}^H	d_{12}^H	...	d_{1N}^H	$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N d_{1j}^H, j \neq 1$
y_2	d_{21}^H	d_{22}^H	...	d_{2N}^H	$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N d_{2j}^H, j \neq 2$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots
y_N	d_{N1}^H	d_{N2}^H	...	d_{NN}^H	$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N d_{Nj}^H, j \neq N$
Vers les autres	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_{i1}^H, i \neq 1$	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_{i2}^H, i \neq 2$...	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_{iN}^H, i \neq N$	$\frac{1}{N} \sum_{i,j=1; i \neq j}^N d_{ij}^H, i \neq j$

Sur la ligne i nous avons la décomposition de la variance de la série y_i . d_{ij}^H représente la contribution de la variable j à la variance des erreurs de prévision de la variable i jusqu'à l'horizon H . De ce tableau ressortent différentes mesures de connectivité :

- Connectivité pour une paire d'entités : $C_{i \leftarrow j}^H = d_{ij}^H$
- Connectivité totale dans le réseau : $C^H = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1; i \neq j}^N d_{ij}^H$
- Connectivité directionnelle provenant des autres : $C_{i \leftarrow \bullet}^H = \sum_{j=1; j \neq i}^N d_{ij}^H$
- Connectivité directionnelle vers les autres : $C_{\bullet \leftarrow j}^H = \sum_{i=1; i \neq j}^N d_{ij}^H$

La *connectivité totale* mesure l'exposition moyenne des entités dans le réseau. C'est la part moyenne de la variance des erreurs de prévisions qui est

due aux autres économies du réseau.

La connectivité directionnelle *provenant des autres* mesure l'exposition totale d'une entité au reste du réseau. Quant à la connectivité directionnelle *vers les autres*, elle mesure l'effet total d'un choc frappant une entité sur les autres entités du réseau, en sommant les effets sur ces dernières.

Par ailleurs, nous produisons des séries temporelles de connectivité. Pour le faire, nous utilisons une fenêtre glissante de 15 ans (60 trimestres) pour l'estimation du modèle et un horizon d'un an pour le calcul de la variance des erreurs de prévision. Cela permet de calculer les mesures de connectivité qui sont attribuées au trimestre qui suit les 15 ans de la fenêtre. Puis la fenêtre est déplacée d'un trimestre pour calculer les statistiques du trimestre suivant jusqu'à parcourir toute la période de travail. On obtient ainsi une série temporelle de la connectivité totale/globale et des séries temporelles de la connectivité directionnelle pour chaque entité du réseau.

Pour terminer, il faut noter que la mesure n'est pas affectée si un choc commun frappe simultanément et symétriquement toutes les économies du réseau. En revanche, si les économies réagissent différemment à un choc commun, alors cette mesure assimilera une partie de ce choc commun à des chocs spécifiques aux pays. Cette limite est partagée par la quasi-totalité des mesures de comouvement.

2.3 Données

Pour étudier l'exposition du Canada et du Québec à leurs principaux partenaires économiques, nous considérons deux réseaux :

- Pour le Canada : un réseau constitué des pays du G7, du Mexique et de la Chine (G7-MEX-CHN).
- Pour le Québec : un réseau similaire au précédent dans lequel le Canada est remplacé par 3 de ses divisions : le Québec, l'Ontario et le Reste du Canada. On le nommera G6-MEX-CHN-Pr.

Le réseau retenu pour le Canada représente environ 46 % du PIB mon-

dial en 2019. Pour les différents réseaux nous utilisons les PIB trimestriels des territoires concernés, allant du 1981-T1 au 2017-T4. Les séries de PIB proviennent toutes du site de la *Réserve fédérale de Saint-Louis* (FRED).

Un traitement particulier a été réalisé pour le PIB de la Chine. Sur le site de la *Réserve fédérale de Saint-Louis* (FRED), les données trimestrielles disponibles ne remontent que jusqu'en 1992T1. Par ailleurs, le site propose une série annuelle du PIB chinois qui remonte jusqu'en 1960. Cela permettrait de réaliser une interpolation linéaire du PIB chinois de la fréquence annuelle à la fréquence trimestrielle pour la période 1981T1 à 1991T4. Mais un tel choix engendrerait un taux de croissance du PIB chinois constant pour les quatre trimestres de chaque année entre 1981 et 1991. Il y aurait alors très peu d'innovation dans cette économie pendant cette période, et les innovations ayant lieu chaque 4 trimestres ne sauraient traduire la dynamique réelle de l'économie. Or, ce que cette analyse cherche à mesurer c'est l'effet moyen des innovations advenant dans un pays sur ces partenaires.

D'un autre côté, nous disposons, sur le même site, d'une série mensuelle qui donne le ratio du PIB de la Chine sur sa tendance. Nous avons donc une approximation de la valeur mensuelle réalisée du PIB, en supposant que l'interpolation linéaire de la fréquence annuelle à la fréquence mensuelle nous permettrait d'obtenir une estimation de la tendance pour chaque mois. Ainsi nous obtenons l'estimation du PIB mensuel en multipliant le résultat de l'interpolation linéaire du PIB annuel par le ratio PIB/Tendance, tout en normalisant la moyenne des ratios de la même année à 1. Ensuite, puisque la fréquence de travail est trimestrielle, nous sommes les estimations mensuelles trimestriellement.

Les données du Québec et de l'Ontario proviennent de Statistique Canada. Le réseau servant à étudier la connectivité du Québec, contient 3 divisions du Canada (le Québec, l'Ontario et le reste du Canada). Ce choix a été réalisé à cause du nombre limité d'observations temporelles à notre disposition (soit 148). La division nommée reste du Canada est alors obtenue

en retranchant les PIB de l'Ontario et du Québec au PIB Canadien.

Afin de choisir le modèle adéquat pour l'estimation des mesures de connectivité, nous réalisons le test de co-intégration de Johansen sur l'ensemble des séries. Mais avant cela, nous réalisons sur chacune des séries le test de racine unitaire de Dickey-Fuller augmenté (ADF) en considérant une tendance linéaire sous l'alternative. Le nombre de retards utilisé pour la réalisation de ce test est déterminé par le critère de AIC. Nous trouvons qu'il n'y a pas d'évidence contre la présence de racine unitaire pour différentes séries prises en log.

Test de co-intégration

Les tableaux [A.1](#) et [A.2](#) présentent les résultats des tests de co-intégration selon la méthode de la trace pour les deux réseaux (respectivement G7-Mex-Chn et G6-Mex-Chn-Pr). Ce test permet de détecter l'existence ou non de lien de co-intégration entre les variables ; et dans le cas où il en existe, il permet de déterminer le nombre de liens de co-intégration. Lorsque la statistique du test est supérieure à la valeur critique à un niveau donné de confiance, on peut alors rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il y existe au plus R liens de co-intégration.

Selon les résultats résumés dans le tableau [A.1](#), au seuil de 5% et 10% on peut rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il n'existe pas de relation de co-intégration ($R = 0$) contre l'hypothèse alternative qu'il existe au moins un lien de co-intégration ($R > 0$). De même, on peut rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il existe au plus une relation de co-intégration ($R \leq 1$) contre l'hypothèse alternative qu'il existe plus d'un lien de co-intégration ($R > 1$). En revanche, on ne peut rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il existe au plus sept liens de co-intégration ($R \leq 7$). Pour le réseau G7-Mexique-Chine, nous estimons par conséquent un VECM avec six liens de co-intégration. En réalisant le même exercice pour le réseau contenant les provinces, le nombre de liens de co-intégration obtenu au seuil de 5 % est égal à 2.¹

1. Il faut noter que notre échantillon étant relativement petit pourrait être la cause

Déterminants de la connectivité

En plus de mesurer la connectivité entre pays, nous en étudions les déterminants potentiels. Étant donné le nombre restreint de pays considérés dans l'échantillon, nous nous concentrons sur un petit nombre de déterminants potentiels, ceux que nous jugeons plus pertinents à cet effet. Ainsi, nous utilisons les informations sur les distances géographiques, les flux commerciaux, et les investissements directs étrangers (IDE) entre chaque paire du réseau. Les données sur le commerce bilatéral proviennent du site de l'observatoire sur la complexité économique (*Observatory of economic complexity*) et celles relatives aux distances entre pays du Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales (CEPII). Les informations sur les investissements directs étrangers proviennent du site de l'OCDE.²

3 Résultats

3.1 Réseau G7-Mexique-Chine

Dans cette section, nous présentons les résultats des analyses sur la connectivité dans le réseau G7-Mexique-Chine. Nous présentons les résultats de la connectivité statique et de la connectivité dynamique. Dans chacun des cas, nous concentrons l'analyse sur l'exposition du Canada aux autres pays.

3.1.1 Connectivité statique

Les résultats de la décomposition de la variance généralisée sont résumés dans le tableau 2. Ce tableau décrit les liens de connectivité entre les économies du G7, le Mexique et la Chine sur la période 1981 à 2017.

de la grande disparité des nombres estimés de relations de cointégration entre les deux réseaux. Néanmoins, nous avons produit l'analyse avec différents nombres de vecteurs de cointégration, et les résultats sont qualitativement robustes.

2. Nous discutons également de résultats non reportés dans le rapport basés sur les flux financiers de la *Bank of International Settlements*.

