

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

MODÉLISATION SVAR DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
SUR L'ENDETTEMENT PROVINCIAL CANADIEN

MÉMOIRE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
MAÎTRISE EN ÉCONOMIQUE

PAR
SOPHIE MALBOEUF-HURTUBISE

MARS 2025

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.12-2023). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mes directeurs de thèse Charles Séguin et Philippe Goulet Coulombe pour leur précieuse aide dans la rédaction et modélisation de ce projet. Évidemment, tout cela n'aurait pas été possible sans l'Université du Québec à Montréal. Ce projet de recherche est aussi issu d'une réflexion que j'ai eue dans le cadre de mon environnement de travail, ainsi j'aimerais remercier mon employeur, Casgrain et Compagnie Limité, de m'avoir permis d'approfondir ce sujet de maîtrise. Finalement, je veux souligner le soutien constant de mon conjoint, ma famille et mes amies à travers la rédaction de ce mémoire. Je suis choyée d'être entourée de personnes aussi inspirantes et stimulantes.

Table des matières

RÉSUMÉ	vii
INTRODUCTION	1
REVUE DE LA LITTÉRATURE	3
CADRE EXPÉRIMENTAL	7
RÉSULTATS	20
CONCLUSION	38
ANNEXE A: Courbes des données des provinces	40
ANNEXE B: Matrices de Corrélacion des provinces	50
ANNEXE C: Résultats des test ACF des provinces	58
ANNEXE D: Graphiques de fonction de réponse des données des provinces en fonction d'un choc de l'IPEN	63
ANNEXE E: Résultats de la modélisation SVAR des données en Panel	71
BIBLIOGRAPHIE	81

Table des figures

1	Courbe des données de la Colombie-Britannique	10
2	Matrice de corrélation entre les données de la Colombie-Britannique .	12
3	Résultats test ACF pour la Colombie-Britannique	13
4	Graphiques de fonction de réponse de la Colombie-Britannique à un choc sur l'IPEN	21
5	Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN pour la Colombie-Britannique	22
6	Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN pour l'Ontario	23
7	Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN pour l'Ontario	24
8	Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN pour le Québec	25
9	Graphiques de fonction de réponse du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB à un choc de l'IPEN	29
10	Graphiques de fonction de réponse du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB à un choc de l'IPEN en valeur absolue	31
11	Graphiques de fonction de réponse à un choc sur l'IPEN avec données en panel	34
12	Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN en valeur absolue pour l'Alberta	36
13	Courbe des données de la Colombie-Britannique	40
14	Courbe des données de l'Alberta	41
15	Courbe des données de Manitoba	42
16	Courbe des données de la Saskatchewan	43
17	Courbe des données de l'Ontario	44
18	Courbe des données du Québec	45
19	Courbe des données du Nouveau Brunswick	46
20	Courbe des données de la Nouvelle-Écosse	47

21	Courbe des données de Terre-Neuve	48
22	Courbe des données de l'Île-du-Prince-Édouard	49
23	Matrice de corrélation entre les données de la Colombie-Britannique .	50
24	Matrice de corrélation entre les données de l'Alberta	51
25	Matrice de corrélation entre les données de Manitoba	52
26	Matrice de corrélation entre les données de la Saskatchewan	53
27	Matrice de corrélation entre les données de l'Ontario	54
28	Matrice de corrélation entre les données du Québec	55
29	Matrice de corrélation entre les données du Nouveau Brunswick . . .	56
30	Matrice de corrélation entre les données de Terre-Neuve	57
31	Résultats test ACF pour la Colombie-Britannique	58
32	Résultats test ACF pour l'Alberta	59
33	Résultats test ACF pour Manitoba	59
34	Résultats test ACF pour la Saskatchewan	60
35	Résultats test ACF pour l'Ontario	60
36	Résultats test ACF pour le Québec	61
37	Résultats test ACF pour le Nouveau Brunswick	61
38	Résultats test ACF pour Terre-Neuve	62
39	Graphiques de fonction de réponse Colombie-Britannique en fonction d'un choc de l'IPEN	63
40	Graphiques de fonction de réponse de l'Alberta en fonction d'un choc de l'IPEN	64
41	Graphiques de fonction de réponse du Manitoba en fonction d'un choc de l'IPEN	65
42	Graphiques de fonction de réponse de la Saskatchewan en fonction d'un choc de l'IPEN	66
43	Graphiques de fonction de réponse de l'Ontario en fonction d'un choc de l'IPEN	67
44	Graphiques de fonction de réponse du Québec en fonction d'un choc de l'IPEN	68

45	Graphiques de fonction de réponse du Nouveau Brunswick en fonction d'un choc de l'IPEN	69
46	Graphiques de fonction de réponse de Terre-Neuve en fonction d'un choc de l'IPEN	70
47	Graphiques de fonction de réponse IPEN, données en panel	71
48	Graphiques de fonction de réponse taux d'intérêt 10 ans, données en panel	72
49	Graphiques de fonction de réponse inflation, données en panel	73
50	Graphiques de fonction de réponse du chômage, données en panel	74
51	Graphiques de fonction de réponse dette en circulation, données en panel	75
52	Graphiques de fonction de réponse Colombie-Britannique en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue	76
53	Graphiques de fonction de réponse de l'Alberta en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue	77
54	Graphiques de fonction de réponse du Manitoba en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue	77
55	Graphiques de fonction de réponse de la Saskatchewan en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue	78
56	Graphiques de fonction de réponse de l'Ontario en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue	78
57	Graphiques de fonction de réponse du Québec en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue	79
58	Graphiques de fonction de réponse du Nouveau Brunswick en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue	79
59	Graphiques de fonction de réponse de Terre-Neuve en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue	80

Liste des tableaux

1	Classification IPEN	7
2	Résultats Test ADF	11
3	Nombre de données de l'IPEN par catégorie par province	26
4	Évènements climatiques notables au Canada (1961-1999)	27

RÉSUMÉ

Le présent mémoire cherche à évaluer s'il y a un lien de corrélation entre les changements climatiques et le ratio de l'endettement sur le produit intérieur brut (PIB) des provinces canadiennes par l'entremise d'un modèle « Structural Vector Autoregression » (SVAR) pour chaque province et en panel. Pour ce faire, nous utilisons l'indice de précipitations et d'évapotranspiration normalisé (IPEN) comme représentation des changements climatiques. Cet indice est une mesure relative de l'excédent ou du déficit pour les eaux de surface par rapport aux conditions hydroclimatiques de la période de référence (1950-2005).

Pour représenter l'endettement, nous utilisons le ratio de la dette en circulation telle que retrouvée sur le terminal Bloomberg divisée par la mesure du PIB, le tout sur une base mensuelle. De plus, la modélisation inclut des variables de contrôle macroéconomiques. Les résultats obtenus démontrent qu'il n'y a pas de lien significatif entre notre ratio de la dette et l'indice des changements climatiques. Pour certaines provinces ayant une économie plus développée, la relation que nous trouvons est en fait négative. C'est-à-dire qu'un choc de l'indice IPEN sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB est négatif, représentant donc une baisse du ratio. Ceci pourrait s'expliquer en partie par les valeurs des données de l'IPEN dans certaines provinces. Par ailleurs, pour certaines autres provinces, le même choc de l'indice des changements climatiques résulte en une hausse du ratio d'endettement. La modélisation en panel indique pour sa part que lorsqu'il y a un choc de l'indice de l'IPEN sur le ratio de la dette en circulation au PIB, celui-ci subit un choc positif de magnitude non significative.

INTRODUCTION

En novembre 2021, la Colombie-Britannique doit déclarer l'état d'urgence en raison d'inondations à la suite de pluies torrentielles. Les coûts de cet événement sont estimés entre 10,6 \$ et 17 \$ milliards par le Canadian Center for Policy Alternatives (CCPA) dans une étude publiée en 2022 (Lee et Parfitt, 2022). Encore en 2023, alors que des feux de forêt font rage dans plusieurs provinces canadiennes, le BC Wildfire estime que la saison coûterait plus d'un demi-milliard à la Colombie-Britannique (Dib, 2023). Une question prend alors forme dans mon esprit soit : de quelle façon des changements climatiques, par le biais d'incidents et catastrophes naturels, affectera-t-il l'endettement des provinces ? Plus spécifiquement, ce mémoire cherche à évaluer s'il y a un lien direct et explicable entre l'endettement provincial et un indice des changements climatiques.

Compte tenu de l'importance des ressources naturelles dans l'économie canadienne et de la taille du territoire, j'utilise comme indicateur des changements climatiques l'indice de précipitations et d'évapotranspiration normalisé (IPEN) . Comme les provinces ne sont pas affectées de la même façon par des changements climatiques, l'utilisation d'un indice tel que l'IPEN permet d'évaluer l'effet sur les provinces côtières et sur celles du centre du pays. Effectivement, l'indice se calcule à l'aide de variables de précipitations et d'évaporation. Aussi, afin d'évaluer l'endettement provincial, cette recherche utilise le ratio de la dette en circulation par rapport au produit intérieur brut (PIB) mensuel, tel qu'indiqué dans les bases de données Bloomberg et du Conference Board of Canada. L'évaluation du lien de causalité se fait ensuite par le biais d'un modèle « Structural Vector Autoregression » (SVAR).

En poussant davantage les recherches sur le sujet, je me suis rapidement rendu compte qu'il n'y avait aucune documentation qui se penchait explicitement sur la corrélation entre le réchauffement climatique et l'endettement gouvernemental. Ainsi, ce mémoire a pour but d'initier la recherche sur les impacts des changements climatiques sur les finances publiques, plus spécifiquement sur l'endettement. Nous savons que la dette publique canadienne est en croissance depuis les années 1980 avec une hausse plus marquée dans les cinq dernières années passant d'environ 800\$ milliards à un peu plus de 1,200\$ milliards (Statistiques Canada, 2023). Pendant ce temps, le nombre de demandes de transfert d'argent de la part des provinces continue à croître, laissant sous-entendre que les provinces ont aussi un besoin croissant d'argent. Par exemple, dans le cas de l'événement de 2021 en Colombie-Britannique mentionné ci-haut, l'enveloppe offerte par le gouvernement fédéral s'est élevée à 5 \$ milliards (Gouvernement du Canada, 2023c).

Les prochaines sections présentent une revue de la littérature sur le sujet, la méthodologie employée, les données pertinentes pour la réalisation de la recherche, les résultats et la conclusion.

CHAPITRE I

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Depuis plusieurs années maintenant, la sensibilisation et l'intérêt du public face au réchauffement climatique est en croissance, alors que partout dans le monde des pans de la population en subissent déjà des répercussions concrètes. Par conséquent, la pression sociale exercée sur les autorités gouvernementales pour qu'elles prennent des mesures et investissent dans la lutte contre le réchauffement climatique ne cesse d'augmenter. Si, à l'origine, la plupart des recherches se concentraient sur les conséquences environnementales, notamment sur les récoltes et d'autres aspects connexes, l'intérêt du secteur financier et des instances gouvernementales pour cette problématique s'est intensifié ces dernières années. Cependant, les études portant sur l'impact du réchauffement climatique sur les finances publiques demeurent moins nombreuses.

Certains chercheurs ont trouvé qu'il y a un impact significatif sur les taux d'intérêt des obligations souveraines dans 98 pays lorsque ceux-ci font des actions préventives relatives au réchauffement climatique (Cevik et Joao Tovar, 2020). Dans leur document de recherche, ils évaluent comment le taux d'intérêt souverain varie pour la période allant de 1995 à 2017 en fonction de la vulnérabilité et résilience (un indice composite de 45 indicateurs dont 36 évaluent la vulnérabilité et 9 la résilience) des pays face aux changements climatiques. Ils en concluent que plus les pays sont résilients face aux changements climatiques et plus leurs taux d'intérêt obligataires sont bas. Cette recherche démontre aussi que la magnitude de cette causalité est plus marquée chez les pays développés. Dans sa publication intitulée « The Risks from Climate Change to Sovereign Debt », Stavros Zenios souligne que les changements climatiques peuvent affecter significativement la cote de crédit et les coûts liés à la dette pour les gouvernements (Zenios, 2022). Effectivement, selon l'auteur, la croissance économique, la croissance des coûts en lien à l'adaptation au climat et les potentielles instabilités politiques peuvent être des répercussions du changement

climatique sur les finances publiques.

Dans le même ordre d'idées, les auteurs Iustina Aline Boitan et Kamilla Marchewka-Bartkowiak constatent que les pays avec une vulnérabilité plus élevée aux changements climatiques et avec une capacité moindre de gérer les désastres reliés aux changements climatiques ont des primes de risque plus élevées sur la dette souveraine (Boitan et Marchewka-Bartkowiak, 2022). De plus, les pays avec une faible position fiscale et des indicateurs économiques plus faibles sont requis d'offrir des taux d'intérêt plus élevés sur les obligations et donc ont des écarts plus larges avec leur indice de référence (Saboori *et al.*, 2022). Il a aussi été prouvé que ces mêmes émetteurs seraient plus enclins à émettre de la dette dans la section court-terme de la courbe des taux d'intérêt pour subvenir à leurs besoins de financement reliés au réchauffement climatique (Choi, 2022).

À la lumière du résultat de Choi (2022), il me semblait judicieux d'axer la présente recherche sur un pays développé subissant des répercussions plus marquées lors de variations climatiques, soit le Canada et ses provinces. Effectivement, alors que la majorité des travaux de recherche se penchent sur les États-Unis ou des pays européens, très peu portent sur le Canada. De plus, étant donné que l'économie du pays varie d'une région à l'autre en fonction des secteurs économiques prioritaires et repose en partie sur les ressources naturelles, il est essentiel de considérer que les provinces seront affectées différemment par les changements climatiques.

Le choix du Canada comme pays de référence pour cette recherche se base aussi sur la nature de son économie. En 2014, des experts ont identifié les sept industries qui seront les plus touchées par le réchauffement climatique (GIEC (Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2014). Parmi celles-ci, on retrouve le secteur de l'énergie, de l'agriculture et de la pêche commerciale, toutes des industries importantes de l'économie canadienne. Selon Statistique Canada (Statistique Canada, 2024), le pourcentage du PIB attribuable aux ressources naturelles au troisième trimestre de 2022 était en hausse à 13,7 %. En avril 2022, le Institute for Sustainable

Finance estimait le coût des changements climatiques au Canada à 5,5 \$ billions d'ici la fin de la décennie pour un scénario où la température moyenne monterait de 5 degrés celsius. Selon l'Institut, le Canada se réchauffe deux fois plus rapidement que la moyenne mondiale pouvant résulter en des impacts significatifs sur son territoire. Une des conclusions de la recherche est qu'il serait plus rentable pour les gouvernements canadiens d'investir aujourd'hui pour atténuer les dégâts futurs. Selon l'auteur, le manque à gagner sur la valeur des investissements présents se chiffre à environ 45,4 \$ milliards (Cleary et Willcott, 2022).

Dans un rapport publié en 2011, la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE), un organisme consultatif indépendant qui relève du Parlement canadien par l'entremise du ministre de l'environnement, a conclu que les coûts du changement climatique du Canada pourraient totaliser entre 21 \$ et 43 \$ milliards par année à partir de 2050 (Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, 2011). Bien entendu, des investissements additionnels de cette ampleur signifient généralement une croissance de l'endettement.

Un chercheur s'est penché sur l'effet des émissions de gaz à effet de serre sur le coût de la dette pour les firmes canadiennes (Maaloul, 2018). Celui-ci trouve qu'il y a une hausse des coûts d'emprunt d'environ 11 à 15 % par tonne supplémentaire d'émissions de gaz à effet de serre. Cette recherche fait partie d'une série d'articles se penchant sur le prix de la dette en réaction aux répercussions des réchauffements climatiques.

En juin 2022, des experts ont publié un travail de recherche qui tentait d'expliquer l'impact du réchauffement climatique sur les balances budgétaires et la dette des pays du Moyen-Orient et de la région de l'Afrique du Nord (Giovanis et Ozdamar, 2022). Dans cette publication, les auteurs trouvent que les changements de température ont effectivement un impact négatif sur les budgets gouvernementaux et augmentent l'endettement. Par ailleurs, selon ces chercheurs, les variations de précipitations n'ont aucun effet. Toutefois, le climat canadien étant très différent (tem-

pérature, précipitations), il apparaît pertinent d'en tenir compte. C'est pourquoi ces variables sont incluses dans la modélisation présentée dans ce mémoire par le biais de l'indice IPEN. Effectivement, selon les données de 2019 de la Banque Mondiale, le pays du Moyen-Orient avec la moyenne annuelle la plus élevée de précipitations était le Liban avec 661 mm (World Bank, 2025). En comparaison, le Québec à lui seul reçoit en moyenne 1000 mm de précipitations par année selon le site du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. La grande disparité entre ces deux mesures me porte à croire que les impacts négatifs des précipitations pour le Canada pourraient être significativement plus élevés.

CHAPITRE II

CADRE EXPÉRIMENTAL

Récolte de données

Plusieurs bases de données sont utilisées afin de faire un travail d'analyse exhaustif dans ce travail de recherche. Les données qui s'y retrouvent se séparent entre deux grandes catégories : données sur l'environnement et données macroéconomiques.

Données sur l'environnement : Les données sur l'environnement sont extraites d'une base de données du gouvernement du Canada. Plus spécifiquement, nous utilisons les données de l'IPEN de la CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) (Gouvernement du Canada, 2023a). Les résultats de l'indice représentent une mesure relative de l'excédent ou du déficit pour les eaux de surface par rapport aux conditions hydroclimatiques de la période de référence (1950-2005) selon la classification suivante (Li *et al.*, 2014) :

TABLEAU 1 – Classification IPEN

Valeur	Classification
2,0 ou plus	Extrêmement humide
1,5 à 1,99	Très humide
1,0 à 1,49	Modérément humide
-0,99 à 0,99	Normal
-1,0 à -1,49	Modérément sec
-1,5 à -1,99	Très sec
-2,0 ou moins	Extrêmement sec

Ainsi, cette classification suppose d'emblée que les valeurs de sécheresse (négatives) auront un effet inverse à celui des valeurs de précipitations (positives). Pour

chaque période mensuelle, la valeur de l'indice est calculée selon une distribution de Pearson III qui emploie une méthode non biaisée des moments de probabilité pondérés (Gouvernement du Canada, 2023b). Une distribution de Pearson III est une distribution de probabilité asymétrique qui est souvent utilisée pour modéliser des phénomènes naturels. Dans le contexte de cette recherche, les données sont récoltées sur une base mensuelle pour une période allant de 1996 à 2023. La base de données du gouvernement du Canada fournit des valeurs classées par degré de latitude/longitude. Les valeurs sont disponibles pour toutes les provinces, à l'exception de l'Île-du-Prince-Édouard et de la Nouvelle-Écosse. Comme les deux économies exclues ne représentent qu'une partie minime de l'économie canadienne (0.33% pour l'Île-du-Prince-Édouard et 1.93% pour la Nouvelle-Écosse, en 2022) j'ai tout de même choisi l'indice IPEN (Statistiques Canada, 2023). Ainsi, l'indice prend en compte les précipitations et l'évapotranspiration potentielles pour déterminer les sécheresses tout en calculant l'impact de la croissance des températures sur la demande d'eau pour tout le territoire canadien (Vicente-Serrano et for Atmospheric Research Staff, 2023).

Plus précisément, l'indice IPEN (D_i) se calcule par la différence entre un indice de précipitations (P_i) et l'indice d'évapotranspiration potentielle (PET_i).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

où :

D_i = Indice IPEN

P_i = Indice de Précipitations

PET_i = Indice PET.