À partir des informations fournies par ce tableau, nous réalisons une représentation graphique du réseau et des liens de connectivité entre les membres au quatrième trimestre de 2017 (figure 1). Sur ce graphique chaque entité (nœud) est représentée par un cercle dont la taille indique le niveau d'influence de l'entité dans le réseau et la couleur indique son degré d'exposition. Les liens de connectivité entre les territoires sont illustrés par les flèches dirigées d'un cercle à l'autre, indiquant la direction du lien de connectivité. L'intensité des liens de connectivité est signalée par le type, la couleur et l'épaisseur des flèches. Les flèches en pointillé correspondent à une connectivité entre 1% et 4.5%. Celles en tirets correspondent à une connectivité entre 4.5% et 9.5 %. Les liens de connectivité compris entre 9.5% et 20% sont représentés par des flèches en ligne continue grises et les liens supérieurs à 20% par des lignes continues noires. Outre cette catégorisation par groupe, l'épaisseur des liaisons entre les cercles augmente avec l'intensité des liens de connectivité.

Nous utilisons l'algorithme de Fruchterman and Reingold (1991) pour la disposition des nœuds. Cet algorithme traite chaque nœud comme une particule électriquement chargée. Les nœuds sont dotés du même type de charges, ils ont donc tendance à se repousser les uns des autres. Les liens de connectivité entre deux nœuds/territoires agissent comme des forces attractives qui tendent à les rapprocher graphiquement, plus ils sont importants. En conséquence, les nœuds qui partagent plus de connectivité sont plus proches les uns des autres. Ainsi, les nœuds sont répartis uniformément sur le graphique et la disposition est intuitive dans la mesure où les nœuds qui partagent plus de connexions sont plus proches les uns des autres.

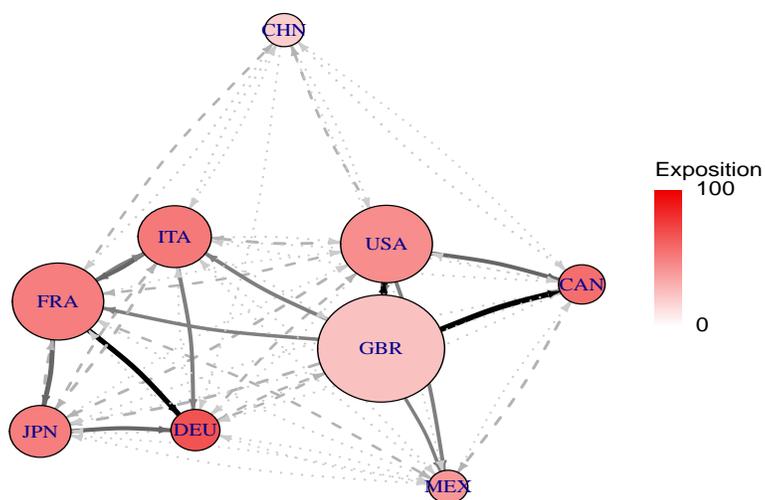
L'utilisation de cet algorithme fait ressortir des regroupements à la fois géographiques et institutionnels. Géographiquement, on peut distinguer les pays de "l'Ouest" composés de la Grande-Bretagne, des États-Unis, du Canada et du Mexique et les pays de "l'Est" composés de la France, de l'Italie, de l'Allemagne et du Japon. Sur le plan institutionnel, on peut distinguer les pays de la zone Euro, les pays de l'ALENA et les pays anglo-saxons. La

TABLE 2 – Connectivité Statique, G7-Mexique-Chine, PIB Trimestrielle, 1981 :T1 - 2017 :Q4

	USA	DEU	JPN	GBR	FRA	ITA	CAN	MEX	CHN	<i>Exposition</i>
USA	54.47	5.73	1.23	29.24	1.02	2.93	2.24	0.92	2.22	45.53
DEU	2.44	31.35	18.36	5.13	23.90	12.46	2.65	1.34	2.37	68.65
JPN	7.67	3.16	48.21	8.74	19.25	8.17	1.86	2.69	0.25	51.79
GBR	13.58	5.09	0.60	74.84	0.67	3.63	0.79	0.60	0.19	25.16
FRA	5.46	2.93	6.69	13.37	48.13	16.11	0.28	3.15	3.88	51.87
ITA	8.50	2.38	5.82	14.93	14.92	46.15	2.55	3.00	1.76	53.85
CAN	17.33	2.04	3.37	29.07	0.79	1.79	42.80	1.14	1.68	57.20
MEX	11.50	2.13	1.57	9.85	5.56	2.32	6.90	58.98	1.20	41.02
CHN	5.23	0.72	0.43	0.37	5.08	3.79	4.29	0.50	79.59	20.41
<i>Influence</i>	71.70	24.20	38.07	110.69	71.17	51.20	21.57	13.34	13.54	Indice
<i>Net</i>	26.17	-44.45	-13.72	85.54	19.30	-2.65	-32.28	-43.86	-6.87	46.16

Note : Chaque cellule de la matrice 9×9 supérieure gauche donne la contribution relative de chaque pays en colonne à la variance de l'erreur de prévision du pays en ligne. La colonne *Exposition* reporte la part de la variance du pays en ligne attribuable aux autres pays. La ligne *Influence* reporte les contributions totales du pays en colonne à la variance de l'erreur de prévision de tous les autres pays. Chaque cellule de la ligne *Net* reporte pour chaque pays en colonne, la différence entre la valeur correspondant à ce pays dans la colonne *Exposition* et celle correspondant à ce pays dans la ligne *Influence*. L'indice total de connectivité dans la cellule en bas à droite est la moyenne des éléments de la ligne *Influence* (ou de la colonne *Exposition*), multipliée par 100. À titre illustratif, analysons le Canada. Le niveau d'exposition est 57.20 % son influence s'élève à 21.57 % et l'influence nette de -32.28%. La contribution des États-Unis à la variance d'erreur de prévision du PIB du Canada est de 17.33 % pendant que la contribution du Canada à celle des États-Unis s'élève à 2.24%.

FIGURE 1 – Représentation graphique du réseau G7-Mexique-Chine



Note : Ce graphique est réalisé à partir des informations contenues dans le tableau 2. Chaque entité du réseau est représentée par un cercle, dont la taille est proportionnelle à son influence totale dans le réseau. La couleur du cercle représente son degré d'exposition. La connectivité directionnelle entre deux entités est représentée par les flèches qui relient les cercles qui leur sont associés. L'intensité de cette connectivité est renseignée par le type, la couleur et l'épaisseur des traits : Les pointillés correspondent à une connectivité comprise entre 1 et 4.5 ; les tirets entre 4.5 et 9.5 ; les traits continus gris lorsque la connectivité est supérieure à 9.5 à 20 et les traits continus noirs pour une connectivité supérieure à 20. Les liens inférieurs à 1% ne sont pas représentés.

Chine est relativement isolée dans le réseau, tout en étant symétriquement connectée aux deux blocs.

L'économie la plus exposée, celle qui est la plus affectée par les chocs provenant des autres économies, est l'Allemagne dont 68.65% de la variation d'erreurs de prévision proviennent des chocs étrangers. Le Canada vient en deuxième position avec 57.20% d'exposition. Cette exposition provient essentiellement du Royaume-Uni et des États-Unis qui sont responsables respectivement de 29.07% et 17.33% des innovations affectant le taux de croissance du PIB canadien. La Chine est le territoire le moins exposé aux chocs extérieurs avec 20.41%.

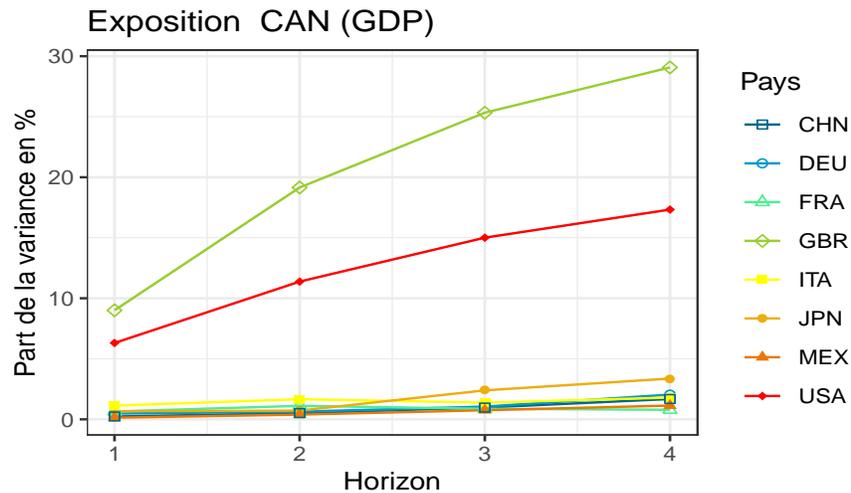
Pour mieux analyser l'exposition du Canada aux différents chocs du réseau, nous réalisons une décomposition de la variance de l'erreur de prévision (volatilité) du PIB canadien selon l'horizon de prévisions (1 à 4 trimestres). La décomposition présentée à la figure 2 révèle que les États-Unis et le Royaume-Uni se démarquent dès le premier horizon avec un niveau important d'influence sur la volatilité de la production au Canada. L'influence des autres pays sur le Canada reste faible voire négligeable aux différents horizons considérés.

L'économie la plus influente, celle dont les aléas dans l'évolution du PIB affectent la volatilité économique des autres pays est le Royaume-Uni avec un total de 110 % d'impact. Cette place centrale dans le réseau pourrait s'expliquer par l'importance financière de la City londonienne. Les pays les plus affectés par les innovations à la croissance du PIB britannique sont les pays anglo-saxons du réseau (le Canada et les États-Unis). Après le Royaume-Uni, viennent les États-Unis et la France avec respectivement 71.70 % et 71.17 % d'impact. Le Canada a une influence relativement faible, soit 21.57 %. Le Mexique est l'économie la plus affectée par les variations imprévues du PIB canadien. En net, le Canada reçoit plus de risques qu'il ne cause aux autres (-32.28%)

Le niveau global de connectivité dans ce réseau s'élève à 46.16%. En

moyenne, 46.16% de l'incertitude totale dans le réseau est expliquée par les expositions des économies les unes aux autres, tandis que les 55.84% restants sont expliqués par les chocs idiosyncratiques.

FIGURE 2 – Exposition du Canada : Décomposition selon l'horizon de prévision



Note : Ce graphique représente l'évolution selon l'horizon de prévision de la contribution de chaque pays à la variance de l'erreur de prévision du PIB canadien

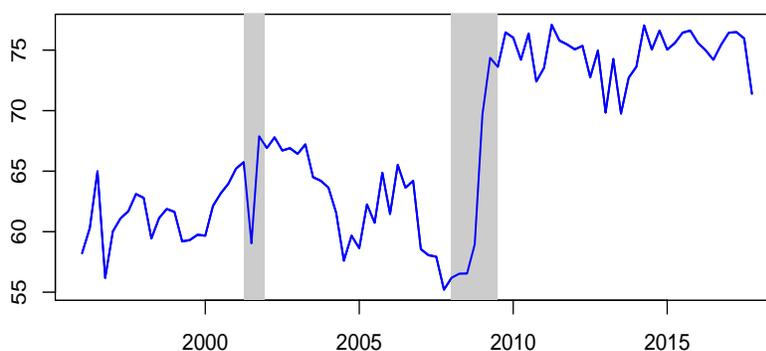
3.1.2 Connectivité dynamique

La figure 3 présente la série de la connectivité globale dynamique estimée récursivement en considérant une fenêtre de 60 trimestres. Les figures 4 et 5 présentent respectivement les mesures dynamiques de l'exposition et de l'influence du Canada obtenues par la même méthode.

On peut voir que la connectivité globale fluctue à travers le temps. Deux phases se distinguent dans la mesure obtenue. La première partant de 1996 à 2008 (avant la crise) puis la deuxième phase allant de 2008 à la fin de la période de travail. Dans la première phase, la connectivité totale dans le réseau est relativement plus faible, mais plus variable; en moyenne 60% à

65% de la volatilité dans le réseau est expliquée par les connexions entre les pays. Quant à la deuxième phase, elle est caractérisée par un niveau de connectivité beaucoup plus élevé, près de 75% de la volatilité du réseau est expliquée par des connexions entre les pays.

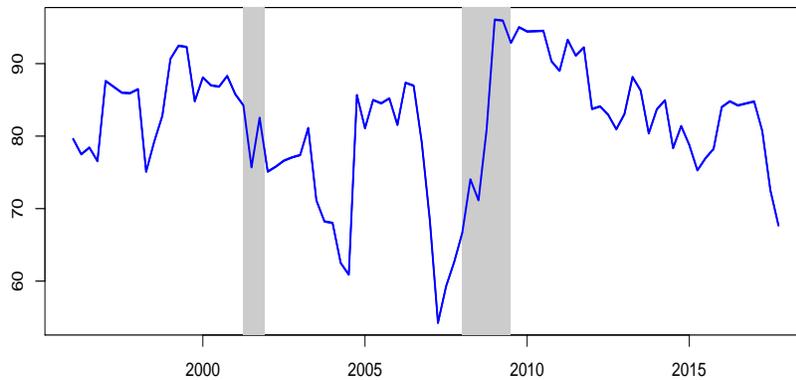
FIGURE 3 – **Connectivité globale dynamique, G7-Mexique-Chine (RW-60Q), 1996 :Q1-2017 :Q4**



Note : Nous utilisons une fenêtre glissante de 60 trimestres (soit 15 ans). Le premier point de ce graphique représente la valeur de l'indice de connectivité totale obtenue entre 1981-Q1 et 1995-Q4. les zones grises représentent les périodes de récessions américaines.

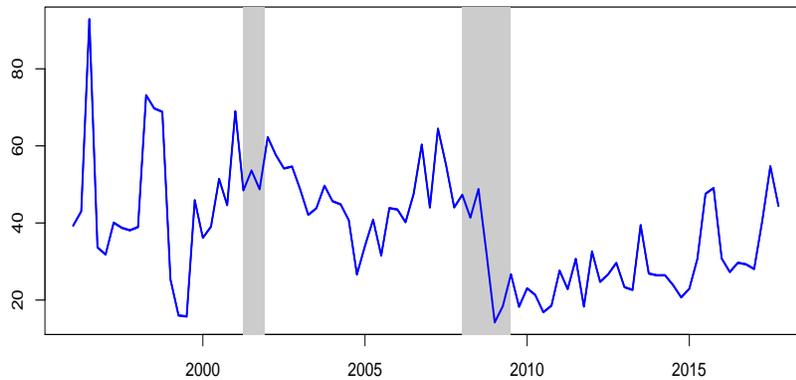
Cependant, la mesure n'affiche pas de tendance de long terme comme on pourrait s'y attendre étant donnée l'évolution de la globalisation dans l'économie mondiale. La mesure de connectivité a plutôt des caractéristiques cycliques. Elle a tendance à augmenter durant les périodes de récessions américaines (2001 et 2007-2009) et à rester élevée dans les années subséquentes, traduisant un phénomène de contagion plus prononcé durant ces périodes.

FIGURE 4 – Exposition du Canada dans le réseau G7-Mexique-Chine



Note : Nous utilisons une fenêtre glissante de 60 trimestres (soit 15 ans). Le premier point de ce graphique représente la valeur de l'indice de connectivité totale obtenue entre 1981-Q1 et 1995-Q4. les zones grises représentent les périodes de récessions américaines.

FIGURE 5 – Influence du Canada dans le réseau G7-Mexique-Chine



Note : Nous utilisons une fenêtre glissante de 60 trimestres (soit 15 ans). Le premier point de ce graphique représente la valeur de l'indice de connectivité totale obtenue entre 1981-Q1 et 1995-Q4. les zones grises représentent les périodes de récessions américaines.

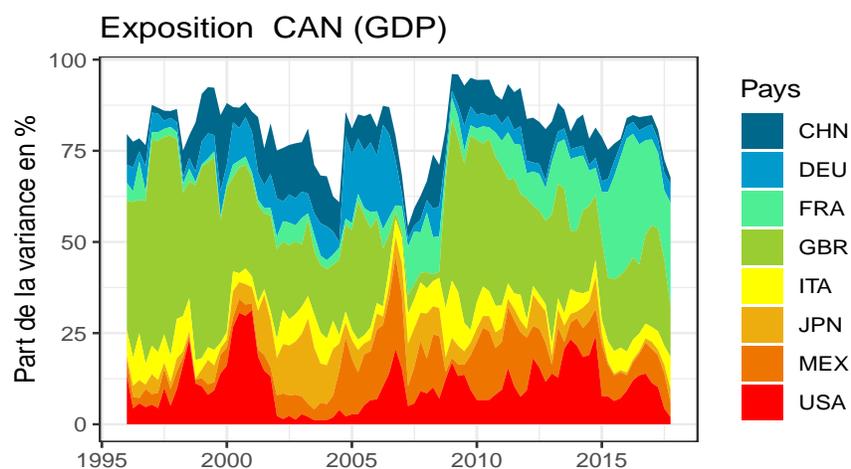
Outre les périodes de récessions américaines marquées sur le graphique, les périodes de récessions des différents pays du réseau résumées dans le tableau A.3 en annexe, confortent l'observation que la connectivité augmente durant les périodes de crise. Ce tableau nous permet d'étudier les fluctuations de la connectivité en considérant les cycles économiques des pays. On peut voir par exemple que la connectivité augmente significativement entre 2000 et 2003. Or, après l'éclatement de la bulle technologique en mars 2000, le tableau A.3 montre que plusieurs pays du réseau tombent successivement en crise : le Mexique (août 2000 à août 2003), le Japon (août 2000 à mars 2003), l'Allemagne (janvier 2001 à août 2003), les États-Unis (mars 2001 à novembre 2003) et la France (août 2002 à mars 2003). De même, après une forte hausse durant la crise financière, la connectivité est restée élevée entre les pays du réseau jusqu'en 2013 bien plus tard que la fin de la récession américaine. Ce prolongement peut être associé à la crise de la dette en Europe qui frappa 4 des 9 économies du réseau. Cependant, cet argument ne saurait expliquer toutes les fluctuations observées, notamment le niveau élevé de connectivité après 2013.

Connectivité dynamique du Canada

La figure 6 montre la décomposition de l'exposition du Canada à travers le temps. Il apparaît que les principaux chocs contribuant aux erreurs de prévision du PIB canadien proviennent des pays de l'ALENA et de la Grande-Bretagne. Les chocs de ces économies contribuent à environ 50% de la volatilité des chocs sur la période d'étude. Les apports des autres pays du réseau changent dans le temps. Par exemple, la France qui avait une faible influence en début de période affiche une influence grandissante depuis la crise de 2008.

L'influence nette du Canada sur le réseau G7-Mexique-Chine est présentée dans la figure 7. L'exposition nette de la croissance économique du Canada

FIGURE 6 – Exposition du Canada : décomposition historique



Note : Ce graphique représente l'évolution à travers le temps de la contribution de chaque économie du réseau G7-Mexique-Chine à la variance de l'erreur de prévision du PIB au Canada

apparaît en moyenne élevée et fortement volatile sur la période étudiée alors que son influence est relativement faible, mis à part avant la crise 2007-2009 et en 1996, où elle est exportatrice nette de chocs. Notons que ces deux périodes correspondent à des séquences durant lesquelles la connectivité globale du réseau est très faible.