Finalement, afin d'assurer une meilleure représentativité des valeurs mensuelles de l'indice par province, les données sont pondérées avec la population pour les mêmes

points de latitude/longitude. De cette façon, les régions plus éloignées et moins peuplées ayant un indice IPEN avec des valeurs extrêmes ont un poids moins significatif et ne faussent pas la représentativité de l'indice.

Données macroéconomiques : Des données macroéconomiques sont aussi utilisées dans le modèle. Pour correctement évaluer l'effet de l'indice IPEN sur l'endettement gouvernemental, j'utilise le ratio mensuel de la dette en circulation par rapport au PIB mensuel comme variable. Le numérateur est pris directement de la base de données Bloomberg L.P. (2023), alors que le dénominateur vient de la base de données du Conference Board of Canada (Conference Board of Canada, 2025). En plus de cette variable, des données de contrôle macroéconomiques ont été sélectionnées telles que l'inflation, le taux d'intérêt sur les obligations provinciales avec une maturité de 10 ans et le taux de chômage. Toutes ces données viennent de la base de données de la Chaire en macroéconomie et prévision de l'École des sciences de la gestion de l'Université du Québec à Montréal (Giovanis et Ozdamar, 2022). Finalement, les données macroéconomiques récoltées sont mensuelles et se situent entre 1996 et septembre 2023.

Une fois les données amassées, il est nécessaire de s'assurer que celles-ci sont homogènes et adéquates afin d'optimiser la réussite du modèle. Afin d'uniformiser les données et de les rendre praticables pour une modélisation SVAR, il est nécessaire de s'assurer de la stationnarité des variables. Pour les fins de cette section, les données de la Colombie-Britannique sont utilisées comme exemple. Ceci étant dit, toutes les figures pour les autres provinces peuvent être retrouvées dans les Annexes A-B-C-D à la fin du document.

La première étape a été d'observer les variables pour voir si celles-ci comportent une tendance. Par exemple, les graphiques ci-dessous représentent les données pour la province de la Colombie-Britannique de janvier 1996 à septembre 2023 (Voir toutes les provinces en Annexe A).

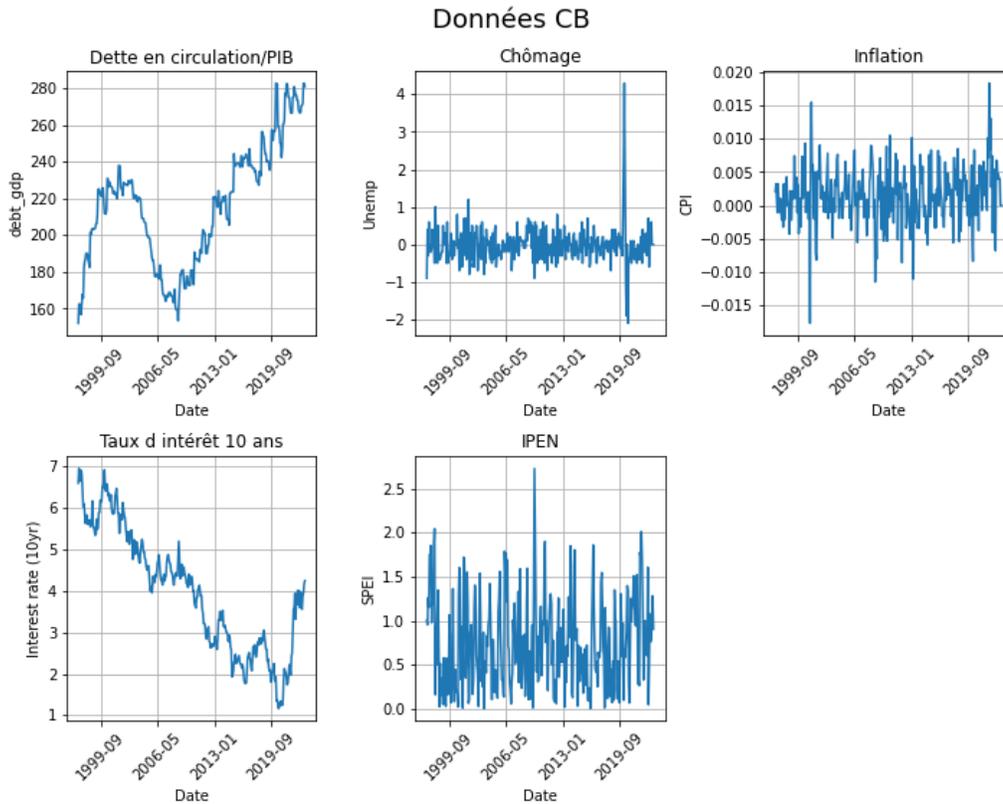


FIGURE 1 – Courbe des données de la Colombie-Britannique

Rapidement, il est possible d’observer que la dette en circulation ainsi que le taux d’intérêt 10-ans ne sont pas stationnaires (Figure 1). Effectivement, la courbe du ratio de la dette en circulation sur le PIB est haussière alors que celle du taux d’intérêt est majoritairement baissière. La stationnarité est importante, car elle signifie que la moyenne, la variance et la covariance restent constantes dans le temps. Ceci est important dans la simplification du modèle, la fiabilité des estimés, la robustesse et l’interprétabilité du modèle.

Afin de confirmer l’hypothèse de la non-stationnarité pour ces deux variables, un test de Dickey-Fuller augmenté (ADF) a été fait. Ce test a comme hypothèse nulle que la série chronologique possède une racine unitaire, ce qui signifie qu’elle n’est

pas stationnaire. Donc, si la valeur de p est inférieure à 0,05, on rejette l'hypothèse nulle et on conclut que la série est stationnaire. De plus, il est important de regarder les valeurs de la statistique de test ADF par rapport aux niveaux de spécification (comme 1 %, 5 % ou 10 %). Si celle-ci est inférieure aux valeurs de spécification, alors cela renforce la notion que la série est stationnaire.

Le tableau 2 présente les résultats du test ADF pour les données de la Colombie-Britannique.

TABLEAU 2 – Résultats Test ADF

	P-value	ADF Statistique	1 %	5 %	10 %
Dettes en Circulation	0,5728	-1,4198	-3,451	-2,871	-2,572
Chômage	0,0000	-11,0788	-3,451	-2,871	-2,572
Inflation	0,0171	-3,2541	-3,452	-2,871	-2,572
Taux d'intérêt 10 ans	0,8692	-0,6078	-3,451	-2,871	-2,572
IPEN	0,0002	-4,5498	-3,451	-2,871	-2,572

Les résultats du test indiquent effectivement une non-stationnarité des données de dette en circulation (statistique ADF : -1,4198) et du taux d'intérêt 10-ans (statistique ADF : -0,6078). De plus, il est important de noter que l'inflation est stationnaire avec une probabilité entre 1 et 5 %. Afin de rendre ces données stationnaires, j'ai donc pris la première différence des séries non stationnaires.

La deuxième constatation est qu'il semble y avoir des anomalies dans les données associées aux années de la COVID-19. Effectivement, lorsqu'on regarde les données de chômage, tel qu'indiqué dans le graphique correspondant ci-haut, nous remarquons des valeurs extrêmes pour la période de mars 2020 et 2021. Ainsi, le choix a été fait de retirer celles-ci de l'échantillon et il se terminera donc au 1er février 2020.

Le dernier élément important à souligner est que les données de l'IPEN pour la Nouvelle-Écosse et pour l'Île-du-Prince-Édouard ne sont pas disponibles. Tel que

mentionné plus tôt, les données de ces deux provinces sont retirées de l'échantillon de test.

Le prochain test concerne la multicollinéarité des données. Le graphique ci-bas représente l'analyse de multicollinéarité pour la province de la Colombie-Britannique par le biais d'une matrice de corrélation. Pour que la corrélation soit jugée trop prononcée, celle-ci doit être supérieure à 0,5. Nous observons donc que la corrélation entre les diverses variables ne semble pas problématique (Figure 2. Annexe C les figures pour toutes les provinces).

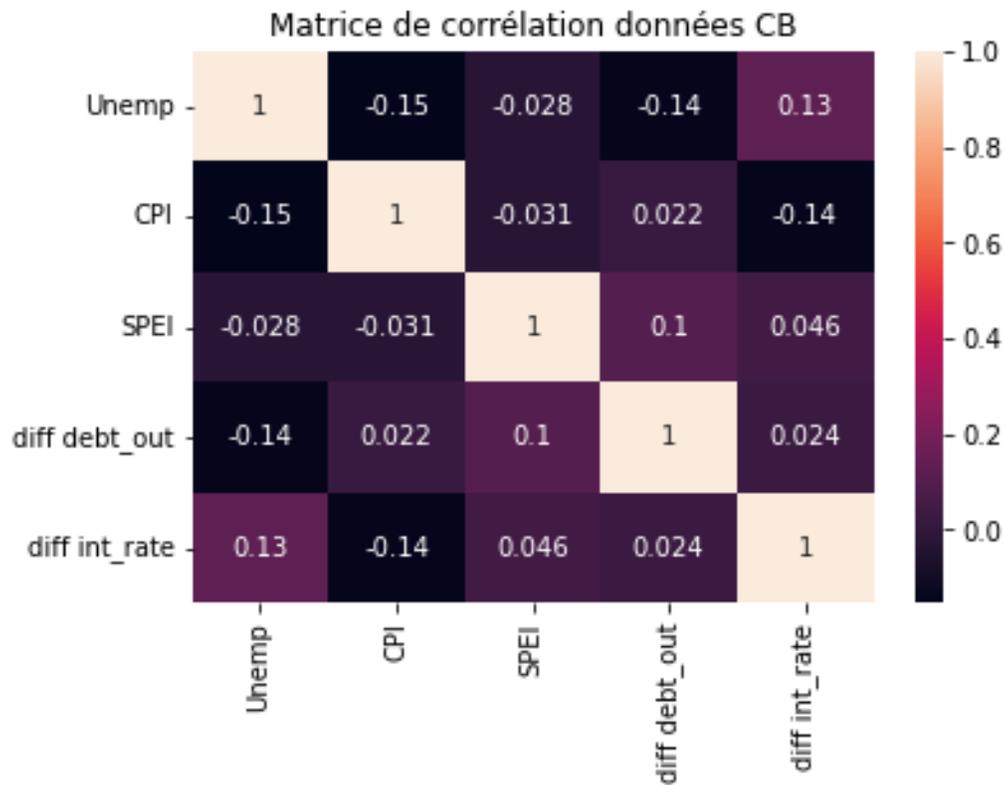


FIGURE 2 – Matrice de corrélation entre les données de la Colombie-Britannique

Finalement, un test d'autocorrélation (ACF) a été fait. Ce test observe la corrélation entre une variable en temps t et ses observations précédentes à différents

décalages temporels. Ce test évalue s'il y a des autocorrélations entre les variables à différents moments t de la série chronologique. Ainsi, ce test donne de l'information sur la signification des données à différents retards. Le résultat démontre qu'à l'exception de l'indicateur IPEN, toutes les variables n'ont aucune dépendance temporelle. Par ailleurs, la variable de l'IPEN a une corrélation importante avec deux périodes de décalage (Figure 3. Annexe C les figures pour toutes les provinces).

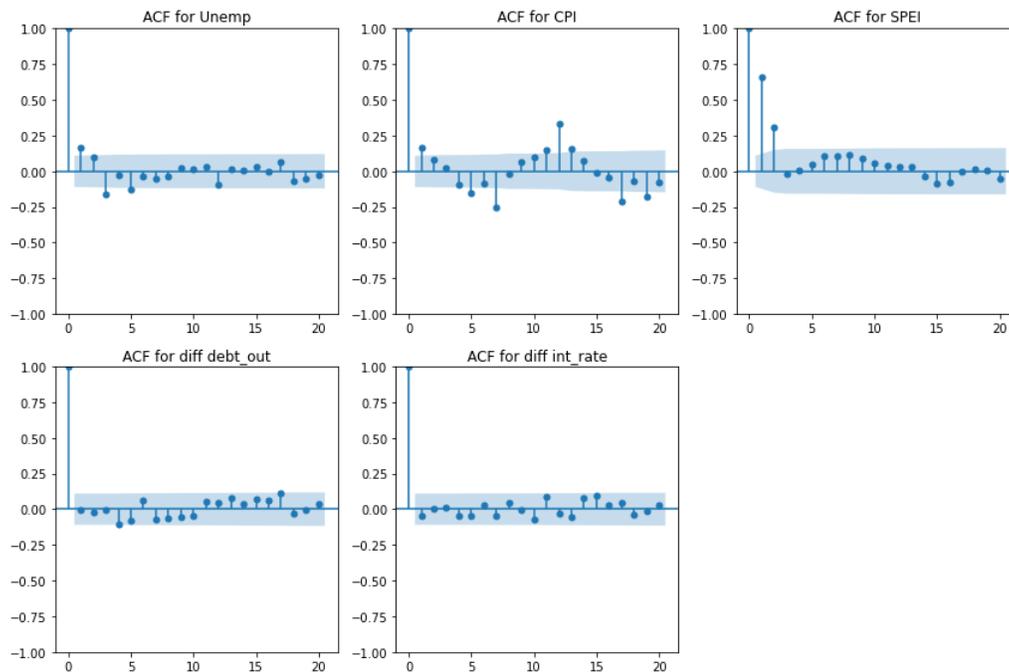


FIGURE 3 – Résultats test ACF pour la Colombie-Britannique

Méthodologie

Au cours de l'examen exhaustif des sources documentaires réalisé afin de concevoir la méthodologie à appliquer pour répondre à la question posée dans ce mémoire, il est manifeste que plusieurs modalités de modélisation ont été employées par le passé. Diverses formes de régressions ont ainsi été mises en œuvre pour analyser la corrélation entre deux variables distinctes, dont une reliée à l'environnement, telles que les émissions de gaz à effet de serre et le coût de la dette (Maaloul, 2018), ou

encore les incidences des changements climatiques sur l'équilibre fiscal et la dette (Giovanis et Ozdamar, 2022).

Le premier travail de recherche opte pour une approche de régression simple, incorporant des variables de contrôle dont l'effet sur le coût de la dette est préalablement connu. Les variables utilisées dans ce modèle sont le coût de la dette, une mesure des émissions directe de gaz à effet de serre Scope 1 et indirecte Scope 2 et le ratio des émissions totales sur les ventes totales. L'objectif consiste à isoler la corrélation des émissions de gaz à effet de serre sur le coût de la dette, sans toutefois procéder à l'évaluation du choc à court et moyen-terme. Les variables de contrôle servent à ajuster les données en fonction d'une autre variable susceptible d'influencer la relation entre les variables dépendante et indépendantes. Ainsi, l'inclusion de telles variables sert à s'assurer que l'effet estimé de la variable indépendante est plus précis et représente au mieux la relation sous-jacente. Les auteurs incluent sept variables de contrôles reconnues pour avoir un impact sur le coût de la dette. Tel que :

$$\begin{aligned}
CoD_{it} = & \beta_0 + \beta_1 GHG_{it} + \beta_2 ROA_{it} + \beta_3 SIZE_{it} \\
& + \beta_4 LEV_{it} + \beta_5 SiZE_{it} + \beta_6 M/B_{it} + \beta_7 VOL_{it} \\
& + \sum SECT + \sum YEAR + \epsilon_{it}
\end{aligned} \tag{2}$$

La formule ci-dessus inclut comme termes une mesure des émissions directes de gaz à effet de serre (Scope 1) et des émissions indirectes (Scope 2) (GHG_{it}), le ratio des émissions totales aux ventes totales (ROA_{it}), ainsi que plusieurs variables de contrôle. Ces dernières regroupent : la taille des actifs de la firme ($SIZE_{it}$), une mesure de l'effet de levier (LEV_{it}), une mesure du ratio de la valeur de marché à la valeur comptable (M/B_{it}), une mesure de la volatilité de l'action des firmes (VOL_{it}) et, enfin, une valeur fixe liée au secteur d'opération et à l'année de référence ($\sum SECT, \sum YEAR$). Les valeurs de i et t représentent respectivement une firme

et l'année.

Le second article évoqué précédemment réfère quant à lui à une modélisation qui a recours à une régression des moindres carrés ordinaires, résolue par la méthode des moments généralisés. L'inclusion de variables de contrôle est également présente pour cette recherche. Pour ce travail, les variables de contrôle sont encore des mesures ayant un impact sur la variable à expliquer, soit la balance budgétaire. Bien que cette recherche soit pertinente, la méthodologie adoptée fournit une vision globale de l'impact d'une variable sur une autre au moment de la régression, sans toutefois tenir compte des effets à long terme d'un choc.

Dans la mesure où notre intérêt se porte sur l'impact historique et sur le choc et l'effet à long terme qu'un indice des changements climatiques peut exercer sur la dette en circulation, il s'avère impératif d'examiner d'autres travaux exploitant des méthodes de modélisation différentes. Lorsqu'on opère sur des séries temporelles, l'utilisation de la régression présente certaines limitations pour l'analyse des impacts futurs. Tels que le manque de considération de la dynamique temporelle, l'impact des chocs et l'absence de mémoire à long terme.

Dans leur ouvrage « *Extreme Weather and the Macroeconomy* », Kim, Matthes et Phan préfèrent adopter une approche reposant sur une régression autorégressive à transition variable lisse (Kim *et al.*, 2021). Pour y arriver, ils créent un modèle de VAR structurel avec une identification des variables adoptant une forme de triangle inversé. Pour examiner les paramètres et les variations de volatilité, les auteurs utilisent le modèle VAR à transition lisse, tel que décrit par Auerback et Gorodnichenko (2012). La justification de ce choix de modèle réside dans la transparence des mouvements des paramètres au fil du temps. Ainsi, le modèle intègre deux occurrences extrêmes des paramètres de valeurs, et à chaque instant, les dynamiques sont régies par une combinaison convexe des deux. L'objectif vise à exploiter l'ensemble des données disponibles pour éclairer le lecteur sur la variation temporelle des paramètres.

Ayant ces options en tête et afin d'évaluer adéquatement les répercussions de l'indice environnemental sur l'endettement des provinces, je ferai l'utilisation d'un modèle SVAR avec variables de contrôle macroéconomiques. Effectivement, ce type de modélisation permet d'isoler les effets des chocs sur la variable à expliquer tout en prenant en compte les interrelations entre toutes les variables explicatives. Basé sur les données mensuelles mentionnées dans la section précédente, le SVAR sera composé de cinq variables, soit les trois données de contrôle macroéconomiques (inflation g_i , taux d'intérêt g_n et taux de chômage g_c), l'indice IPEN (g_s) et le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB pour chaque province (g_e). Le modèle sera exécuté pour tout point mensuel entre janvier 1996 et février 2020.

Le modèle peut donc s'écrire de la façon générique suivante :

$$X_t = A(L)X_{t-1} + \eta_t. \quad (3)$$

On note $X_t = [g_{st}, g_{nt}, g_{it}, g_{ct}, g_{et}]'$ le vecteur comprenant les variables endogènes. Le vecteur des innovations canoniques est noté $\eta_t = [\eta_{1t}, \eta_{2t}, \eta_{3t}, \eta_{4t}, \eta_{5t}]'$, représentant la partie non prévisible lorsque nous tenons compte de l'information contenue dans les réalisations passées des variables endogènes. De plus, $A(L)$ est un polynôme représentant les retards. Le nombre de retards adéquat est évalué avec un test de rapport de vraisemblance.