3.2 Réseau G6-Mexique-Chine-Provinces

Dans cette section nous présentons les résultats du réseau G6-MEX-CHN-Pr. Nous mettons l'accent sur l'exposition des divisions canadiennes retenues, plus particulièrement sur le Québec.

3.2.1 Connectivité Statique

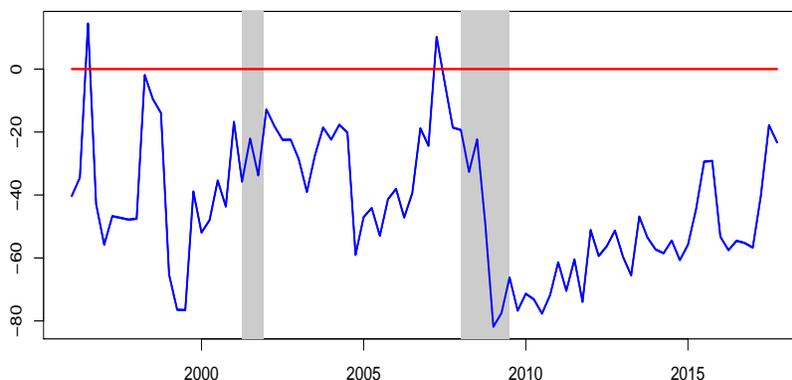
Le tableau 3 présente les résultats de la décomposition généralisée de la variance pour le réseau G6-MEX-CHN-Pr. Ce tableau résume les liens de

TABLE 3 – Connectivité Statique, G6-Mexique-Chine-Provines PIB Trimestrielle, 1981 :T1 - 2017 :Q4

	USA	DEU	JPN	GBR	FRA	ITA	MEX	CHN	Qc	On	RoCA	<i>Exposition</i>
USA	55.33	3.21	1.15	15.56	2.47	2.35	1.71	2.05	3.00	12.82	0.35	44.67
DEU	2.90	33.94	7.07	8.96	25.60	15.08	1.17	0.70	1.48	1.46	1.63	66.06
JPN	9.28	1.85	48.97	10.34	15.56	7.13	3.84	0.78	0.84	1.12	0.29	51.03
GBR	10.81	1.18	2.66	72.88	1.30	2.44	1.67	0.75	0.91	5.29	0.12	27.12
FRA	11.75	2.58	4.24	11.84	46.85	10.14	0.80	1.66	2.42	7.29	0.42	53.15
ITA	14.72	3.63	4.80	8.51	10.34	33.33	8.30	0.60	1.14	10.56	4.08	66.67
MEX	17.97	2.77	1.03	10.39	10.10	1.82	48.57	3.47	0.36	2.13	1.39	51.43
CHN	1.29	1.44	2.55	0.18	1.33	8.06	9.23	68.34	1.02	2.28	4.29	31.66
Qc	10.40	1.53	10.09	9.49	4.09	2.01	2.73	1.39	26.12	30.89	1.27	73.88
On	12.50	0.59	1.01	7.31	3.30	4.90	8.24	2.07	6.62	52.66	0.80	47.34
RoCA	9.31	1.01	1.04	18.69	2.82	0.83	0.85	0.68	7.96	5.97	50.85	49.15
<i>Influence</i>	100.94	19.79	35.64	101.26	76.90	54.76	38.56	14.14	25.74	79.82	14.63	Indice
<i>Net</i>	56.27	-46.28	-15.39	74.14	23.75	-11.92	-28.11	-37.29	-48.14	32.47	-34.53	51.11

Note : Chaque cellule de la matrice 11×11 supérieure gauche donne la contribution relative de chaque pays en colonne à la variance de l'erreur de prévision du pays en ligne. La colonne *Exposition* reporte la part de la variance du pays en ligne attribuable aux autres pays. La ligne *Influence* reporte les contributions totales du pays en colonne à la variance de l'erreur de prévision de tous les autres pays. Chaque cellule de la ligne *Net* reporte pour chaque pays en colonne, la différence entre la valeur correspondant à ce pays dans la colonne *Exposition* et celle correspondant à ce pays dans la ligne *Influence*. L'indice total de connectivité dans la cellule en bas à droite est la moyenne des éléments de la ligne *Influence* (ou de la colonne *Exposition*), multipliée par 100. À titre illustratif, Prenons le Québec. Le niveau d'exposition est 73.88 % son influence s'élève à 25.74 % et l'influence nette de -48.14%. La contribution des États-Unis à la variance d'erreur de prévision du PIB du Québec est de 10.40 % pendant que la contribution du Québec à celle des États-Unis s'élève à 3%.

FIGURE 7 – Influence Nette du Canada dans le réseau G7-Mexique-Chine



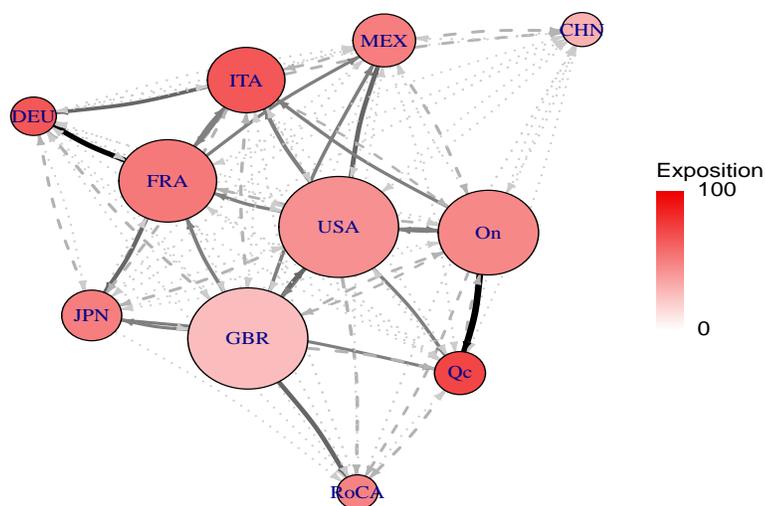
Note : Nous utilisons une fenêtre glissante de 60 trimestres (soit 15 ans). Le premier point de ce graphique représente la valeur de l'indice de connectivité totale obtenue entre 1981-Q1 et 1995-Q4. Les zones grises représentent les périodes de récessions américaines.

connectivité entre les entités du réseau sur la période 1981-T1 à 2017-T4. Nous réalisons la représentation graphique correspondante donnée par la figure 8, en utilisant la même légende et même algorithme que précédemment. Nous nous concentrerons sur les provinces pour le commentaire de ces résultats.

Le graphique affiche des regroupements géographiques et institutionnels. Les provinces canadiennes, comme le Canada pour le réseau précédent, peuvent être inscrites dans les groupes des pays de "l'Ouest", de l'ALENA et des territoires anglo-saxons.

L'économie la plus exposée parmi les provinces canadiennes est le Québec dont les erreurs de prévisions du PIB sont expliquées à 73.88 % par des chocs extérieurs. C'est aussi l'économie la plus exposée de tout le réseau. L'Ontario et le reste du Canada viennent en 7ème et 8ème positions avec un niveau d'exposition presque similaire, soient 47.34 % et 49.15 % respectivement.

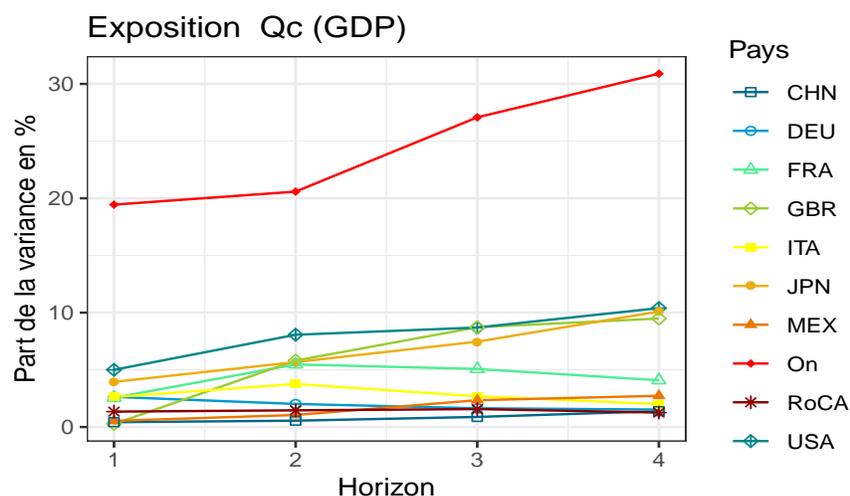
FIGURE 8 – Représentation graphique du réseau G6-Mexique-Chine-Provinces



Note : Ce graphique est réalisé à partir des informations contenues dans le tableau 3. Chaque entité du réseau est représentée par un cercle, dont la taille est proportionnelle à son influence totale dans le réseau. La couleur du cercle représente son degré d'exposition. La connectivité directionnelle entre deux entités est représentée par les flèches qui relient les cercles qui leurs sont associés. L'intensité de cette connectivité est renseignée par le type, la couleur et l'épaisseur des traits : Les pointillés correspondent à une connectivité comprise entre 1 et 4.5; les tirets entre 4.5 et 9.5; les traits continus gris lorsque la connectivité est supérieure à 9.5 à 20 et les traits continus noirs pour une connectivité supérieure à 20. Les liens inférieurs à 1% ne sont pas représentés.

La majeure partie de l'exposition du Québec provient de l'Ontario (30.89 %). Le reste est également réparti entre le Japon, la Grande-Bretagne et les États-Unis. La décomposition de l'exposition du Québec selon l'horizon de prévision (figure 9) montre que les innovations en Ontario ont très tôt un effet considérable, qui gagne en importance avec l'horizon de prévision. En revanche, l'influence du Québec sur les autres provinces est relativement stable et moins élevée (voir les figures 10 et 11).

FIGURE 9 – Exposition du Québec : Décomposition selon l'horizon de prévision



Note : Ce graphique représente l'évolution selon l'horizon de prévision de la contribution de chaque pays à la variance de l'erreur de prévision du PIB québécois

Les chocs qui engendrent le plus de volatilité dans l'évolution du PIB des autres territoires canadiens proviennent essentiellement des pays anglo-saxons du réseau (les États-Unis et la Grande-Bretagne), bien que l'Ontario affiche une sensibilité significative à l'évolution du PIB du Mexique.

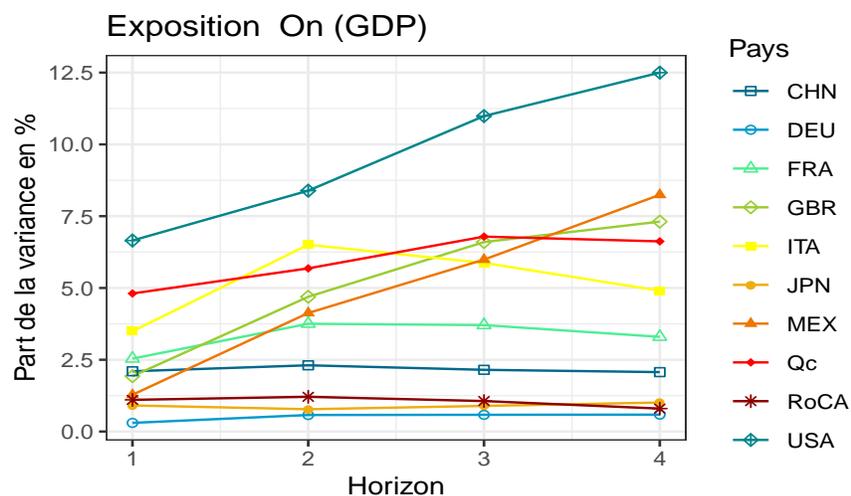
L'Ontario est la province la plus influente des provinces canadiennes, avec un niveau d'impact de 79.82 %. Une part importante de cette influence est exercée sur le Québec (30.89%). Cette influence va au-delà des provinces

canadiennes. L'Ontario est le seul parmi ces territoires à avoir un effet de plus de 10% sur d'autres pays.

Ensuite vient le Québec avec une influence de 25.74%. Cet effet est principalement exercé sur les autres territoires canadiens (6.62% sur l'Ontario et 7.96% sur le Reste du Canada). Quant au reste du Canada, il a peu d'influence sur les autres provinces canadiennes du réseau. Ses impacts les plus importants sont de 4.29 % et 4.08% respectivement sur la Chine et l'Italie.

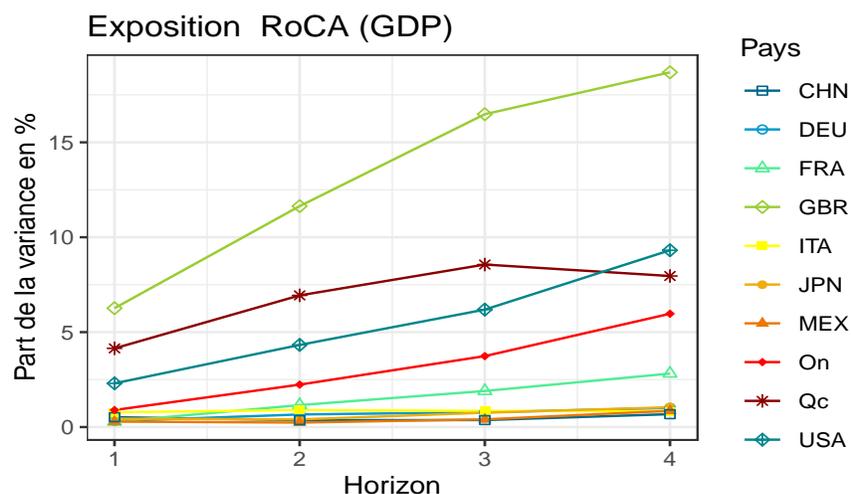
En net, le Québec et le Reste du Canada reçoivent plus de risque qu'ils n'en engendrent dans les autres économies (respectivement -48.14% et -34.53%), tandis que l'économie ontarienne cause plus de risques qu'elle ne reçoit des autres (32.47 %).

FIGURE 10 – Exposition de l'Ontario : Décomposition selon l'horizon de prévision



Note : Ce graphique représente l'évolution selon l'horizon de prévision de la contribution de chaque pays à la variance de l'erreur de prévision du PIB ontarien

FIGURE 11 – Exposition du Reste du Canada : Décomposition selon l’horizon de prévision



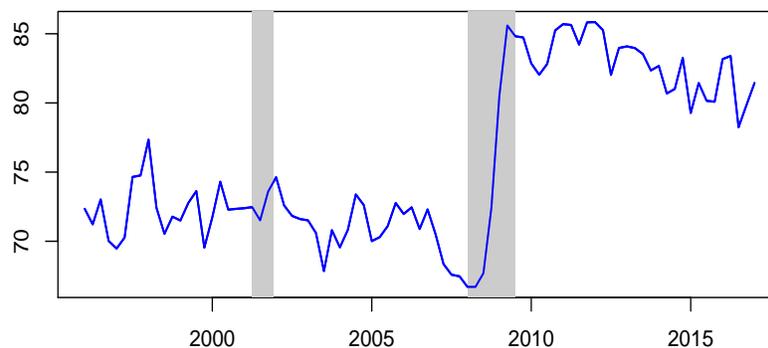
Note : Ce graphique représente l’évolution selon l’horizon de prévision de la contribution de chaque pays à la variance de l’erreur de prévision du PIB du Reste du Canada

3.2.2 Connectivité dynamique

La figure 12 présente la série temporelle de connectivité globale, réalisée en utilisant une fenêtre glissante de 60 trimestres. De façon qualitative la connectivité globale du réseau G6-MEX-CHN-Pr reflète la même réalité que celle du réseau G7-MEX-CHN. Dans un premier temps, elle n’affiche pas de tendance à long terme. Ensuite, on retrouve une période de connectivité plus faible avant la crise financière qu’après. Enfin, elle semble traduire les conjonctures économiques de la plupart des territoires concernés.

Quantitativement, la connectivité dans ce réseau est en moyenne plus élevée et plus stable que le réseau G7-Mexique-Chine. La moyenne est de 74.64 avec un écart type de 4.31 contre 67 et 7 respectivement pour le réseau étudié précédemment. Ce niveau plus élevé de connectivité peut s’expliquer par l’ajout de trois territoires géographiquement et institutionnellement plus connectés.

FIGURE 12 – Connectivité globale dynamique, G6-Mexique-Chine-Provinces (RW-60Q), 1996 :Q1-2017 :Q1



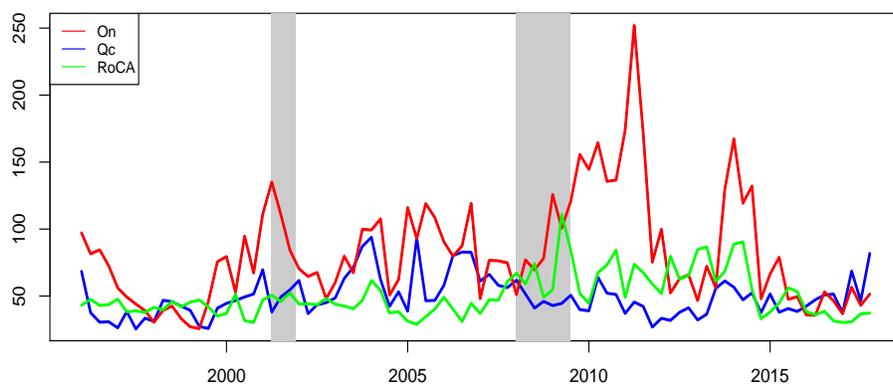
Note : Nous utilisons une fenêtre glissante de 60 trimestres (soit 15 ans). Le premier point de ce graphique représente la valeur de l'indice de connectivité totale obtenue entre 1981-Q1 et 1995-Q4. Les zones grises représentent les périodes de récessions américaines.

Les figures 13 et 14 présentent respectivement l'évolution de l'influence et de l'exposition des provinces canadiennes à travers le temps. Sur presque toute la période, l'Ontario est la province la plus influente. Le Québec et le reste du Canada s'échangent les 2^{ème} et 3^{ème} places selon les périodes.

La hiérarchie du niveau d'exposition n'est pas stable à travers le temps. Avant 2005, le reste du Canada est la division canadienne la plus exposée, après vient le Québec puis l'Ontario. Entre 2005 et la crise, l'exposition des deux derniers augmente alors que celle du reste du Canada diminue. L'exposition des trois provinces reste relativement élevée pendant la période subséquente, tout comme le niveau global de connectivité.