Pour évaluer le modèle, il est important de passer à la forme structurelle en vérifiant $\eta_t = P\epsilon_t$ où ϵ_t représente le vecteur de chocs structurels tel que $\epsilon_t = [\epsilon_{st}, \epsilon_{nt}, \epsilon_{it}, \epsilon_{ct}, \epsilon_{et}]'$. Ainsi, on fait l'hypothèse qu'à chaque date t , les innovations canoniques sont le résultat de combinaisons linéaires des chocs structurels. Finalement, la matrice P est celle des coefficients. La représentation de la relation entre les chocs de forme structurelle et les innovations canoniques se définit comme suit :

$$\begin{bmatrix} \eta_{1t} \\ \eta_{2t} \\ \eta_{3t} \\ \eta_{4t} \\ \eta_{5t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{0,11} & a_{0,12} & a_{0,13} & a_{0,14} & a_{0,15} \\ a_{0,21} & a_{0,22} & a_{0,23} & a_{0,24} & a_{0,25} \\ a_{0,31} & a_{0,32} & a_{0,33} & a_{0,34} & a_{0,35} \\ a_{0,41} & a_{0,42} & a_{0,43} & a_{0,44} & a_{0,45} \\ a_{0,51} & a_{0,52} & a_{0,53} & a_{0,54} & a_{0,55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{st} \\ \epsilon_{nt} \\ \epsilon_{it} \\ \epsilon_{ct} \\ \epsilon_{et} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Pour être en mesure d'évaluer correctement les chocs, il est nécessaire d'imposer des restrictions à la matrice P . Dans cette modélisation, une décomposition de Cholesky sera utilisée. L'emploi de la décomposition de Cholesky pour imposer des restrictions est une façon commune utilisée pour identifier les chocs structurels sur les variables du modèle. Cette décomposition impose un ordre de causalité sur les variables, permettant une interprétation des chocs exogènes sur le système. Ainsi, en imposant une décomposition de Cholesky, ceci nous permet d'inférer la direction de causalité entre les variables. Ceci est particulièrement important pour comprendre la transmission des chocs économiques dans un système. Finalement, l'utilisation de la décomposition de Cholesky est robuste et simple, faisant en sorte qu'aucunes autres restrictions sont nécessaires (Kilian et Lütkepohl, 2017) . La décomposition de Cholesky est représentée par une matrice triangulaire inférieure de P telle que :

$$\begin{bmatrix} a_{0,11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{0,21} & a_{0,22} & 0 & 0 & 0 \\ a_{0,31} & a_{0,32} & a_{0,33} & 0 & 0 \\ a_{0,41} & a_{0,42} & a_{0,43} & a_{0,44} & 0 \\ a_{0,51} & a_{0,52} & a_{0,53} & a_{0,54} & a_{0,55} \end{bmatrix} \quad (5)$$

L'ordonnancement des variables devient alors très important avec ce type de restriction. Typiquement, les variables avec des chocs les plus persistants se retrouveront au bas de la matrice des innovations canoniques et ceux avec des chocs ayant un effet plus court terme se retrouvent en première position (Sims, 1980). Ainsi, le modèle devient :

$$\begin{bmatrix} \eta_{1t} \\ \eta_{2t} \\ \eta_{3t} \\ \eta_{4t} \\ \eta_{5t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{0,11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{0,21} & a_{0,22} & 0 & 0 & 0 \\ a_{0,31} & a_{0,32} & a_{0,33} & 0 & 0 \\ a_{0,41} & a_{0,42} & a_{0,43} & a_{0,44} & 0 \\ a_{0,51} & a_{0,52} & a_{0,53} & a_{0,54} & a_{0,55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{st} \\ \epsilon_{nt} \\ \epsilon_{it} \\ \epsilon_{ct} \\ \epsilon_{et} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Nous retrouvons donc dans l'ordre les chocs de l'indice IPEN (représentant le réchauffement climatique), des taux d'intérêt provincial 10 ans, de chômage, d'inflation et finalement le ratio d'endettement sur le PIB. L'indice IPEN se retrouve en première position, car il est assumé que les chocs contemporains des variables macroéconomiques qui le suivent n'ont pas d'effet sur l'indice. Effectivement, les activités économiques ont une très petite chance d'avoir un effet immédiat sur l'environnement (Kim *et al.*, 2021). Ce positionnement permet aussi d'évaluer l'effet du choc de réchauffement climatique sur la variable du ratio de l'endettement sur le PIB (variable en dernière position).

La seconde variable du modèle est le taux d'intérêt 10 ans. Dans leur papier de 2002, Gilchrist et Leahy observent les dynamiques des taux d'intérêt, les bulles et les politique monétaires. Dans le cadre de cette recherche, les auteurs placent le taux d'intérêt en début de modèle afin d'évaluer l'effet que cette valeur a sur les autres valeurs économiques (Gilchrist et Leahy, 2002). Ils en concluent que, comme le taux d'intérêt est une variable macroéconomique ayant un effet sur plusieurs autres variables économiques, il est important que celle-ci se situe au début d'un modèle SVAR.

Les variables d'inflation et de chômage sont placées ensuite et nous avons finalement le ratio de la dette en circulation sur le PIB. Les chercheurs ne s'entendent pas nécessairement sur le positionnement de l'inflation et du chômage dans ce genre de modélisation. Par exemple, dans un papier de la Banque du Canada publié en 1998,

l'entité place le taux de chômage avant l'inflation dans son modèle VAR pour une évaluation d'un choc des dépenses publiques, alors que lorsqu'elle évalue l'apport d'un choc des politiques monétaires et budgétaires, l'ordre est inversé (St-Amant et Tessier, 1998).

Finalement, comme nous voulons évaluer les impacts des variables sur la dette en circulation, il est important que celle-ci se situe en dernière position de la modélisation. De ce fait, nous allons pouvoir observer les chocs de chaque variable sur le ratio de la dette en circulation sur le PIB.

Pour évaluer les chocs de chaque variable sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB, nous utiliserons les fonctions de réponses. Celles-ci permettent d'illustrer l'évolution dans le temps de la réaction des variables d'un modèle VAR à un choc donné. Ceci donne de l'information supplémentaire sur les interdépendances et les relations causales (Neusser, 2016). Pour être en mesure d'évaluer celles-ci, nous devons présenter le modèle sous sa forme de moyenne mobile tel que :

$$\mathbf{y}_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \Theta_i \epsilon_{t-i}. \quad (7)$$

Dans la formule ci-haut, la matrice de paramètres Θ_i est celle qui décrit les effets des chocs (ϵ_i) sur la trajectoire des variables y_i .

Maintenant que nous avons analysé la construction du modèle, tournons-nous vers les résultats.

CHAPITRE III

RÉSULTATS

Comme la modélisation est complétée, nous pouvons nous tourner vers les résultats. Ainsi, ce chapitre du mémoire va mettre l'accent sur les graphiques de fonction de réponses des différentes provinces (toutes sauf la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard, tel que mentionné précédemment). Plus spécifiquement, il est important de regarder les graphiques de fonction de réponses du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB avec le choc de l'indice des changements climatiques, l'IPEN. Ainsi, nous avons pour chaque graphique la réponse au temps $t = 0$, représentant l'impact immédiat du choc, et la réponse aux périodes subséquentes ($t = 1$ à 10). Pour les fins de cette analyse, la modélisation s'attarde à la réponse par rapport aux chocs pour une durée de 10 périodes, représentant ici 10 mois. Les bandes rouges sur les graphiques de la figure 4 ci-bas sont les marges d'erreurs.

La première constatation que nous faisons est qu'un choc de l'indice IPEN semble avoir un effet uniquement sur le taux de chômage et le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB pour la majorité des provinces. Prenons par exemple les résultats ci-dessous pour la province de la Colombie-Britannique :

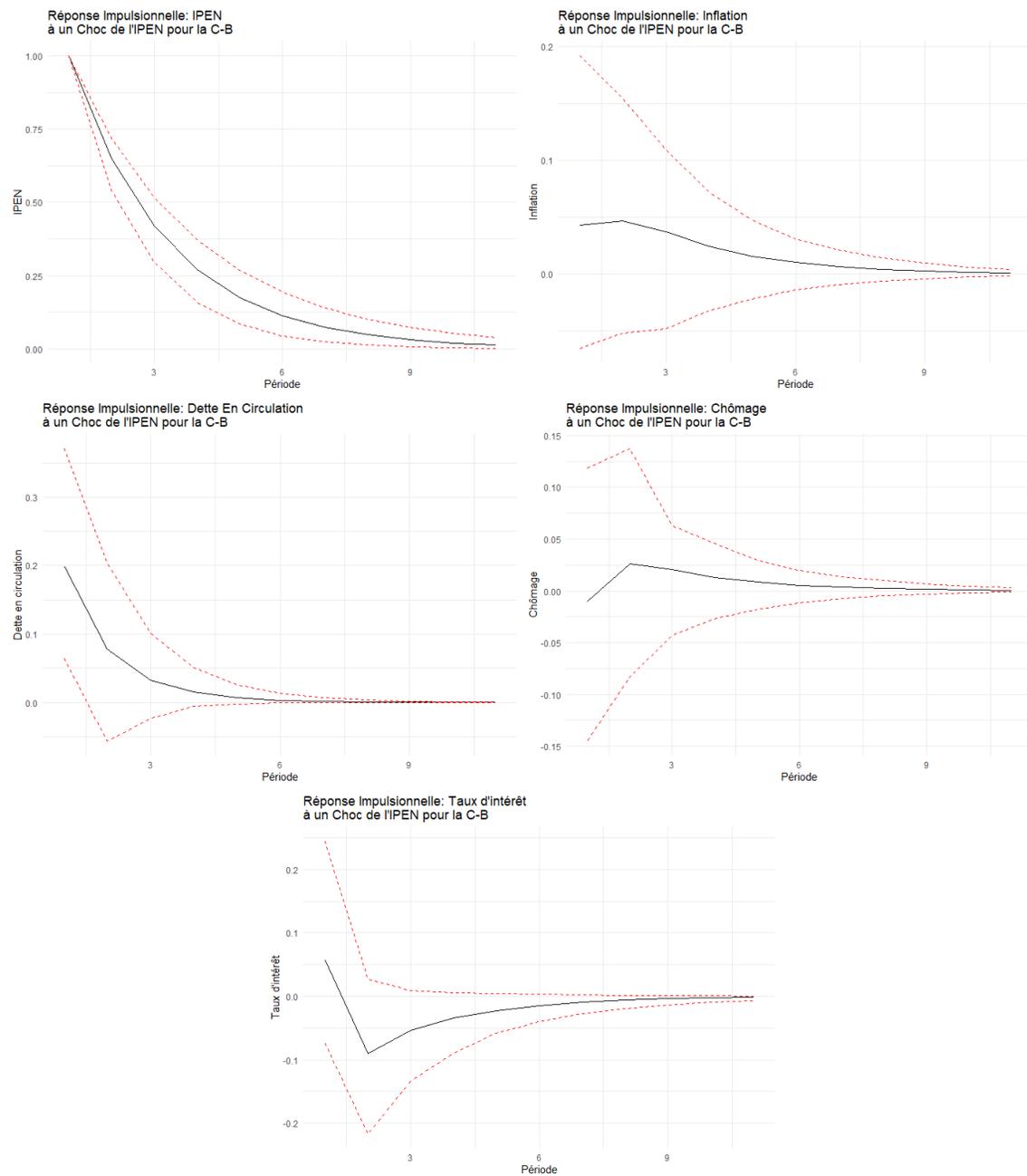


FIGURE 4 – Graphiques de fonction de réponse de la Colombie-Britannique à un choc sur l'IPEN

Nous remarquons que les courbes des graphiques de réponses pour les variables du taux d'intérêt 10 ans, chômage et de l'indice d'inflation sont pratiquement nulles. Par ailleurs, il y a un minime mouvement au niveau du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB avec une magnitude d'environ 0,2. Ce choc est immédiat et se résorbe en grande majorité dans les 5 mois suivants (Figure 5). Il est aussi important de noter que le choc sur la variable est positif mais non significatif, représentant une hausse du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB.

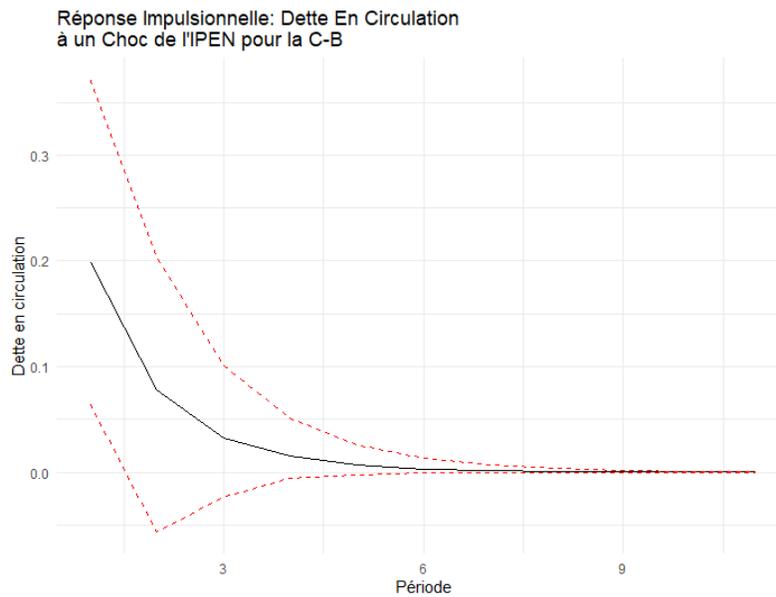


FIGURE 5 – Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN pour la Colombie-Britannique

Pour la majorité des provinces, les fonctions de réponses présentent des chocs d'une amplitude similaire à celle de la Colombie-Britannique. Par contre, pour les provinces avec une économie plus développée comme l'Ontario et le Québec, les fonctions de réponses aux chocs présentent des résultats plus significatifs et, pour certains, négatifs. À noter, un choc négatif représente une diminution du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB à court ou moyen terme.

Regardons en premier lieu les mêmes graphiques que ci-haut, mais pour la province

de l'Ontario.

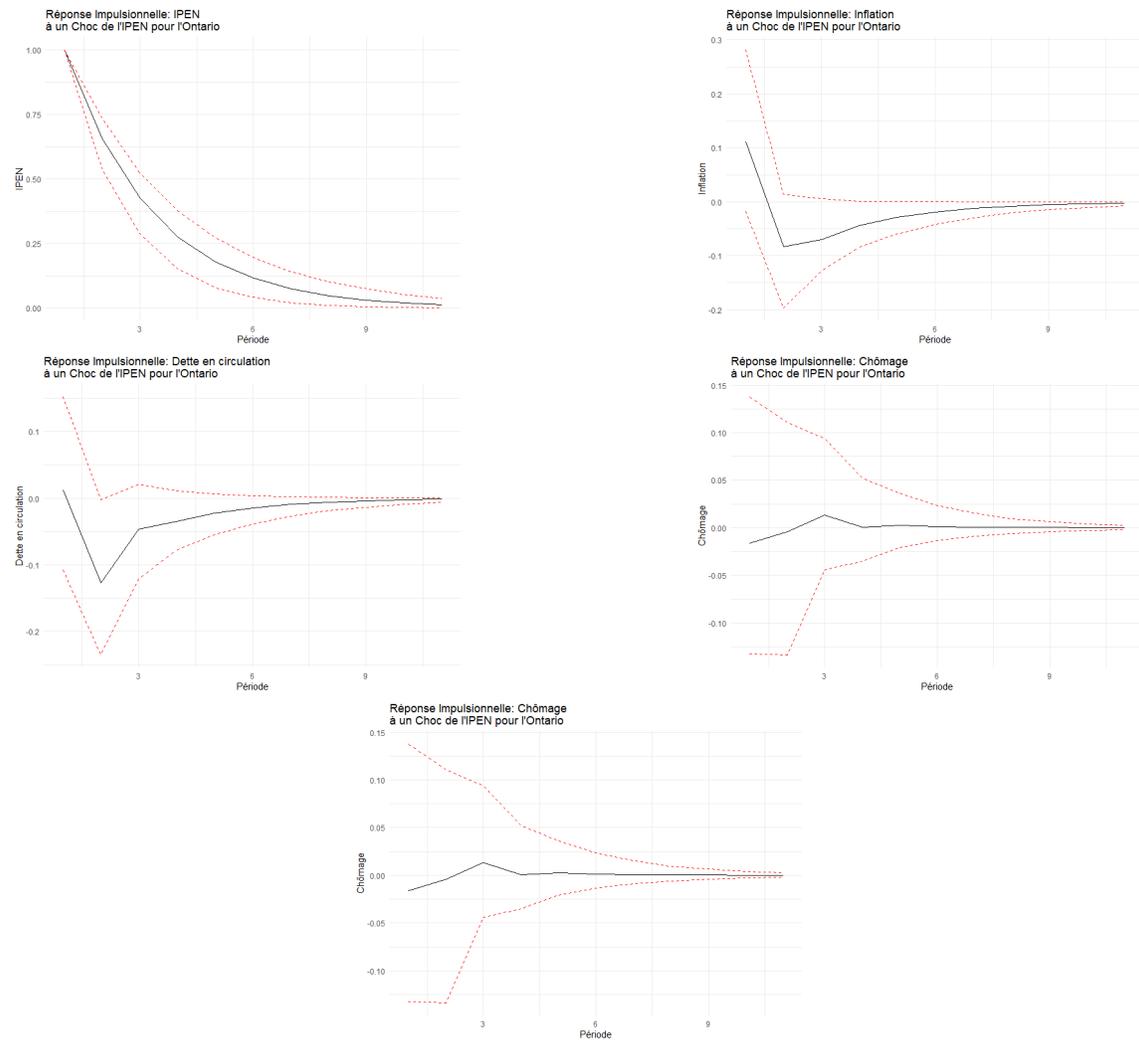


FIGURE 6 – Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN pour l'Ontario

Nous remarquons un choc plus prononcé sur la variable du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB lorsqu'il y a un choc d'IPEN. Effectivement, au temps 0, le choc est négatif et va jusqu'à -0,15, pour ensuite se résorber en période 8 (Figure 7). Ce résultat est étonnant, compte tenu que la littérature démontre qu'un choc des changements climatiques résulte de façon usuelle en une hausse des dépenses, et

souvent, il en découle une croissance de l'endettement. Il est important que noter que l'aide fédérale distribuée aux provinces suite à un évènement climatique pourrait venir fausser les résultats ci-bas. En effet, une intervention monétaire du gouvernement fédéral lors d'un évènement climatique aurait comme impact de diminuer la quantité d'emprunt nécessaire pour qu'une province puisse payer les dépenses liées à cet évènement. Ainsi, cela pourrait faire diminuer le choc de l'indice IPEN sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB dans notre modélisation.

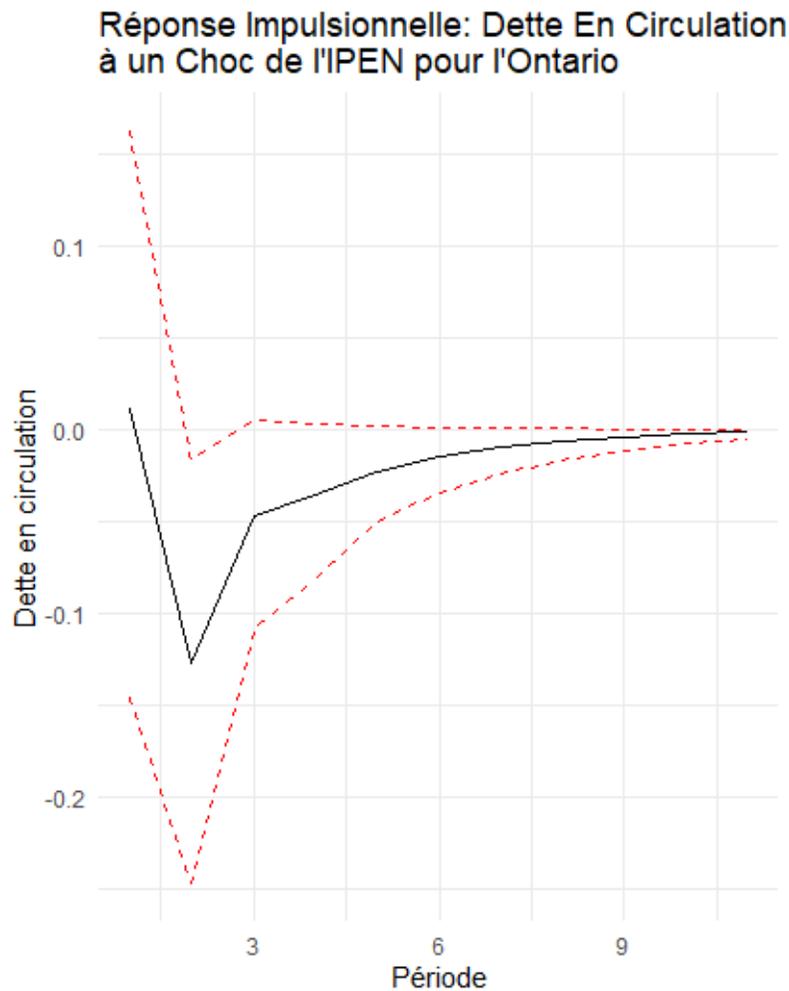


FIGURE 7 – Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN pour l'Ontario

En comparaison, le graphique de la province du Québec démontre lui un choc initial positif d'une magnitude de 0,06, pour ensuite aller en territoire négatif et finalement se résorber autour de la période 5.

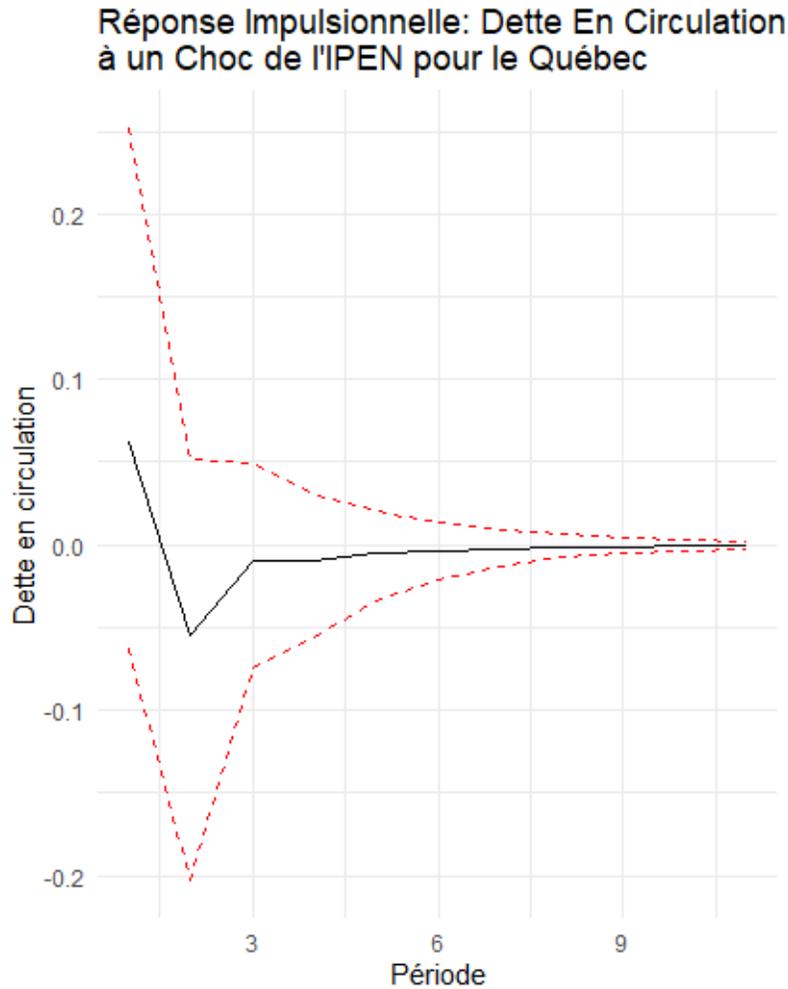


FIGURE 8 – Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN pour le Québec

Ainsi, la magnitude et persistance de ces chocs semblent varier d'une province à une autre. Les chocs exogènes affectent les variables endogènes dans les modèles VAR. Ces chocs sont mesurés par les fonctions de réponse impulsionnelle. La magnitude

du choc est souvent représentée par l’amplitude initiale de la réponse impulsionnelle, qui peut être interprétée comme l’effet immédiat du choc sur la variable (Lütkepohl, 2005). Nous observons donc que la durée du choc pour la province de l’Ontario est significativement plus persistante que celle pour d’autres provinces. Effectivement, le choc sur la dette en circulation de l’indice IPEN pour l’Ontario persiste pour approximativement 8 mois. En comparaison, la période du choc pour la Colombie-Britannique est d’environ 5 mois.

En somme, lorsque nous analysons le modèle en séparant les provinces, nous obtenons des résultats qui démontrent qu’un choc de l’indice IPEN n’a pas un impact significatif sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB pour la majorité des provinces. Par ailleurs, certaines autres provinces telles que l’Ontario et le Québec voient une réduction de la dette en circulation avec un choc de l’IPEN.

Afin de s’expliquer ce résultat, nous regardons les valeurs des données de l’IPEN pour la période sous observation en fonction de la table de classification mentionnée dans la section précédente.

TABLEAU 3 – Nombre de données de l’IPEN par catégorie par province

	BC	AB	MB	SK	ON	QC	NB	NF
Extremely wet	1	2	0	2	0	0	0	0
very wet	15	16	3	7	0	0	0	0
moderately wet	22	26	20	24	0	0	0	0
near normal	202	184	212	186	278	278	278	278
moderately dry	28	33	35	34	0	0	0	0
severely dry	9	13	8	21	0	0	0	0
extremely dry	1	4	0	4	0	0	0	0

Nous remarquons rapidement que les provinces de la Colombie-Britannique, de l’Alberta, du Manitoba et de la Saskatchewan ont des valeurs de l’IPEN plus extrêmes que celles des autres provinces. Basé sur ces résultats, il semble y avoir eu un plus gros impact des changements climatiques sur les provinces de l’ouest que le reste du pays. Effectivement, en observant les données de l’IPEN dans le tableau 3 ci-haut,

nous remarquons que les provinces avec des données dans les catégories « *severly dry* » et « *extremely dry* » sont la Colombie-Britannique, l'Alberta, le Manitoba et la Saskatchewan. Ceci pourrait expliquer un impact sur les résultats de la modélisation alors que ces valeurs de l'indice sont négatives. De plus, entre 1961 et 1999, selon la base de données du Gouvernement du Canada, les provinces avec le nombre d'événements climatiques les plus élevés sont celles de l'Ontario, la Colombie-Britannique, l'Alberta, Terre-Neuve et le Manitoba (Environnement Canada, 2017).

TABLEAU 4 – Évènements climatiques notables au Canada (1961-1999)

Province	1961-1980	1981-1999	Total
Colombie-Britannique	4	8	12
Terre-Neuve	4	8	12
Manitoba	4	7	11
Saskatchewan	3	3	6
Ontario	5	12	17
Yukon	1	1	2
Labrador	1	1	2
Québec	3	5	8
Nouveau-Brunswick	2	3	5
Alberta	6	6	12
Nouvelle-Écosse	1	2	3
Île-du-Prince-Édouard	0	1	1
Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.)	1	1	2
Total	35	58	93

Les données présentées dans le tableau 4 pourrait expliquer les chocs non-négatifs de l'indice IPEN sur le ratio de la dette en circulation sur le PIB pour les provinces de la Colombie-Britannique, l'Alberta et le Manitoba dans modèle de SVAR ci-haut. Nous mentionnons encore une fois l'importance de tenir en compte l'aide fédéral dans ce genre d'évènements climatiques. Effectivement, le gouvernement fédéral intervient

généralement dans le financement de la remise sur pied des provinces suite à des épisodes d'inondation ou de sécheresse. Ainsi, ceci pourrait venir expliquer pourquoi l'impact des données extrêmes de l'indice de l'IPEN ne se reflète pas nécessairement dans le choc sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB.

Dans un autre ordre d'idée, les résultats négatifs du choc de l'IPEN sur la dette en circulation par rapport au PIB pour les provinces de l'Ontario et du Québec pourraient venir des données négatives de l'IPEN. Effectivement, pour ces deux provinces, 100% des valeurs de l'IPEN récoltées se trouvent dans la catégorie « *near normal* » représentant des données de l'IPEN se situant entre « *-0,99 et 0,99* ». Ainsi, nous remarquons que la valeur de l'indice pour cette catégorie peut être négative, et donc avoir un impact sur le modèle SVAR utilisé. Afin de tenter d'évaluer cet impact, la section suivante présente le même modèle SVAR avec les valeurs de l'indice l'IPEN en valeur absolue.

Ci-bas les graphiques de chocs de l'IPEN sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB pour toutes les provinces.

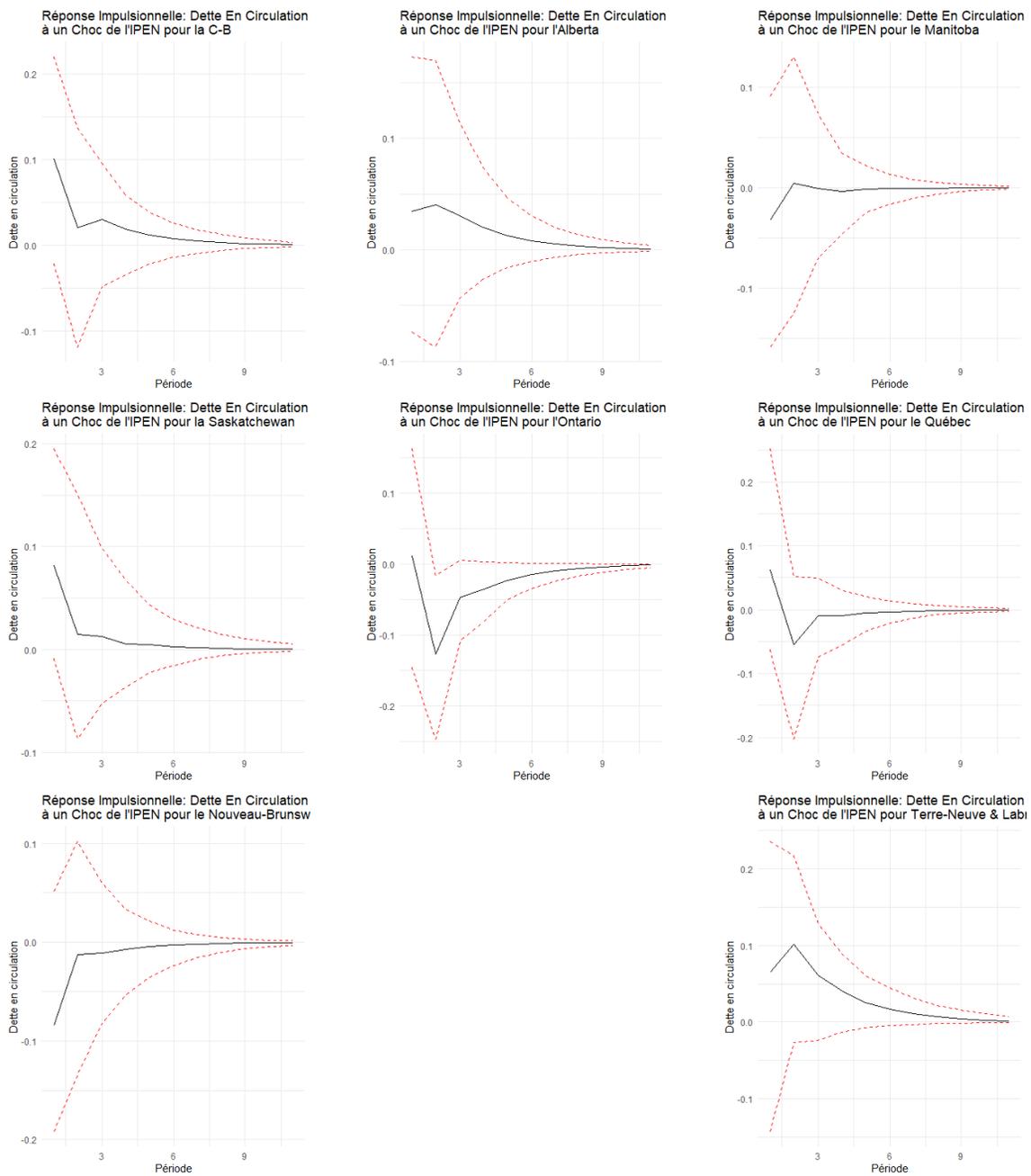


FIGURE 9 – Graphiques de fonction de réponse du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB à un choc de l'IPEN

Dans la section suivante, nous analysons le même modèle SVAR, mais en utilisant les valeurs absolues de l'indice IPEN.

Modélisation avec les données de l'IPEN en valeur absolue

Cette section a pour but d'examiner l'impact du choc de l'IPEN sur la dette en circulation par rapport au PIB, dans un contexte où les valeurs de l'IPEN sont considérées en valeur absolue. Il est important de noter qu'en changeant ce paramètre nous imposons que les valeurs extrêmes (de sécheresse ou d'humidité) auront le même impact sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB.

Tel que mentionné dans la section précédente, nous émettons l'hypothèse que les valeurs extrêmes de l'indice IPEN, en particulier les valeurs négatives, pourraient influencer de manière significative les résultats du modèle SVAR pour certaines provinces. En effet, dans cette modélisation, les épisodes humides et secs auront un impact symétrique. Nous supposons donc qu'en excluant les valeurs négatives des données de l'IPEN, l'effet du choc de l'IPEN sur la dette en circulation par rapport au PIB devrait être positif. Ci-dessous, les graphiques des résultats pour toutes les provinces.

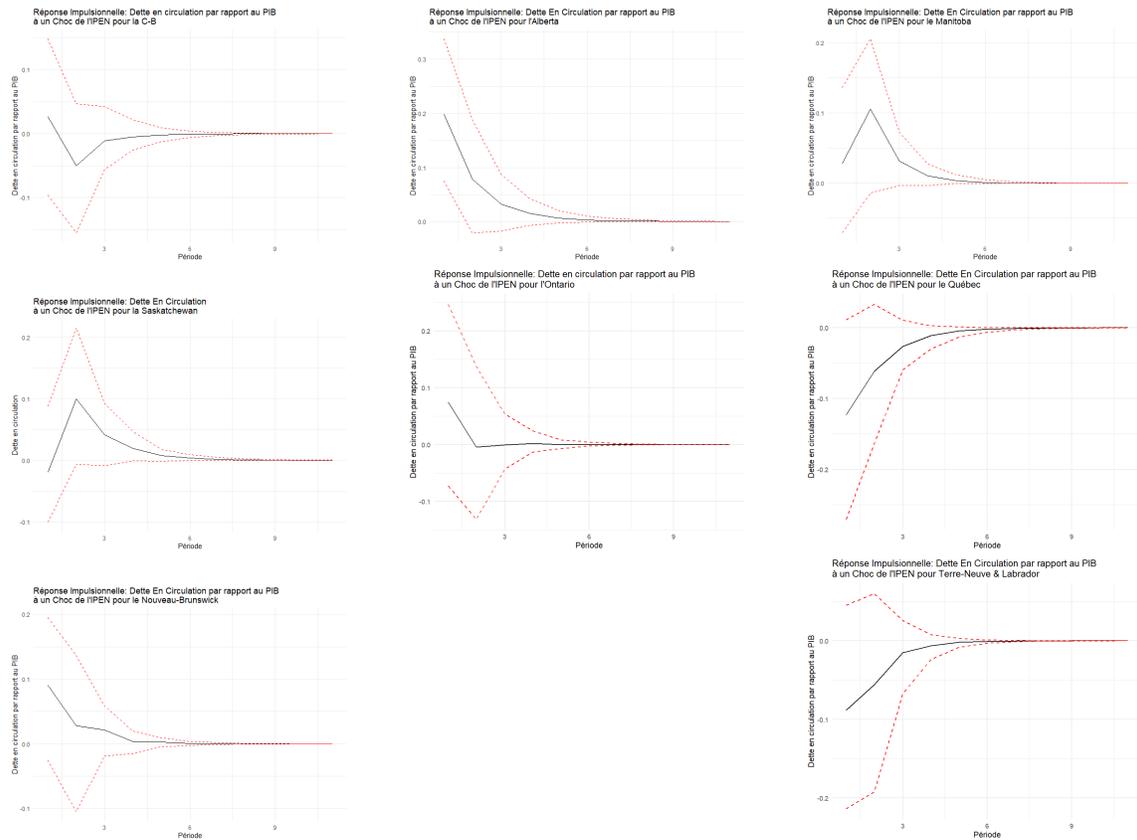


FIGURE 10 – Graphiques de fonction de réponse du ratio de la dette en circulation par rapport au PIB à un choc de l’IPEN en valeur absolue

Pour la majorité des provinces, les résultats indiquent un choc initial positif de l’IPEN sur la dette en circulation par rapport au PIB. Cependant, cette tendance ne se vérifie pas pour le Québec, Terre-Neuve-et-Labrador et la Saskatchewan.

Prenons l’exemple du Québec : bien que le résultat du graphique diffère de celui obtenu dans la section précédente, il montre toujours qu’un choc de l’IPEN sur la dette en circulation est négatif. L’impact de la valeur absolue de l’indice IPEN semble être plus marqué dans les provinces où les valeurs sont plus extrêmes, notamment en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan.

La différence la plus marquée se trouve dans le résultat de l'Alberta. Alors que le graphique sans valeur absolue montrait une réponse impulsionnelle oscillant entre 0,05 et 0 sur une période de neuf mois, le graphique ci-dessus présente un choc initial plus prononcé, atteignant 0,2. Cela pourrait donc suggérer que pour cette province, un choc de l'IPEN a un effet plus marqué lorsqu'il est pris en valeur absolue (résultats en annexe F). Finalement, comme les résultats sont relativement similaires à ceux obtenus dans la section précédente, il est pertinent de se demander si les chocs d'humidités (valeurs positives) ont un impact plus significatif que les chocs de sécheresses (valeurs négatives). Une modélisation SVAR future pourrait donc mettre un poids plus important pour les valeurs positives.

Modélisation avec les données en panel

Dans cette section, nous nous sommes orientés vers une analyse des données des provinces en panel (voir résultats en annexe E). L'objectif de cette modélisation est d'intégrer des données en panel, caractérisées par la présence de plusieurs unités observées sur de multiples périodes. Plus précisément, nous avons regroupé les données de l'ensemble des provinces sur toute la période couverte par l'échantillon, en incluant les principales variables macroéconomiques ainsi que l'indice de l'IPEN.

L'utilisation d'un modèle autorégressif vectoriel (VAR) appliqué à des données en panel permet de capturer les relations dynamiques entre ces variables tout en prenant en compte l'hétérogénéité des unités transversales. Ce cadre méthodologique offre une modélisation où chaque variable est expliquée à la fois par ses propres retards et par ceux des autres variables, et ce, pour chaque province. Cette approche permet ainsi d'analyser les interactions temporelles et structurelles au sein des données, tout en intégrant les spécificités propres à chaque unité géographique.