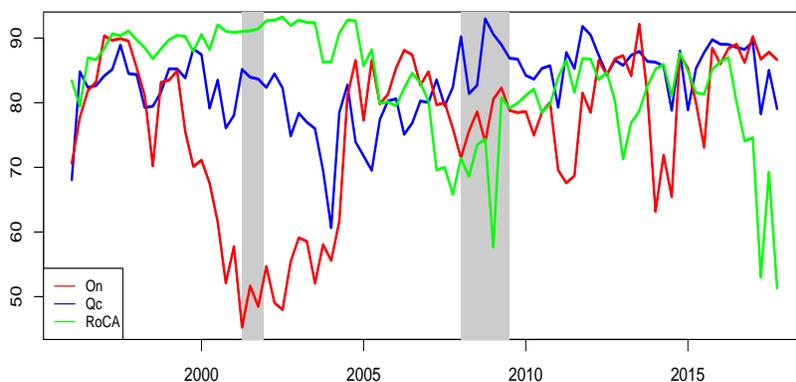
Les figures 15 , 16 et 17 présentent respectivement la contribution de chaque entité du réseau à la volatilité du PIB au Québec, en Ontario et

FIGURE 13 – Influence des provinces



Note : Nous utilisons une fenêtre glissante de 60 trimestres (soit 15 ans). Le premier point de ce graphique représente la valeur de l'indice de connectivité totale obtenue entre 1981-Q1 et 1995-Q4. Les zones grises représentent les périodes de récession américaine.

FIGURE 14 – Exposition des provinces

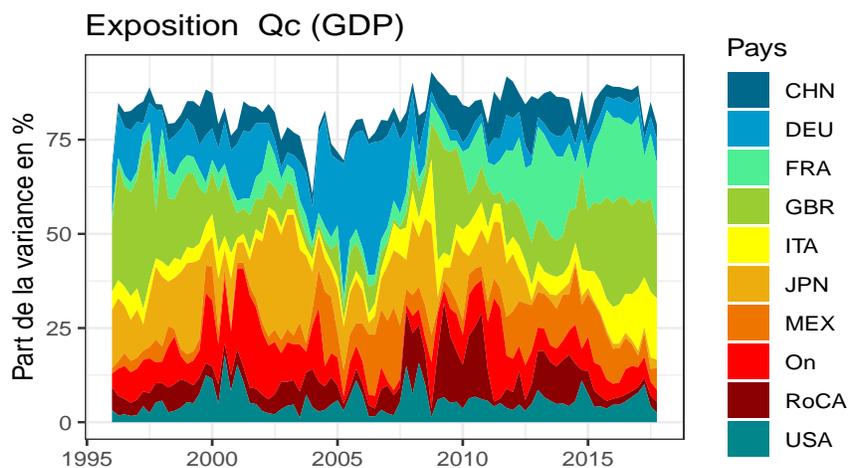


Note : Nous utilisons une fenêtre glissante de 60 trimestres (soit 15 ans). Le premier point de ce graphique représente la valeur de l'indice de connectivité totale obtenue entre 1981-Q1 et 1995-Q4. Les zones grises représentent les périodes de récession américaine.

pour le reste du Canada. Ces trois graphiques suggèrent que la répartition de l'exposition des différentes provinces canadiennes a changé à travers le temps. L'importance de la Grande-Bretagne dans l'exposition des provinces était plus marquée avant 2005, l'Allemagne a eu une influence plus forte entre 2005 et le début crise, après 2009 on observe une montée en influence de la France sur le reste de la période.

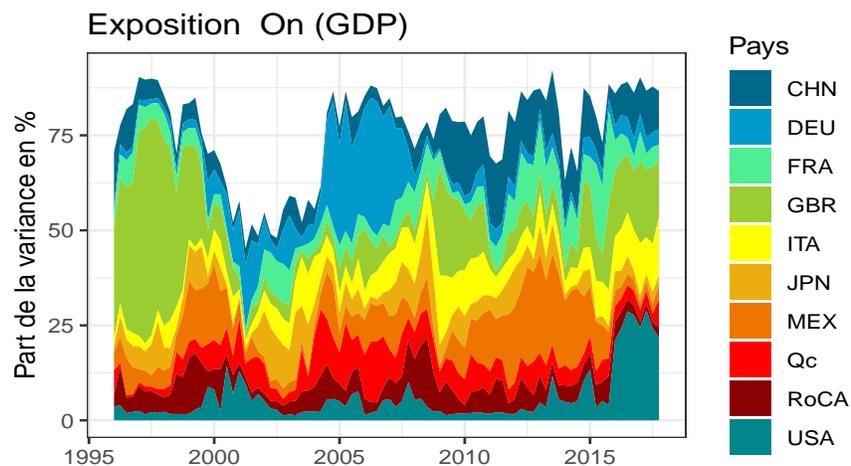
Les différences à travers ces graphiques sont multiples. On peut souligner par exemple l'influence de la Chine relativement importante pour le reste du Canada et pour l'Ontario (après la crise financière) par rapport au Québec. La contribution des autres provinces est plus importante dans l'exposition du Québec et du reste du Canada par rapport à l'Ontario.

FIGURE 15 – Exposition du Québec : décomposition historique



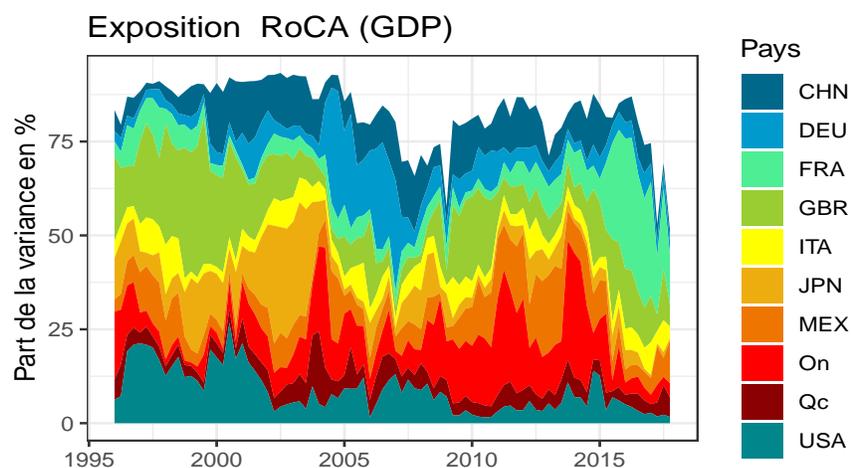
Note : Ce graphique représente l'évolution à travers le temps de la contribution de chaque économie du réseau G6-Mexique-Chine-Provinces à la variance de l'erreur de prévision du PIB au Québec

FIGURE 16 – Exposition de l’Ontario : décomposition historique



Note : Ce graphique représente l'évolution à travers le temps de la contribution de chaque économie du réseau G6-Mexique-Chine-Provinces à la variance de l'erreur de prévision du PIB au Québec.

FIGURE 17 – Exposition du Reste du Canada : décomposition historique



Note : Ce graphique représente l'évolution à travers le temps de la contribution de chaque économie du réseau G6-Mexique-Chine-Provinces à la variance de l'erreur de prévision du PIB au Québec.

En ce qui concerne le Québec, cette part de l'exposition due aux provinces est plus importante autour des crises économiques (2001 et 2007-2009). Ceci peut signifier une transmission interprovinciale des chocs initiés à l'étranger.

3.3 Déterminants de la connectivité

Nous analysons maintenant les déterminants de la connectivité. L'analyse repose sur les mesures de connectivité estimées pour le réseau G7-Mexique-Chine.³

La figure 18 présente trois graphiques permettant d'appréhender les déterminants possibles de l'exposition internationale d'un pays. L'exposition internationale est ici mesurée comme la somme des connectivités d'un pays avec ses partenaires. Il s'agit donc de la part des chocs qui viennent de l'étranger. Le premier graphique (a) indique que la richesse par habitant d'un pays n'est pas corrélée avec son exposition aux chocs internationaux (la corrélation n'est pas significative et elle est entièrement tirée par la Chine). Les graphiques (b) et (c) indiquent quant à eux que les grands pays sont moins exposés aux chocs internationaux que les plus petits. Ce résultat est fragile si la taille du pays est mesurée par son PIB (le coefficient n'est pas significatif à 10%). La corrélation est plus marquée lorsque la taille est mesurée par la population (coefficient négatif et significatif à 5%). Le pays le plus exposé de notre échantillon étant le Canada, et le moins exposé est la Chine. Le Royaume-Uni se démarque dans notre échantillon car il a une faible exposition à l'international pour sa taille.

Nous présentons dans le tableau 4 les résultats de différentes spécifications dans lesquelles la connectivité bilatérale des pays est expliquée par différentes variables. Dans la première colonne, nous introduisons la distance. La corrélation entre distance et connectivité est négative, ce qui confirme que la transmission des chocs est plus prégnante entre pays géographique-

3. L'analyse n'est pas faite au niveau des provinces car il manque des données de commerce et d'IDE entre les provinces canadiennes et le reste du monde.

ment proches. Dans les colonnes (2) à (5), nous étudions plus précisément les canaux qui influencent la connectivité des pays. L'estimation présentée dans la colonne (2) montre qu'un pays est plus connecté à un autre si la part du commerce total (somme des exportations et des importations) dans le PIB de ce pays est grande. Ce résultat est cohérent avec la littérature en économie internationale qui souligne l'importance du commerce extérieur comme mécanisme de propagation des chocs. La colonne (3) présente un exercice similaire dans lequel le commerce est remplacé par les investissements directs à l'étranger. L'estimation suggère que les pays liés en termes d'investissements directs sont également plus connectés selon notre mesure. Enfin, la colonne (5) présente les résultats d'une spécification dans laquelle toutes les variables sont introduites. Seule la variable mesurant l'importance des IDEs est significative, soulignant l'importance des investissements directs pour la propagation internationale des chocs (cf. Kleinert et al., 2015). Il faut cependant noter que les variables introduites ici sont très corrélées. Il convient donc de ne pas sur-interpréter l'absence de significativité des coefficients sur la distance et sur le commerce.