Pour cette modélisation, nous avons adopté la méthode des moments généralisés (*GMM*) comme estimateur. Cette approche permet de traiter l'endogénéité des variables explicatives et d'améliorer l'efficacité des estimations en s'appuyant sur des conditions de moments et des variables instrumentales pour l'estimation des para-

mètres (Zivot, 2005).

Afin d'éliminer les effets fixes et de réduire les biais potentiels, nous avons appliqué une transformation en différences premières, reposant sur la déviation orthogonale avancée. Cette technique permet de limiter l'influence des effets individuels inobservés tout en préservant la structure dynamique du modèle. Par ailleurs, afin de minimiser le risque de surajustement, nous avons opté pour une estimation *GMM* en une seule étape, avec un unique retard.

Nous avons choisi la modélisation en panel afin d'évaluer dans quelle mesure le choc de l'indice IPEN influe sur les autres variables du modèle et si cet effet se révèle statistiquement plus significatif que précédemment.

L'ordre des variables retenu pour cette analyse demeure inchangé, à savoir : l'indice de l'IPEN, le taux d'intérêt à 10 ans, l'inflation, le taux de chômage et le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB.

Les résultats obtenus sont présentés ci-après.

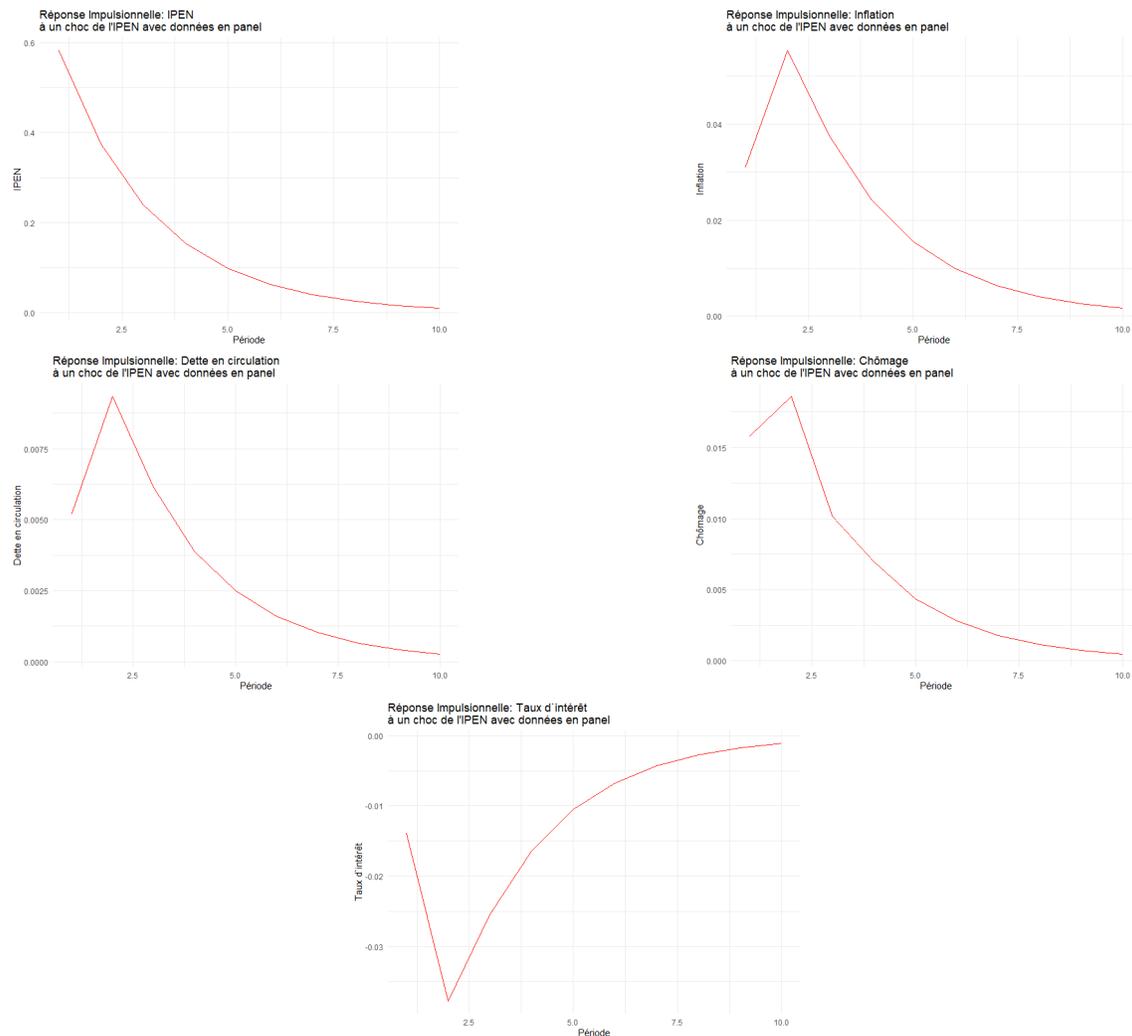


FIGURE 11 – Graphiques de fonction de réponse à un choc sur l'IPEN avec données en panel

L'analyse de la figure 11 met en évidence un choc de l'indice IPEN moins prononcé de manière générale, et même négatif pour le taux d'intérêt. De plus, son impact sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB reste limité. Plus précisément, le choc initial, d'environ 0,2, s'atténue progressivement au fil des périodes suivantes.

Ces résultats suggèrent qu'en utilisant une modélisation en panel pour les huit pro-

vinces canadiennes de l'échantillon, l'indice IPEN n'a pas d'effet significatif sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB à court et moyen terme. Cette observation corrobore les résultats précédents, selon lesquels l'impact du choc de l'IPEN varie selon les provinces. En particulier, l'effet est plus marqué dans les provinces bénéficiant d'une valorisation économique plus élevée. Par ailleurs, pour ces provinces, le choc semble entraîner une réduction de la dette en circulation à moyen terme.

Discussion sur les résultats

Il est essentiel de souligner certains éléments pouvant influencer les résultats obtenus. Tout d'abord, lorsqu'un événement lié aux changements climatiques se produit, tel qu'une inondation, le gouvernement fédéral intervient généralement en apportant un soutien financier. Par exemple, comme mentionné dans l'introduction de ce mémoire, le gouvernement fédéral avait accordé une aide d'environ 5 milliards de dollars à la suite des pluies torrentielles de 2021.

Cette aide financière contribue directement à alléger le fardeau de l'endettement provincial, réduisant ainsi l'impact des catastrophes naturelles sur les finances publiques des provinces touchées.

Deuxièmement, la variation de l'indice IPEN, qui oscille entre -2,0 et 2,0, peut influencer certains résultats en fonction de son signe. Autrement dit, les périodes de sécheresse ou d'humidité extrêmes — correspondant aux valeurs les plus élevées ou les plus basses de l'indice — n'ont pas nécessairement le même impact sur le ratio de la dette par rapport au PIB.

Afin d'approfondir cette analyse, nous avons refait la modélisation en utilisant l'indice IPEN en valeur absolue. Les résultats suite à ce changement indiquent que le choc de l'IPEN sur le ratio de la dette en circulation par rapport au PIB est plus prononcé pour les provinces où les fluctuations de l'indice sont les plus marquées,

notamment en Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan.

Ceci étant dit, la différence la plus marquée dans les résultats obtenus concerne la province de l'Alberta.

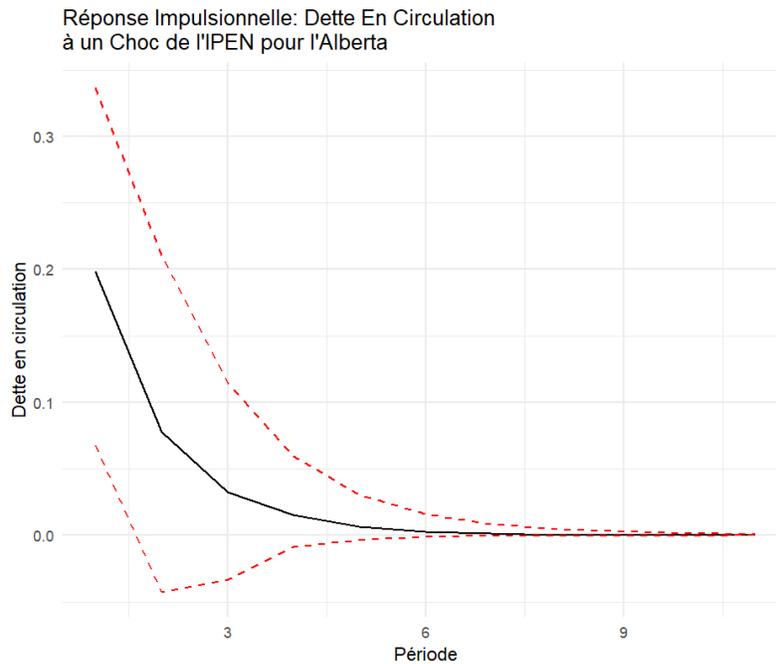


FIGURE 12 – Graphique de fonction de réponse de la dette en circulation à un choc sur l'IPEN en valeur absolue pour l'Alberta

Alors que le graphique sans valeur absolue montrait une réponse impulsionnelle oscillant entre 0,05 et 0 sur une période de 9 mois, le graphique ci-dessus présente un choc initial plus prononcé, atteignant 0,2. Cela pourrait suggérer qu'un choc de l'IPEN a en réalité un effet plus marqué lorsqu'il est pris en valeur absolue (résultats en annexe F). Ceci signifierait que peu importe s'il y a de fortes pluies ou une période de grosse sécheresse, dès que l'indice IPEN affiche une valeur plus extrême il pourrait y avoir un impact plus significatif sur la valeur de la dette en circulation par rapport au PIB.

Étant donné que l'hypothèse initiale vise à démontrer l'existence d'un lien direct entre les événements liés au réchauffement climatique et l'endettement des provinces canadiennes, nous estimons qu'une analyse plus approfondie du modèle devrait être menée en utilisant l'indice IPEN en valeur absolue.

En effet, lorsque l'indice atteint une valeur extrême, qu'il s'agisse d'une sécheresse ou d'une forte humidité, il est plus probable que des dépenses gouvernementales en découlent, notamment pour faire face à une inondation ou à un épisode de sécheresse. Les résultats obtenus pour la province de l'Alberta illustrent bien cette dynamique.

Bien que l'analyse des résultats à l'aide de l'indice IPEN en valeur absolue fournisse des éléments intéressants, la modélisation en panel ne s'avère pas aussi concluante. En effet, l'utilisation d'un estimateur *GMM* dans un cadre de panel ne semble pas apporter davantage de clarté à notre analyse.

Par ailleurs, étant donné que les provinces sont affectées de manière inégale par les épisodes de sécheresse ou de forte humidité, il apparaît plus pertinent d'examiner l'impact de l'IPEN sur la dette en circulation par rapport au PIB de manière individuelle (et non en panel). Cette approche permet d'extraire des informations plus précises et exploitables pour chaque province.

CONCLUSION

En conclusion, malgré le fait que ce mémoire ne peut pas tirer de conclusions significatives, il ouvre la porte à d'avantages de recherche sur l'impact des changements climatiques sur la situation financière des différents niveaux gouvernementaux canadiens.

Effectivement, la modélisation ne trouve pas de résultats significatifs, mais, elle offre quand même quelques pistes de réflexion intéressantes. En premier lieu, nous notons que pour les provinces de l'Ontario, du Québec et du Nouveau-Brunswick, un choc de l'IPEN a un impact négatif sur le ratio de dette en circulation par rapport au PIB.

Historiquement, les valeurs les plus extrêmes de l'IPEN se trouvent dans les provinces de l'Ouest, telles que la Colombie-Britannique, l'Alberta, le Manitoba et la Saskatchewan. Cela pourrait expliquer pourquoi les courbes de chocs sont plus significatives pour ces provinces, que l'IPEN soit considéré en valeur directe ou absolue.

De plus, comme l'échantillon du présent papier se termine en février 2020 il ne prend pas en compte les désastres naturels des dernières années. Il serait donc intéressant de voir s'il y a maintenant des valeurs extrêmes pour les autres provinces, ou même si le compte des valeurs extrêmes augmente pour les provinces de l'ouest. Une telle tendance pourrait indiquer qu'avec la croissance à venir des événements reliés aux changements climatiques, il est attendu que l'indice de l'IPEN ait des valeurs plus extrêmes et donc que cette modélisation puisse avoir des résultats plus significatifs dans les prochaines années.

Il est important aussi de souligner que nous utilisons ici l'IPEN comme indice des changements climatiques, mais cette même modélisation pourrait être faite avec un indice qui mesure les changements de températures ou d'émission de gaz à effet de serre. Par ailleurs, une future étude sur ce sujet pourrait intégrer le rôle du financement fédéral lors de tels événements afin d'évaluer son impact sur les besoins de financement des provinces. Cette prise en compte permettrait de mieux comprendre dans quelle mesure l'aide fédérale atténue les pressions budgétaires provinciales en période de sécheresse ou d'humidité extrême.. Les prochaines années seront décisives quant à l'orientation que prendra le pays vis-à-vis sa réglementation sur la préservation de l'environnement. Afin de mieux orienter ces décisions, il est nécessaire qu'il y ait davantage de recherche sur les répercussions financières d'événements climatiques sur l'économie des gouvernements canadiens.