Notons enfin que nous avons essayé d'introduire comme variable additionnelle les flux financiers entre les pays. L'analyse s'est révélée peu concluante pour deux raisons. D'une part, les bases de données reportant les flux financiers bilatéraux ne couvrent qu'une partie limitée de notre échantillon (peu de données sur la Chine et dans les années 1990). Par ailleurs, la variable de flux financiers est très corrélée avec notre mesure d'IDE (corrélation supérieure à .8).

4 Conclusion

Après avoir présenté la méthode de Diebold and Yilmaz (2014) pour mesurer la connectivité, nous avons développé les programmes pour appliquer cette méthode à des séries économiques dans des réseaux auxquels appartiennent le Québec et le Canada.

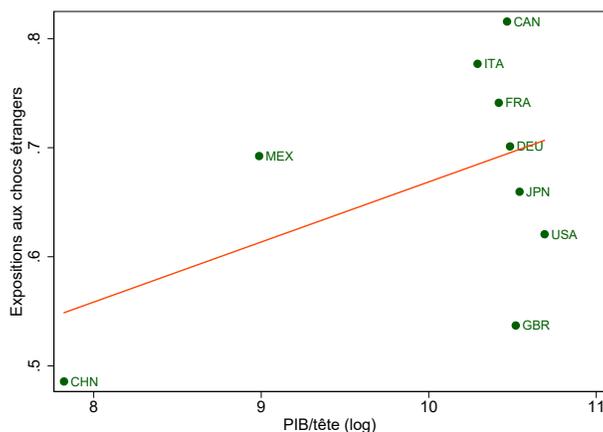
TABLE 4 – Déterminants des sources de connectivité

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Dep. var. Bilateral connectivity from o to d				
$Dist_{od}$ (log)	-0.090*** (0.025)				-0.019 (0.053)
$Commerce_{od}/PIB_d$ (log)		0.100*** (0.025)		0.028 (0.039)	0.010 (0.064)
IDE_{od}/PIB_d (log)			0.112*** (0.026)	0.090** (0.041)	0.090** (0.041)
Observations	1,224	1,224	1,188	1,188	1,188
R-squared	0.426	0.427	0.452	0.452	0.452
FE Origine X Temps	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
FE Destination X Temps	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

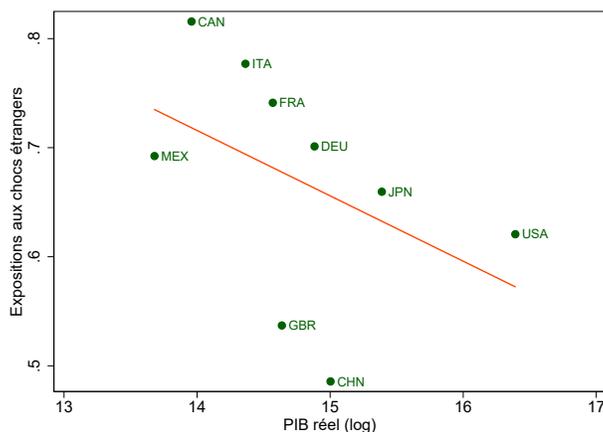
Note : La variable expliquée est le logarithme de la connectivité entre les pays o et d (la part des chocs en d originaires de o). $Commerce_{od}$ est la somme des exportations et des importations entre les pays o et d . IDE_{od} est la somme des stocks d'investissements directs à l'étranger détenus par o dans le pays d , et détenu par d dans le pays o . $Dist$ est la distance entre les deux pays. Les estimations marquées de * sont significativement différentes de 0 à 10%, ** à 5% et *** à 1%. .

FIGURE 18 – Déterminants de l'exposition internationale d'un pays

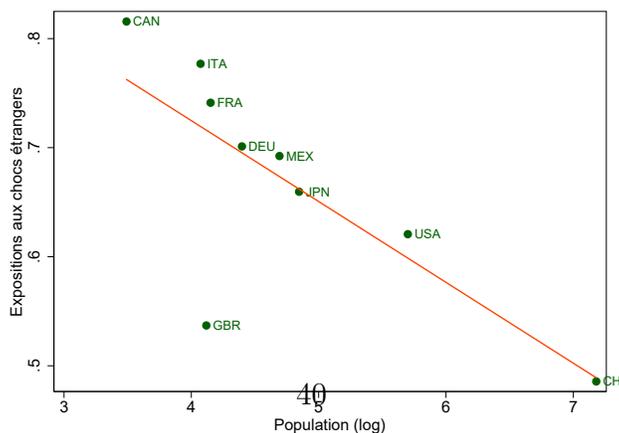
(a) Exposition et PIB par tête (coef :.06 , se :.04 , R^2 :.24)



(b) Exposition et PIB (coef :-.06 , se :.05 , R^2 :.23)



(c) Exposition et population (coef :-.07 , se :.02 , R^2 :.57)



Note : L'exposition internationale est l'exposition aux différentes entités du réseau, en moyenne sur la période 1996-2017. Le PIB par tête, le PIB et la population sont les moyennes sur 1996-2016 (exprimées en log). Source : calcul des auteurs pour l'exposition internationale, et OCDE pour les données de taille et de richesse des pays.

Nous montrons que les États-Unis et le Royaume-Uni sont deux sources importantes de volatilité pour le Canada en général et le Québec en particulier. Qui plus est, les chocs en Ontario expliquent 20% à 30% des chocs sur le PIB du Québec.

Nous montrons ensuite que l'exposition aux chocs étrangers est inversement proportionnelle à la taille d'un pays. Ceci explique la forte exposition du Canada dans le réseau. Enfin, notre analyse suggère que l'influence des chocs étrangers sur une économie transite par le commerce international et les IDEs.

L'analyse dans ce rapport porte sur la connectivité du Canada et du Québec mesurée dans un réseau de 9 pays à partir du PIB trimestriel de ces pays. Dans le futur, il pourrait être intéressant d'appliquer cette méthode à d'autres variables que le PIB, telles que l'inflation ou l'incertitude économique. L'utilisation de données à des fréquences plus élevées (par exemple les recherches hebdomadaires du terme chômage sur Google) permettrait également d'appréhender plus finement les changements de connectivité des pays. Enfin, l'utilisation de données plus fines spatialement (comme les prix de l'immobilier par quartier ou par ville), permettrait de mieux appréhender la connectivité de territoires au sein du Québec ou du Canada.

A Annexe

FIGURE A1 – PIB des territoires retenues (en log)

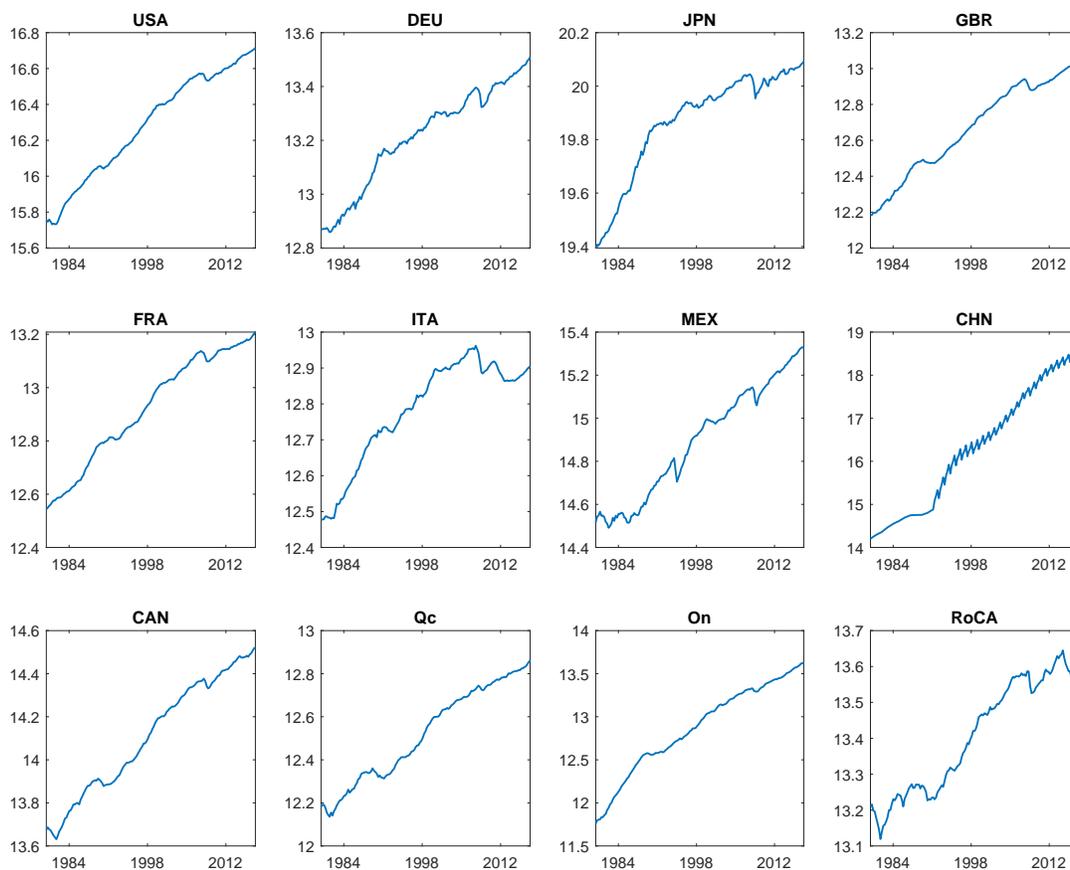


TABLE A.1 – Test de co-intégration pour le réseau G7-Mexique-Chine

Rang de Coint.	Stat. du test	Valeur critique		
		10%	5%	1%
$R \leq 8$	8.02	10.49	12.25	16.26
$R \leq 7$	23.48	22.76	25.32	30.45
$R \leq 6$	43.81	39.06	42.44	48.45
$R \leq 5$	65.33	59.14	62.99	70.05
$R \leq 4$	91.97	83.20	87.31	96.58
$R \leq 3$	126.75	110.42	114.90	124.75
$R \leq 2$	170.26	141.01	146.76	158.49
$R \leq 1$	239.21	176.67	182.82	196.08
$R = 0$	312.64	215.17	222.21	234.41