ANNEXE A : Courbes des données des provinces

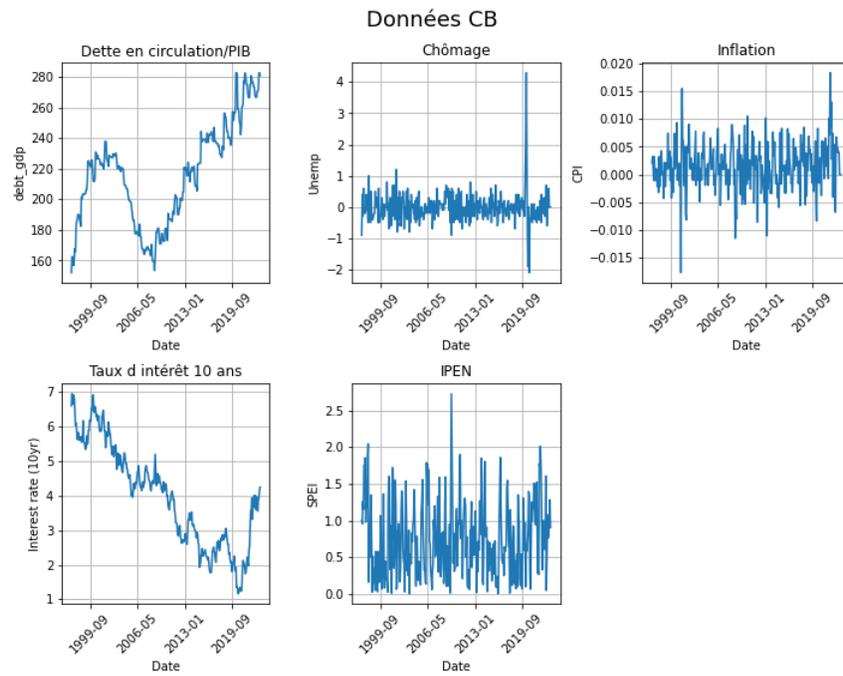


FIGURE 13 – Courbe des données de la Colombie-Britannique

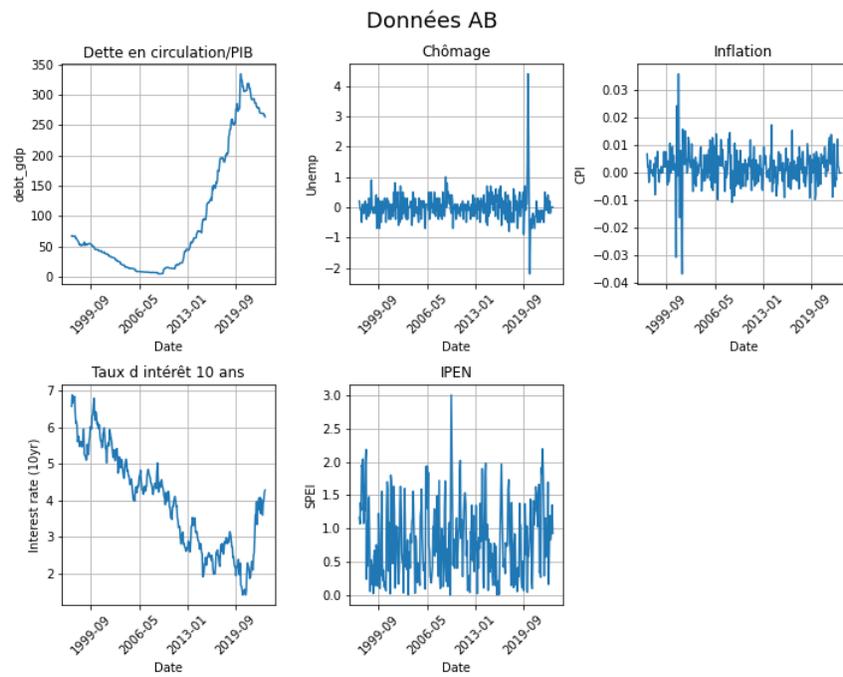


FIGURE 14 – Courbe des données de l'Alberta

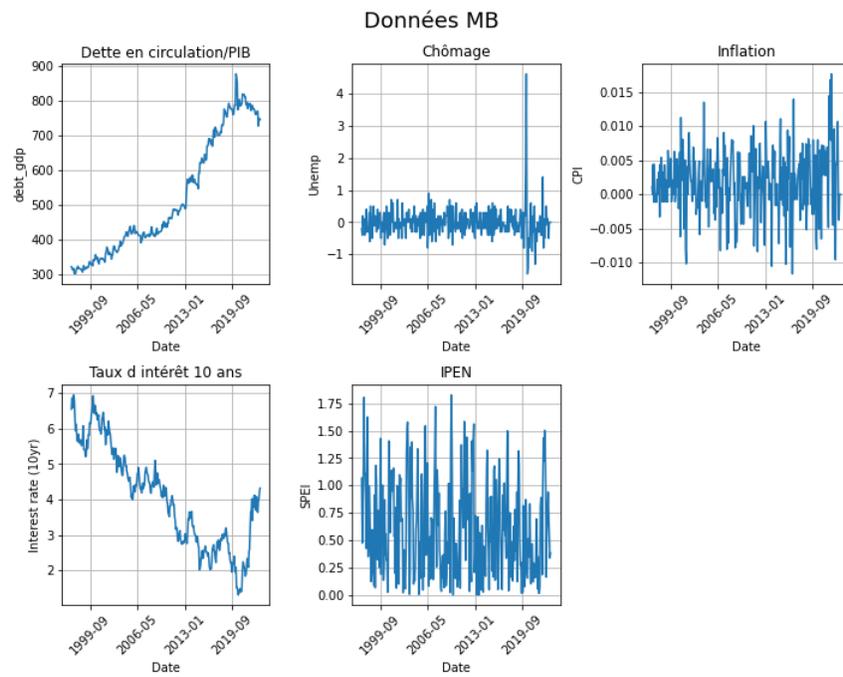


FIGURE 15 – Courbe des données de Manitoba

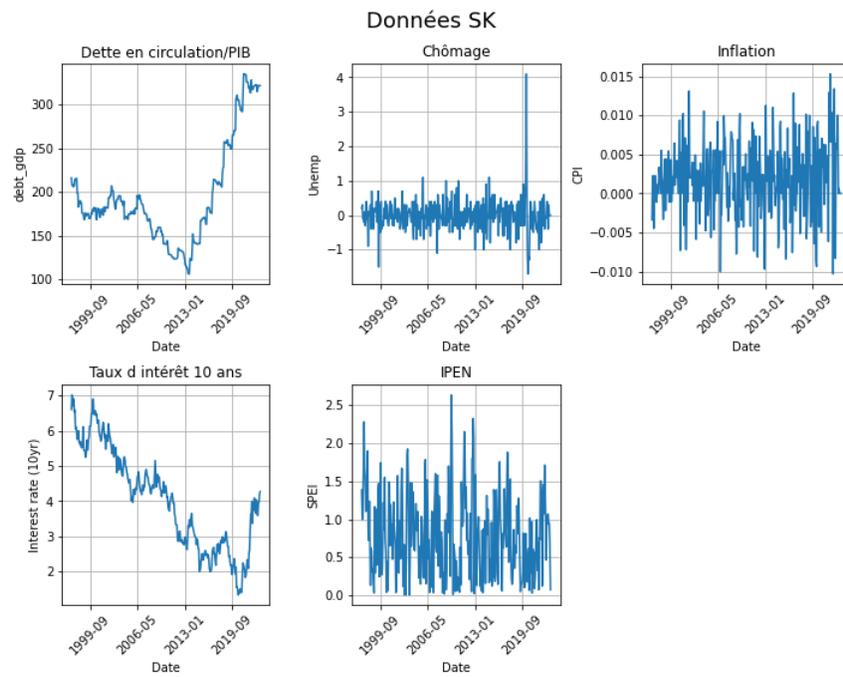


FIGURE 16 – Courbe des données de la Saskatchewan

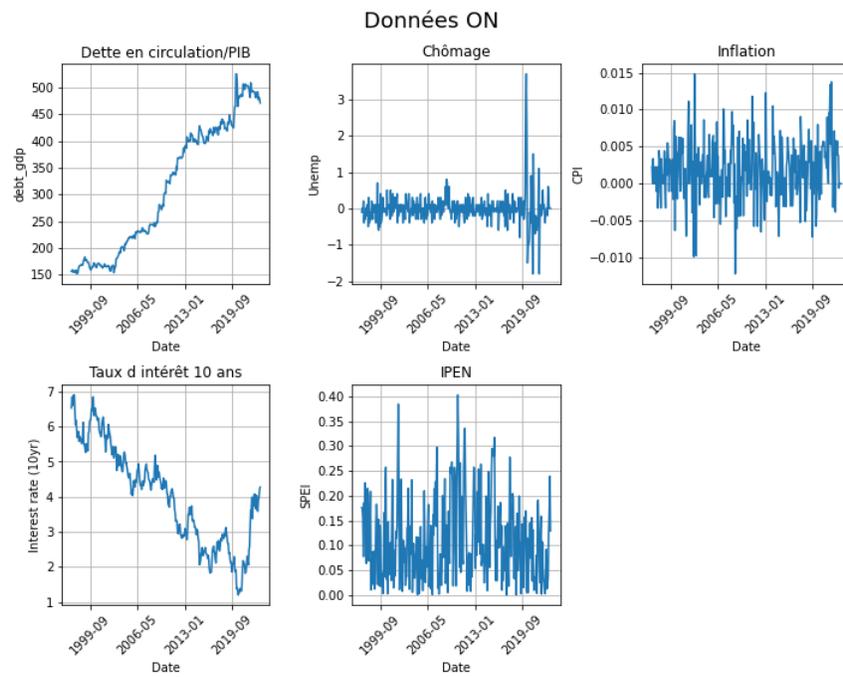


FIGURE 17 – Courbe des données de l'Ontario

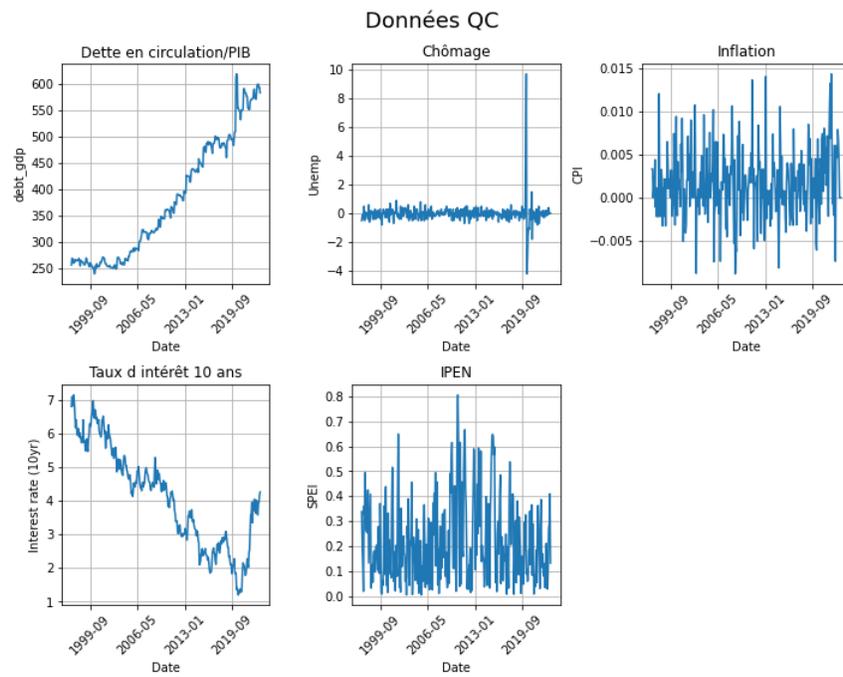


FIGURE 18 – Courbe des données du Québec

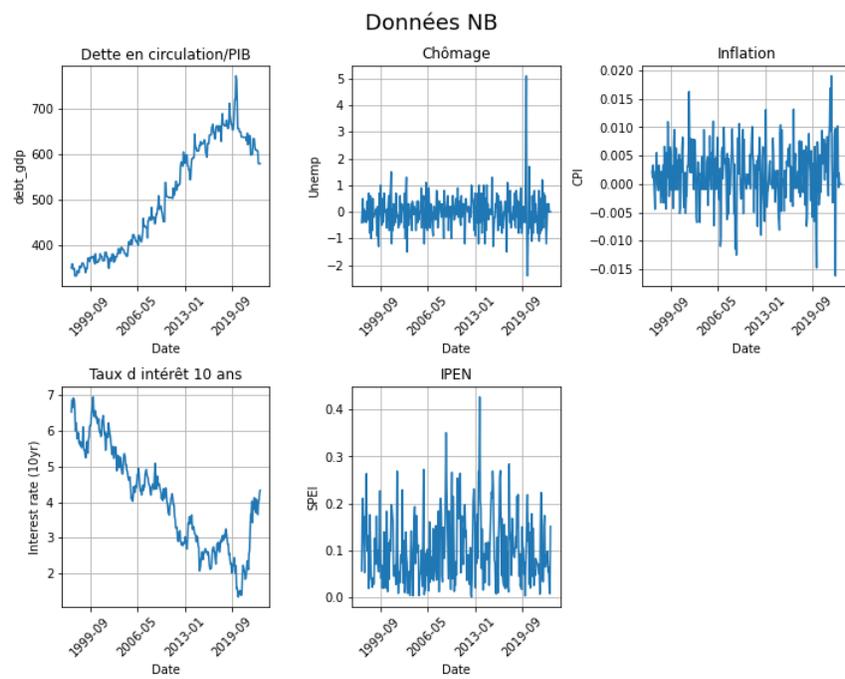


FIGURE 19 – Courbe des données du Nouveau Brunswick

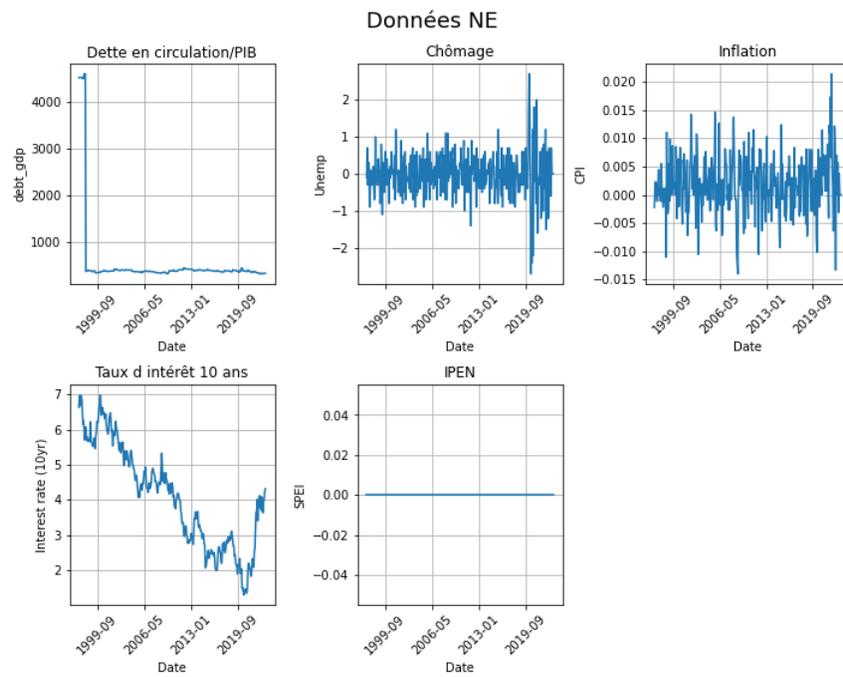


FIGURE 20 – Courbe des données de la Nouvelle-Écosse

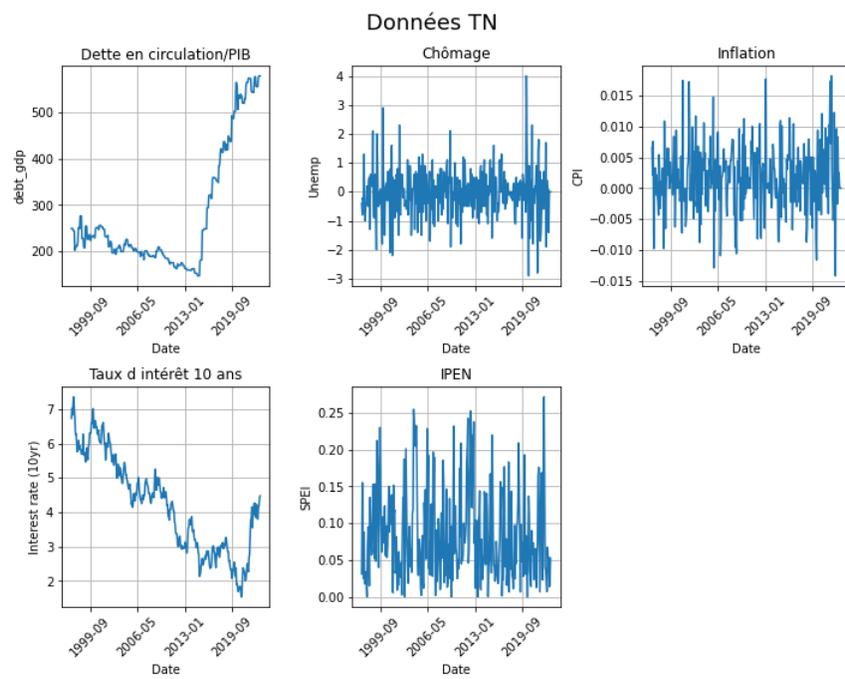


FIGURE 21 – Courbe des données de Terre-Neuve

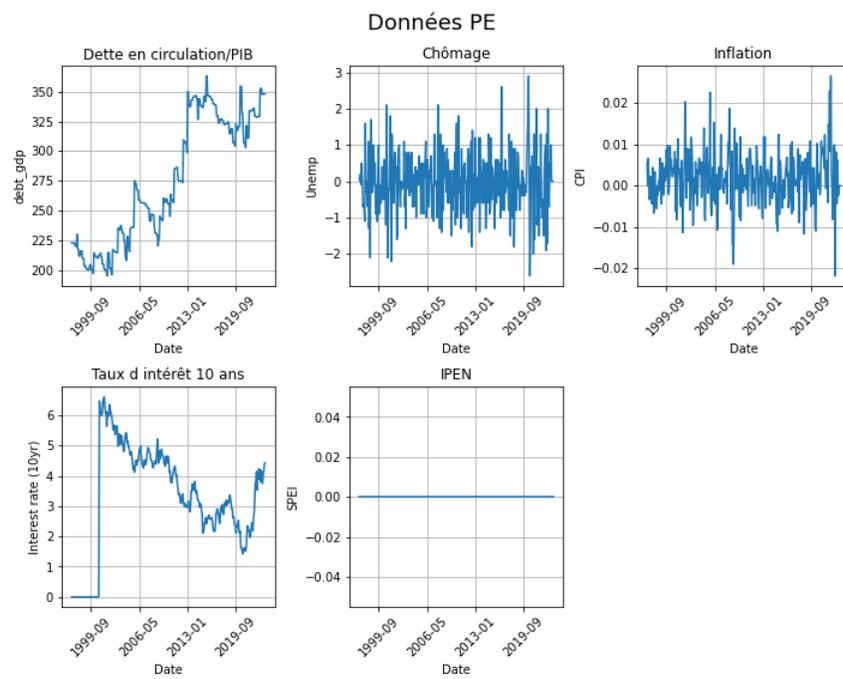


FIGURE 22 – Courbe des données de l'Île-du-Prince-Édouard

ANNEXE B : Matrices de Corrélacion des provinces

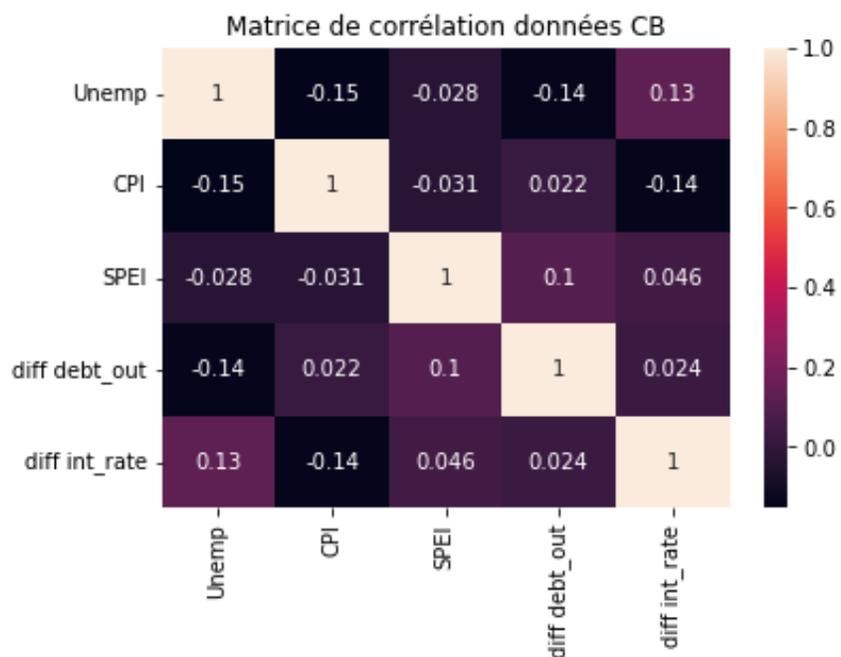


FIGURE 23 – Matrice de corrélation entre les données de la Colombie-Britannique

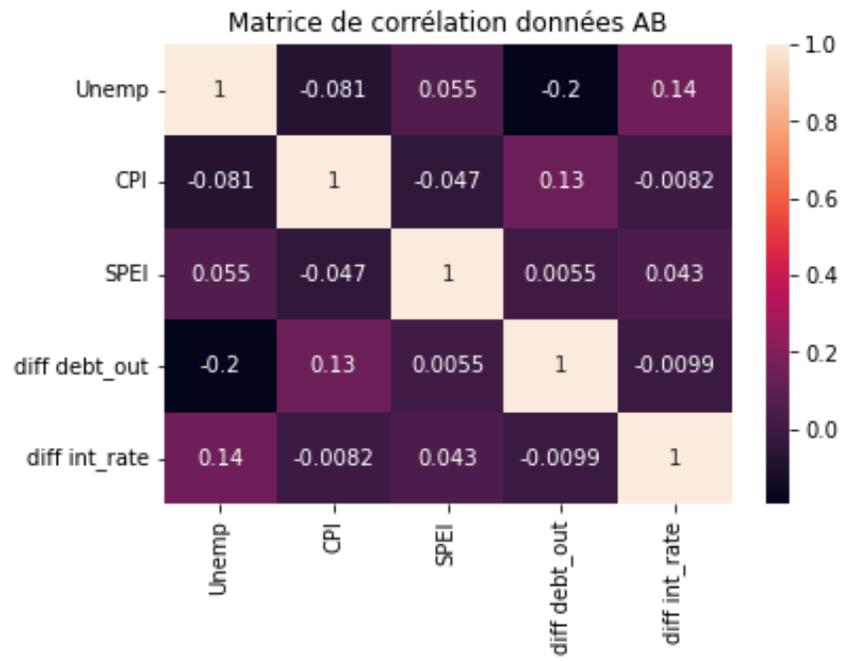


FIGURE 24 – Matrice de corrélation entre les données de l’Alberta

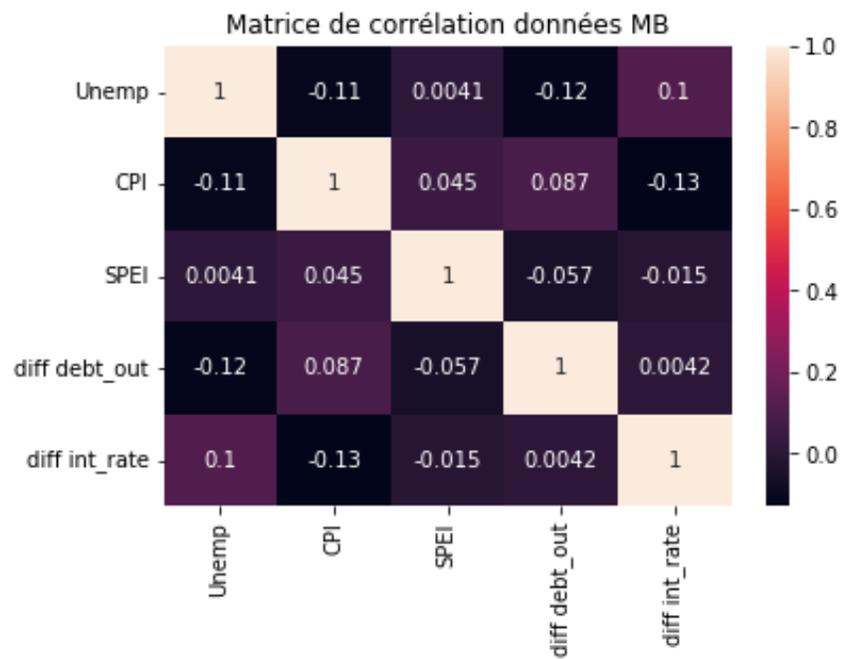


FIGURE 25 – Matrice de corrélation entre les données de Manitoba

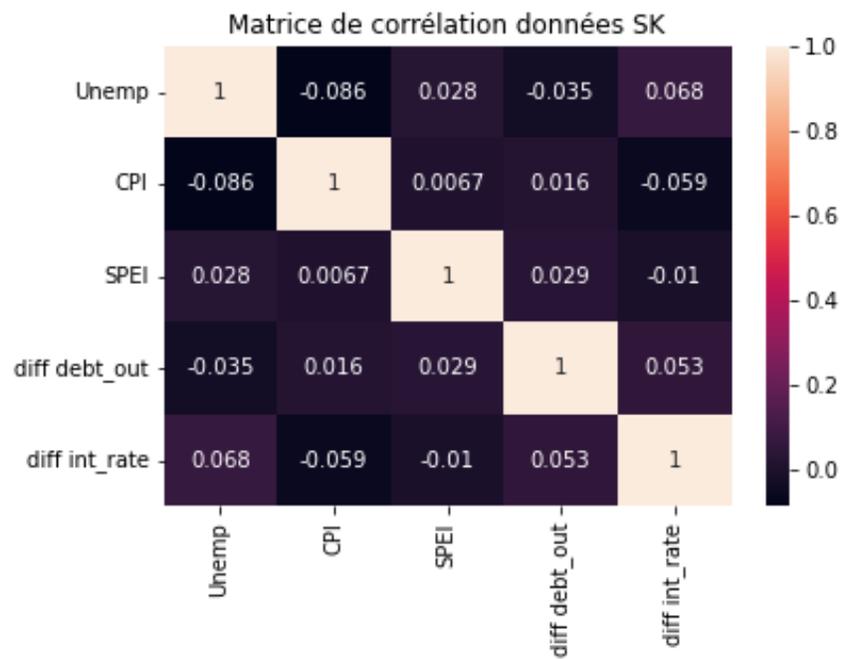


FIGURE 26 – Matrice de corrélation entre les données de la Saskatchewan

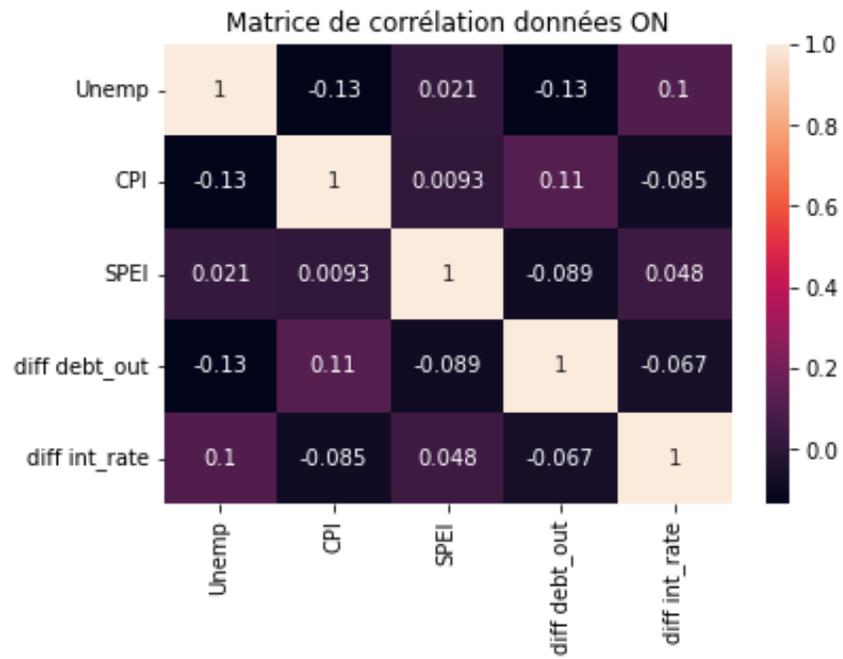


FIGURE 27 – Matrice de corrélation entre les données de l’Ontario

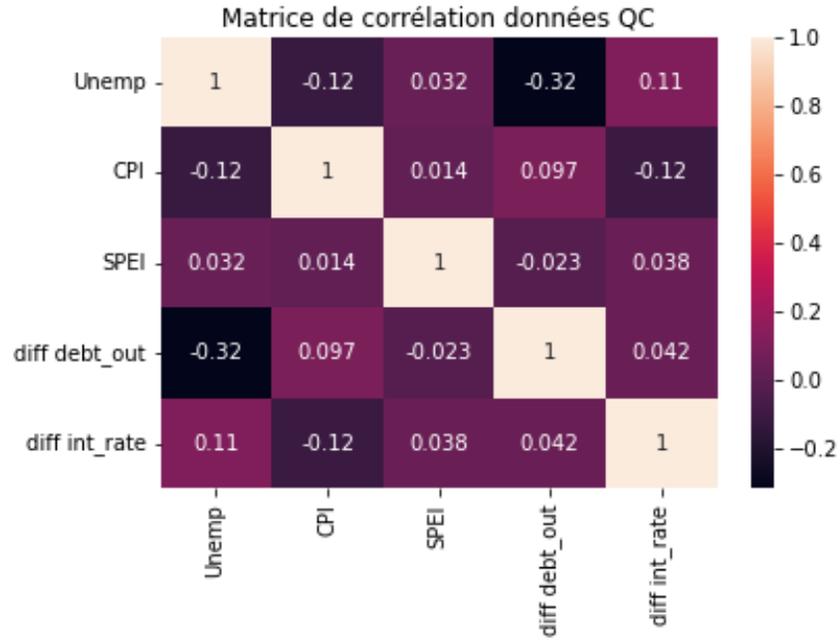


FIGURE 28 – Matrice de corrélation entre les données du Québec

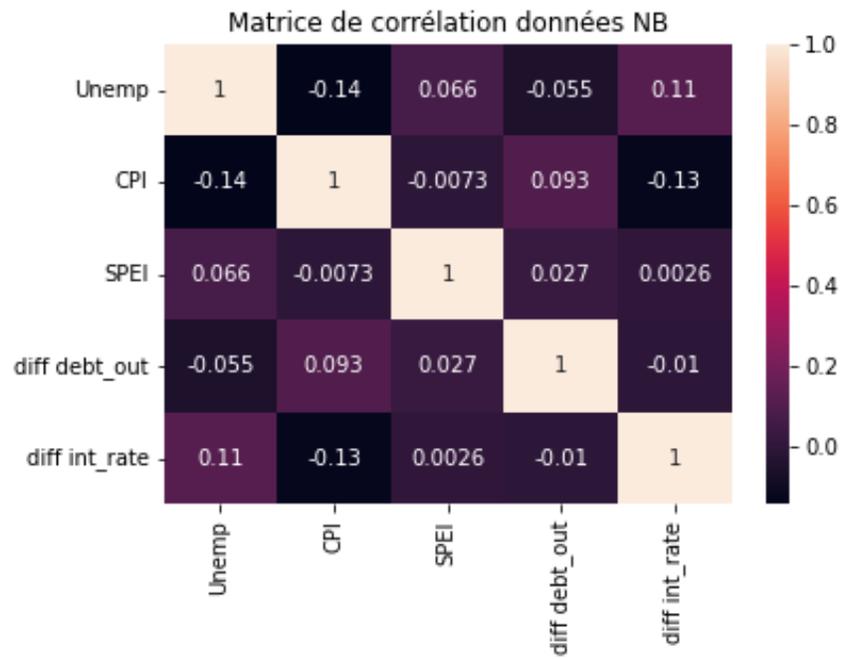


FIGURE 29 – Matrice de corrélation entre les données du Nouveau Brunswick

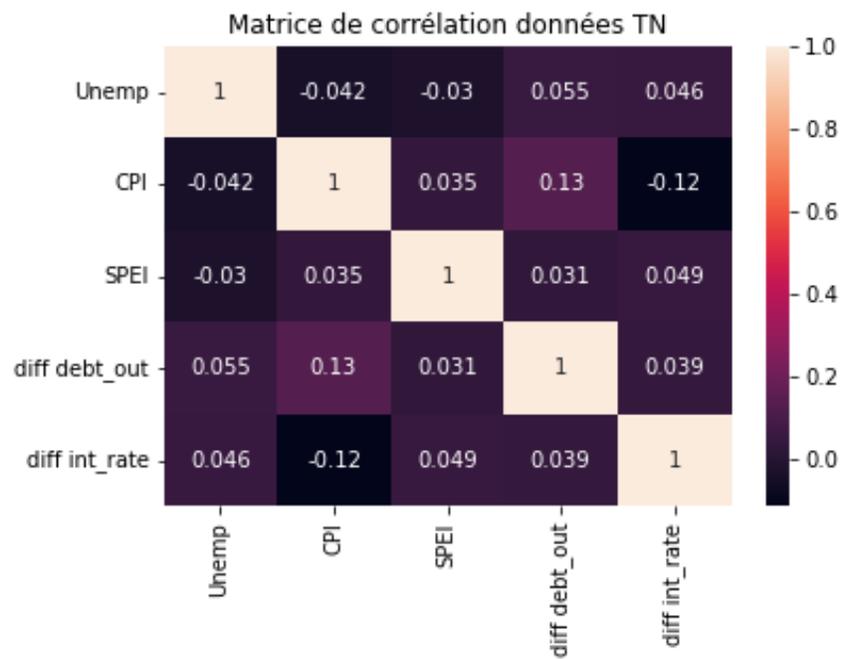


FIGURE 30 – Matrice de corrélation entre les données de Terre-Neuve

ANNEXE C : Résultats des test ACF des provinces

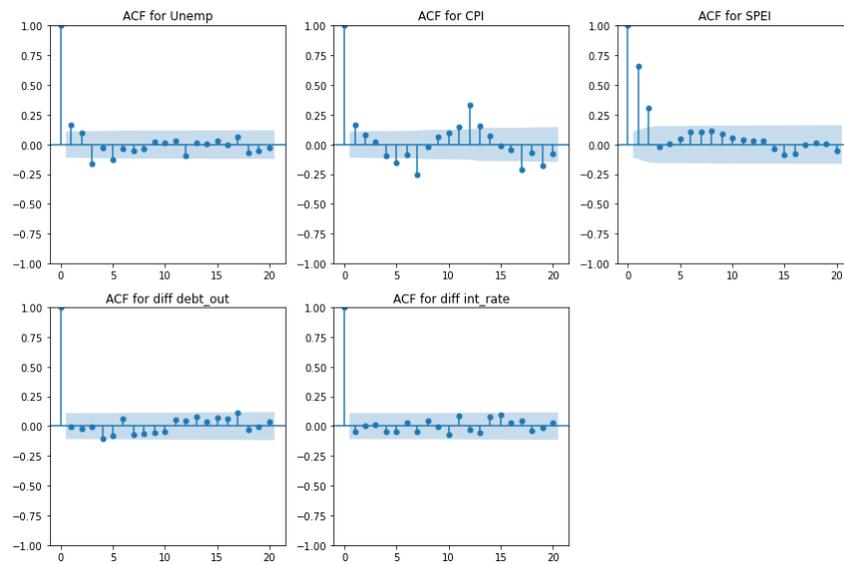


FIGURE 31 – Résultats test ACF pour la Colombie-Britannique

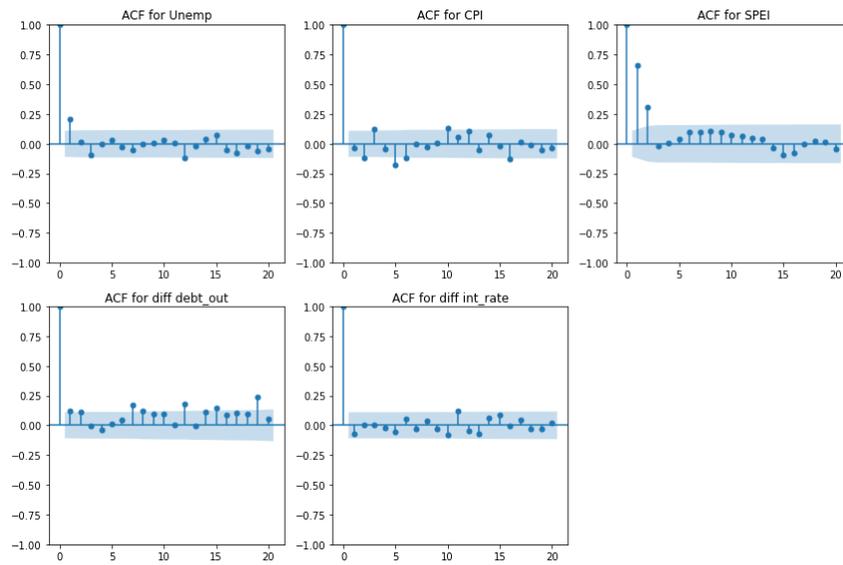


FIGURE 32 – Résultats test ACF pour l'Alberta

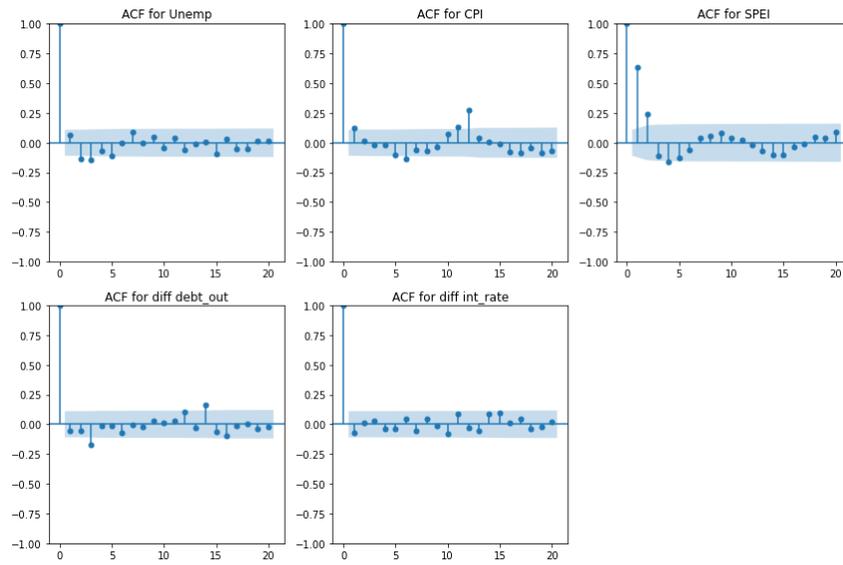


FIGURE 33 – Résultats test ACF pour Manitoba

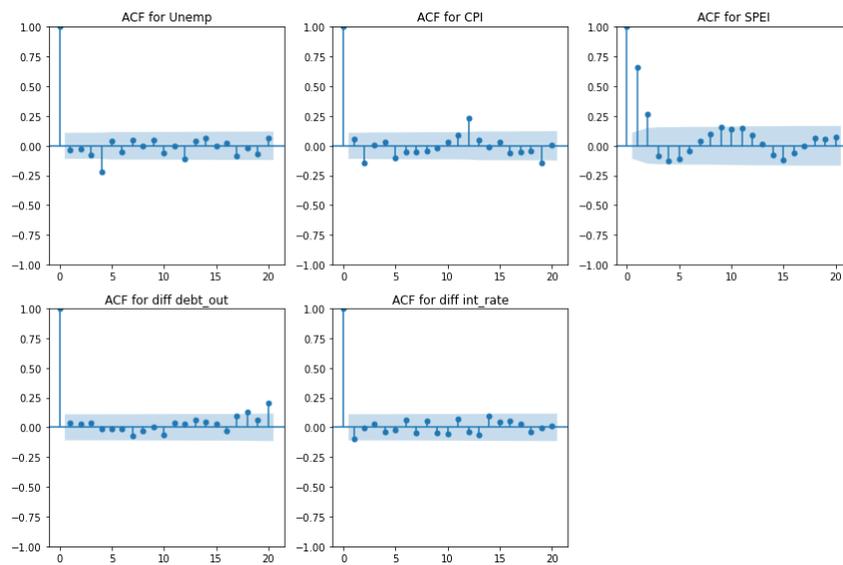


FIGURE 34 – Résultats test ACF pour la Saskatchewan

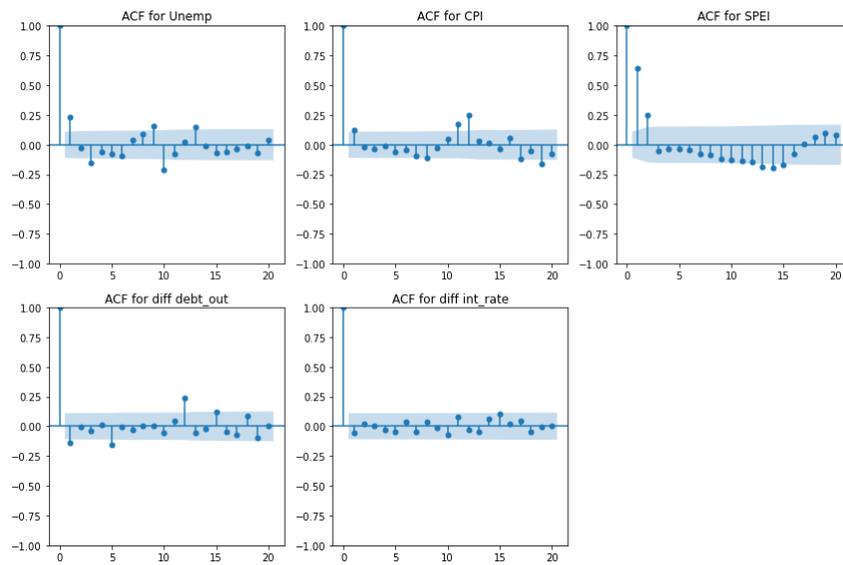


FIGURE 35 – Résultats test ACF pour l'Ontario

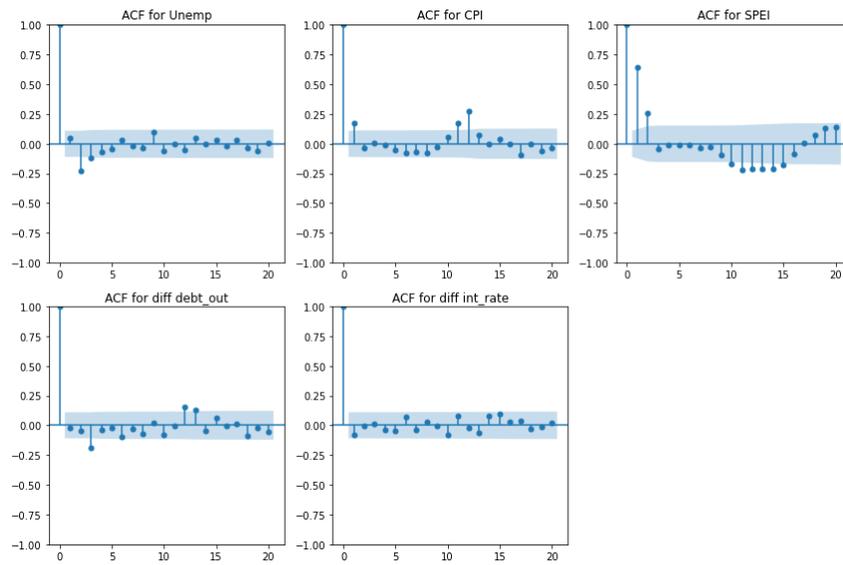


FIGURE 36 – Résultats test ACF pour le Québec

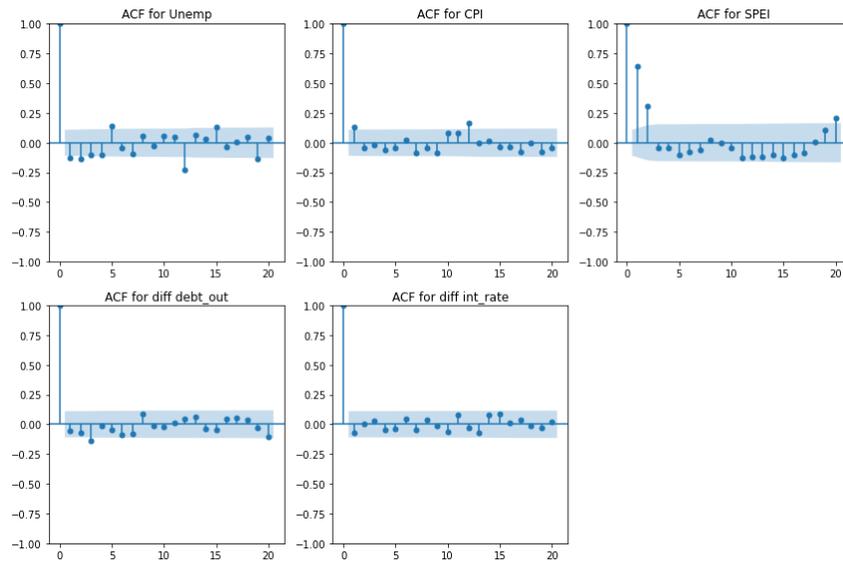


FIGURE 37 – Résultats test ACF pour le Nouveau Brunswick

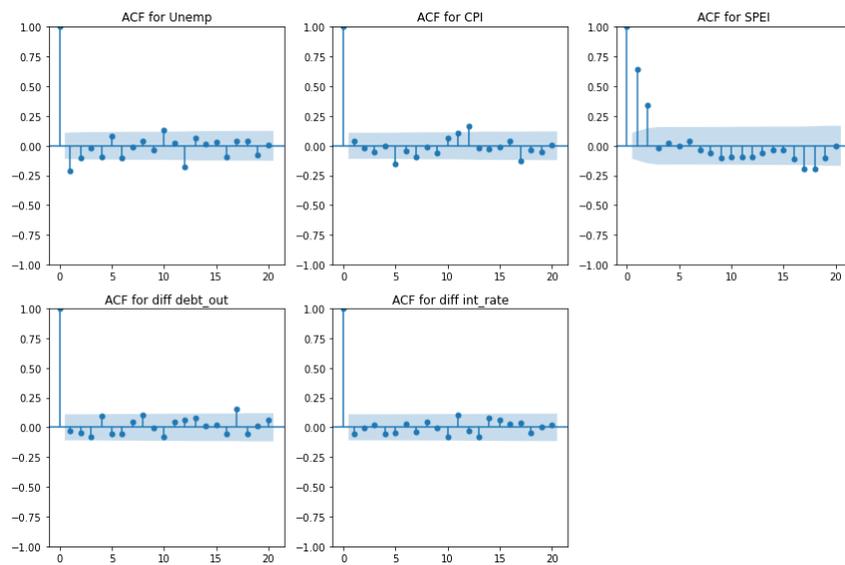


FIGURE 38 – Résultats test ACF pour Terre-Neuve

ANNEXE D : Graphiques de fonction de réponse des des données des provinces en fonction d'un choc de l'IPEN