TABLE A.2 – Test de co-intégration pour le réseau G6-Mexique-Chine-Provinces

Rang de Coint.	Stat. du test	Valeur critique		
		10%	5%	1%
$R \leq 10$	5.81	10.49	12.25	16.26
$R \leq 9$	13.64	22.76	25.32	30.45
$R \leq 8$	28.62	39.06	42.44	48.45
$R \leq 7$	46.21	59.14	62.99	70.05
$R \leq 6$	70.69	83.20	87.31	96.58
$R \leq 5$	97.27	110.42	114.90	124.75
$R \leq 4$	132.71	141.01	146.76	158.49
$R \leq 3$	180.41	176.67	182.82	196.08
$R \leq 2$	231.90	215.17	222.21	234.41
$R \leq 1$	310.76	256.72	263.42	279.07
$R = 0$	398.79	303.13	310.81	327.45

TABLE A.3 – Pics (P) et creux (T) des Cycles économiques des Pays du G7-Mex, 1984-2016

Périodes	P ou T	US	CA	MEX	DEU	FRA	UK	ITA	JPN
1984-1986	P			10 85					
	T			11 86		12 84			
1987-1988	P								
	T								
1989-1991	P	7 90	3 90		1 91		5 90		
	T	3 91							
1992-1994	P			10 92		2 92		2 92	4 92
	T		3 92	10 93	4 94	8 93	3 92	10 93	2 94
1994-1996	P			11 94					
	T			7 95					
1997-1999	P								3 97
	T								7 99
2000-2001	P	3 01		8 00	1 01				8 00
	T	11 01							
2002-2003	P					8 02			
	T			8 03	8 03	5 03			4 03
2004-2010	P	12 07	1 08	4 08	8 08	2 08	5 08	8 07	2 08
	T	6 09	7 09	5 09	1 09	2 09	1 10	3 09	3 09
2010-2011	P					4 11		4 11	8 10
	T								4 11
2012-2013	P								1 12
	T					11 12			1 13
2014-2016	P								3 14
	T							10 14	8 14

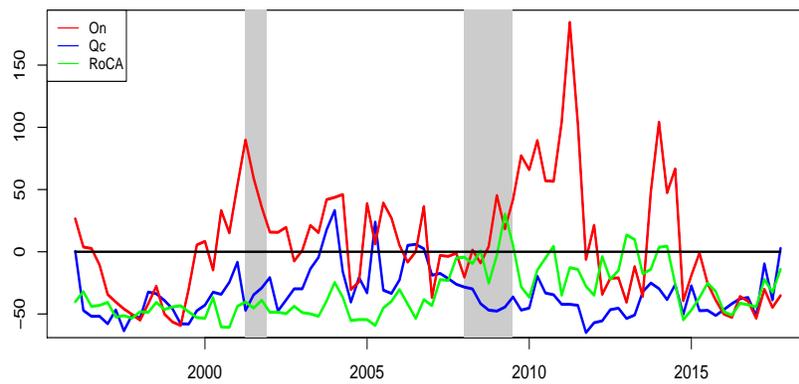


FIGURE A2 – Influence nette des Provinces

Note : Nous utilisons une fenêtre glissante de 60 trimestres (soit 15 ans). Le premier point de ce graphique représente la valeur de l'indice de connectivité totale obtenue entre 1981-Q1 et 1995-Q4. les zones grises représentent les périodes de récessions américaines.

Références

- Acharya, V., Engle, R., and Richardson, M. (2012). Capital Shortfall : A New Approach to Ranking and Regulating Systemic Risks. *American Economic Review*, 102(3) :58–64.
- Acharya, V. V., Pedersen, L. H., Philippon, T., and Richardson, M. (2017). Measuring systemic risk. *Review of Financial Studies*, 30(1) :2–47.
- Acharya, V. V., Pedersen, L. H., and Richardson, M. (2016). Measuring Systemic Risk. *Review of Financial Studies*, (212).
- Adrian, T. and Brunnermeier, M. K. (2016). Tobias Adrian and Markus K. Brunnermeier. *American Economic Review*, 106(7) :1705–1741.
- Ahelegbey, D. F. (2015). The Econometrics of Networks : A Review. *SSRN Electronic Journal*, (March).
- Backus, D. K., Kehoe, P. J., and Kydland, F. E. (1992). International Real Business Cycles. *Journal of Political Economy*, 100(4) :745–775.
- Baker, S. R., Bloom, N., and Davis, S. J. (2016). Measuring Economic Policy Uncertainty*. *The Quarterly Journal of Economics*, 131(4) :1593–1636.
- Barigozzi, M. and Brownlees, C. (2019). NETS : Network estimation for time series. *Journal of Applied Econometrics*, 34(3) :347–364.
- Barigozzi, M. and Hallin, M. (2017). A network analysis of the volatility of high dimensional financial series. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C : Applied Statistics*, 66(3) :581–605.
- Barigozzi, M., Hallin, M., and Soccorsi, S. (2019). Time-Varying General Dynamic Factor Models and the Measurement of Financial Connectedness. *SSRN Electronic Journal*, (February) :1–48.
- Billio, M., Getmansky, M., Lo, A. W., and Pelizzon, L. (2012). Econometric measures of connectedness and systemic risk in the finance and insurance sectors. *Journal of Financial Economics*, 104(3) :535–559.

- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., and Hwang, D. U. (2006). Complex networks : Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4-5) :175–308.
- Boehm, C., Flaaen, A., and Pandalai-Nayar, N. (2019). Input Linkages and the Transmission of Shocks : Firm-Level Evidence from the 2011 Tohoku Earthquake. *Review of Economic and Statistics*, 101(1) :60–75.
- Cipollini, A., Lo Cascio, I., and Muzzioli, S. (2018). Risk aversion connectedness in five European countries. *Economic Modelling*, 71(December 2017) :68–79.
- di Giovanni, J., Levchenko, A. A., and Mejean, I. (2016). The Micro Origins of International Business Cycle Comovement.
- Diebold, F. X. and Kamil, Y. (2009). Measuring Financial Asset Return and Volatility Spillovers, with Application to Global Equity Markets. *Economic Journal*, 119(08) :158–171.
- Diebold, F. X., Liu, L., and Yilmaz, K. (2018). Commodity Connectedness. In Mendoza, E. G., Pastén, E., and Saravia, D., editors, *Monetary Policy and Global Spillovers : Mechanisms, Effects and Policy Measures*, volume 25 of *Central Banking, Analysis, and Economic Policies Book Series*, chapter 4, pages 097–136. Central Bank of Chile.
- Diebold, F. X. and Yilmaz, K. (2013). Measuring the Dynamics of Global Business Cycle Connectedness. PIER Working Paper Archive 13-070, Penn Institute for Economic Research, Department of Economics, University of Pennsylvania.
- Diebold, F. X. and Yilmaz, K. (2014). On the network topology of variance decompositions : Measuring the connectedness of financial firms. *Journal of Econometrics*, 182(1) :119–134.
- Diebold, F. X. and Yilmaz, K. (2015). Trans-Atlantic equity volatility connectedness : U.S. and European financial institutions, 2004-2014. *Journal of Financial Econometrics*, 14(1) :81–127.

- Ductor, L. and Leiva-Leon, D. (2016). Dynamics of global business cycle interdependence. *Journal of International Economics*, 102 :110–127.
- Eichler, M. (2007). Granger causality and path diagrams for multivariate time series. *Journal of Econometrics*, 137(2) :334–353.
- Frankel, J. A. and Rose, A. K. (1998). The Endogeneity of the Optimum Currency Area Criteria. *Economic Journal*, 108(449) :1009–1025.
- Fruchterman, T. M. and Reingold, E. M. (1991). Graph drawing by force-directed placement. *Software : Practice and experience*, 21(11) :1129–1164.
- Gao, W., Cui, W., and Ye, W. (2017). Directed information graphs for the Granger causality of multivariate time series. *Physica A : Statistical Mechanics and its Applications*, 486 :701–710.
- Greenwood-Nimmo, M., Nguyen, V. H., and Shin, Y. (2015). Measuring the Connectedness of the Global Economy. *Ssrn*, (July 2014) :1–36.
- Kang, S. H. and Yoon, S. M. (2019). Dynamic connectedness network in economic policy uncertainties. *Applied Economics Letters*, 26(1) :74–78.
- Kleinert, J., Martin, J., and Toubal, F. (2015). The Few Leading the Many : Foreign Affiliates and Business Cycle Comovement. *American Economic Journal : Macroeconomics*, 7(4) :134–159.
- Koop, G., Pesaran, H., and Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of Econometrics*, 74(1) :119–147.
- Korobilis, D. and Yilmaz, K. (2018). Measuring Dynamic Connectedness with Large Bayesian VAR Models. *Ssrn*.
- Park, H. and Shin, Y. (2018). The Effects of Oil Price on the Korean Economy : A Global VAR Approach. *Emerging Markets Finance and Trade*, 54(5) :981–991.
- Pesaran, H. and Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, 58(1) :17–29.

Smith, D. A. and White, D. R. (1992). Structure and Dynamics of the Global Economy : Network Analysis of International Trade. *Social Forces*, 70(4) :857–893.