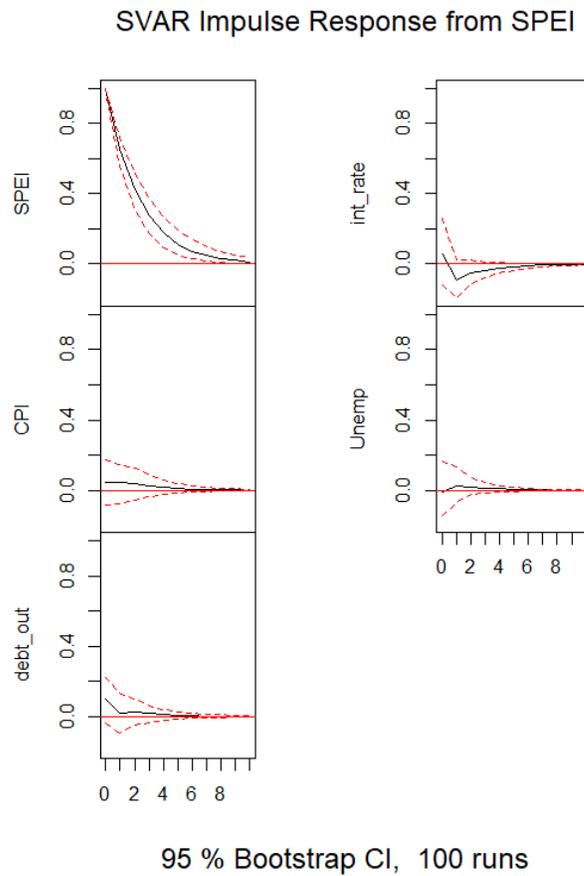
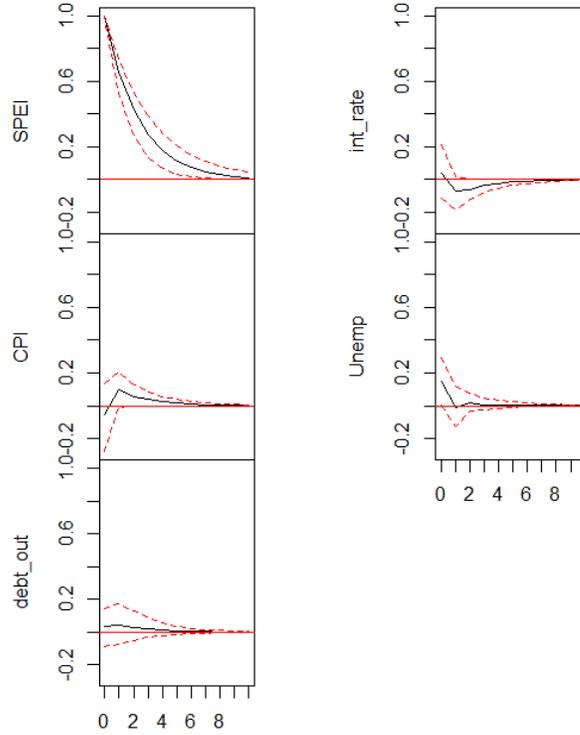


FIGURE 39 – Graphiques de fonction de réponse Colombie-Britannique en fonction d'un choc de l'IPEN

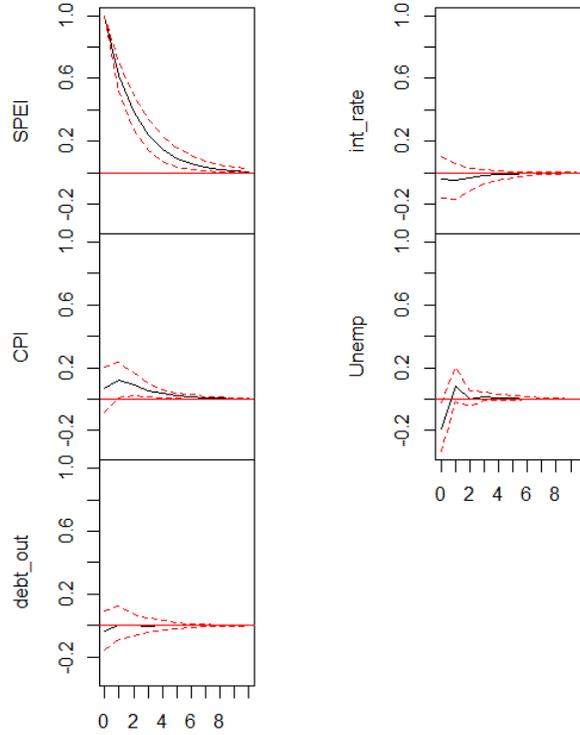
SVAR Impulse Response from SPEI



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 40 – Graphiques de fonction de réponse de l'Alberta en fonction d'un choc de l'IPEN

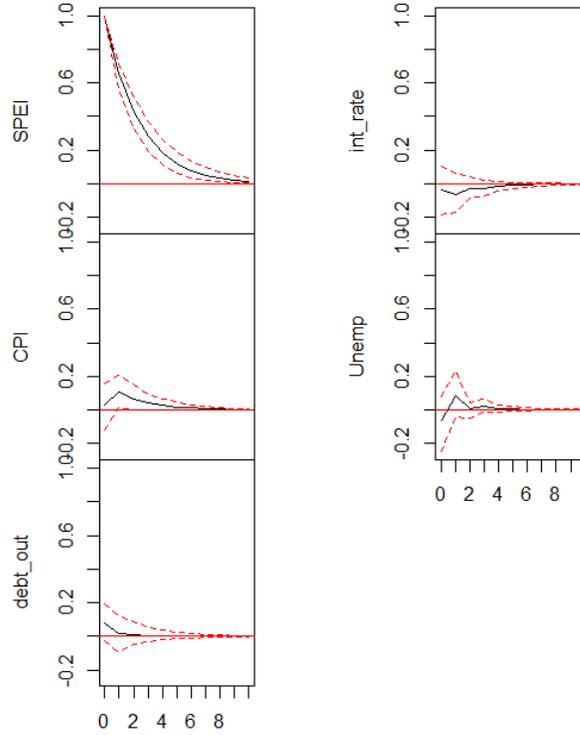
SVAR Impulse Response from SPEI



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 41 – Graphiques de fonction de réponse du Manitoba en fonction d'un choc de l'IPEN

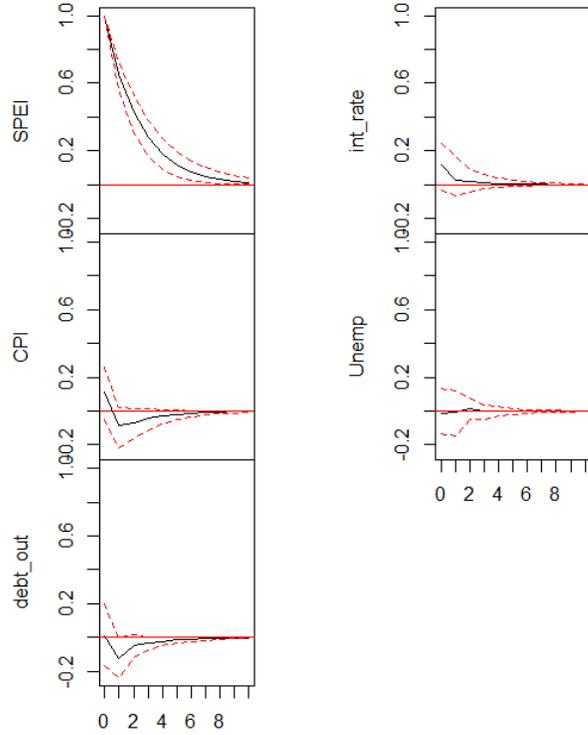
SVAR Impulse Response from SPEI



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 42 – Graphiques de fonction de réponse de la Saskatchewan en fonction d'un choc de l'IPEN

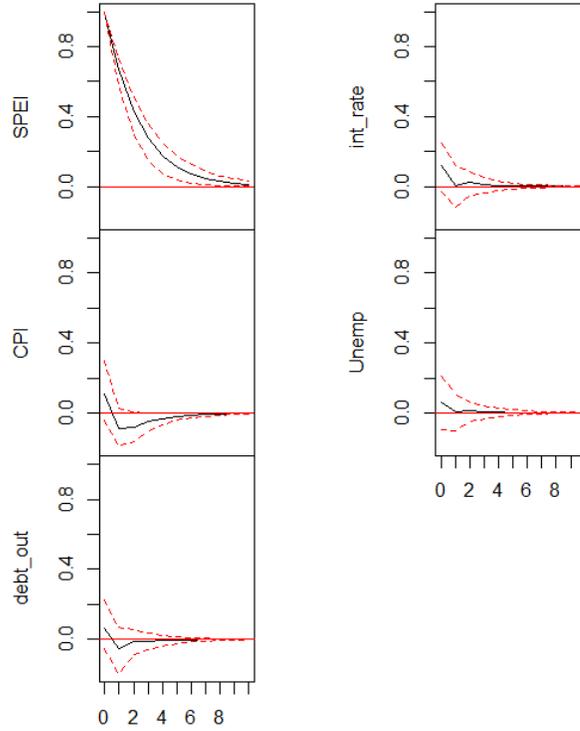
SVAR Impulse Response from SPEI



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 43 – Graphiques de fonction de réponse de l’Ontario en fonction d’un choc de l’IPEN

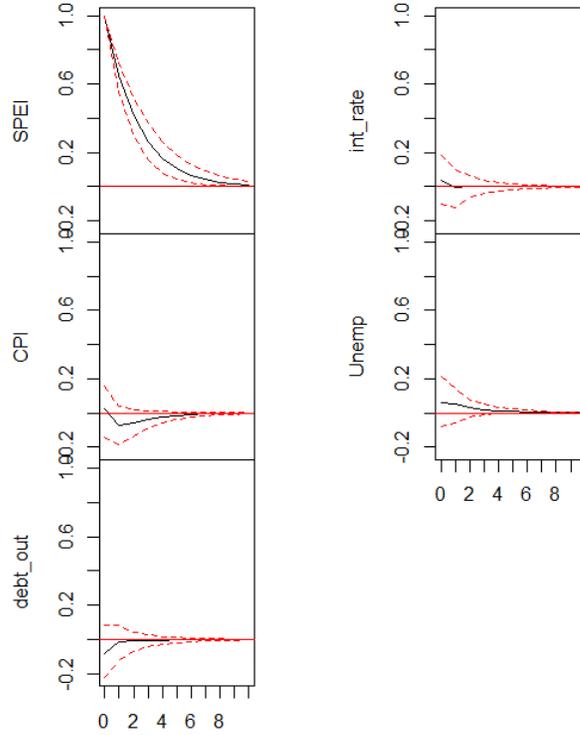
SVAR Impulse Response from SPEI



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 44 – Graphiques de fonction de réponse du Québec en fonction d'un choc de l'IPEN

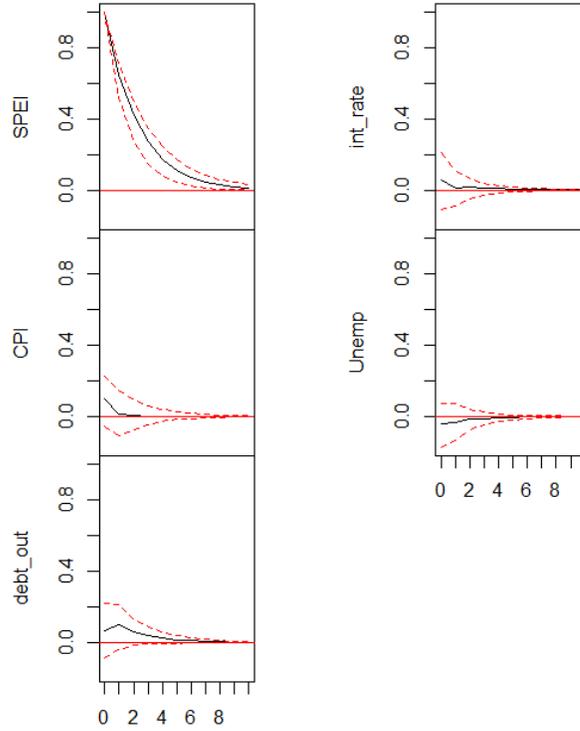
SVAR Impulse Response from SPEI



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 45 – Graphiques de fonction de réponse du Nouveau Brunswick en fonction d'un choc de l'IPEN

SVAR Impulse Response from SPEI



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 46 – Graphiques de fonction de réponse de Terre-Neuve en fonction d'un choc de l'IPEN

ANNEXE E : Résultats de la modélisation SVAR des données en Panel

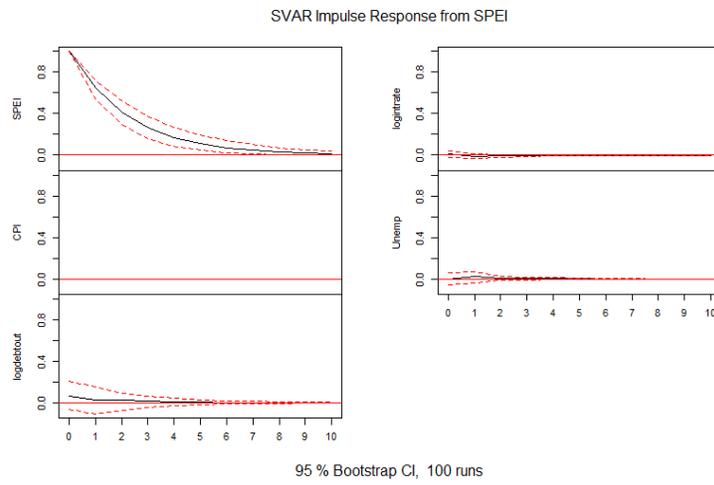


FIGURE 47 – Graphiques de fonction de réponse IPEN, données en panel

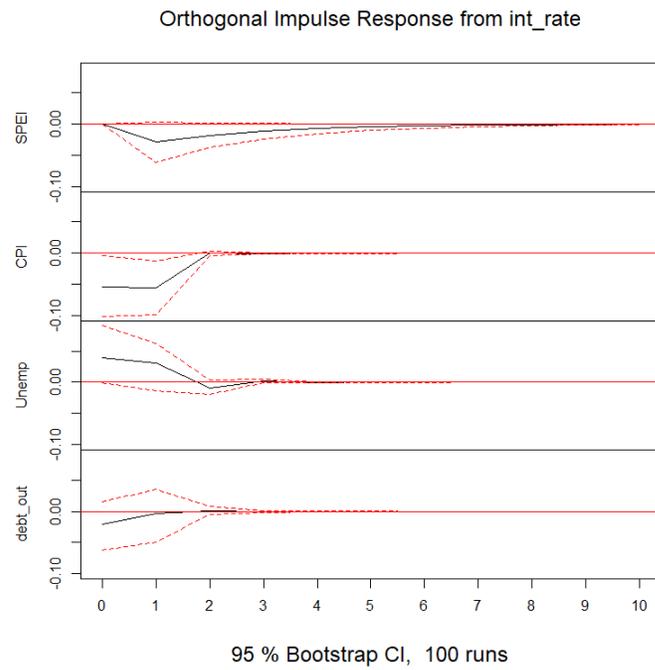
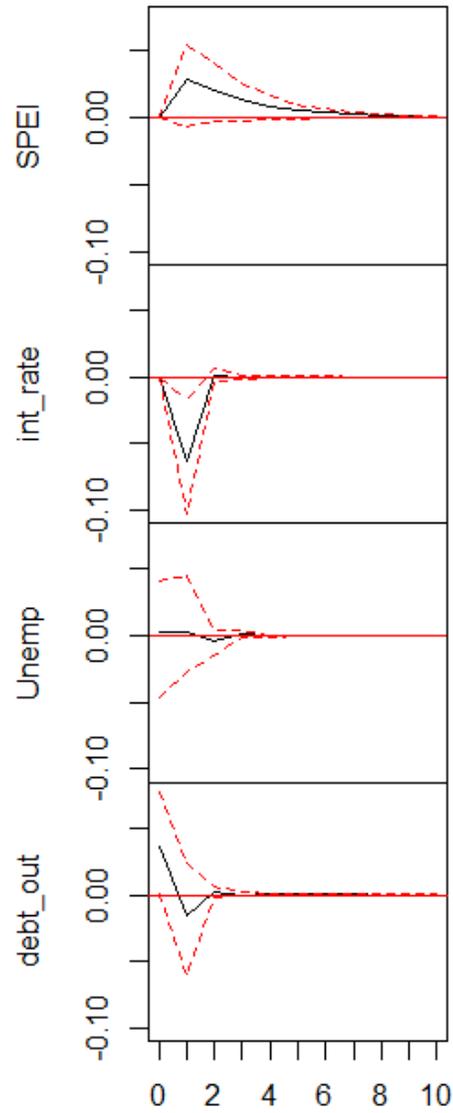


FIGURE 48 – Graphiques de fonction de réponse taux d'intérêt 10 ans, données en panel

Orthogonal Impulse Response from CPI



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 49 – Graphiques de fonction de réponse inflation, données en panel

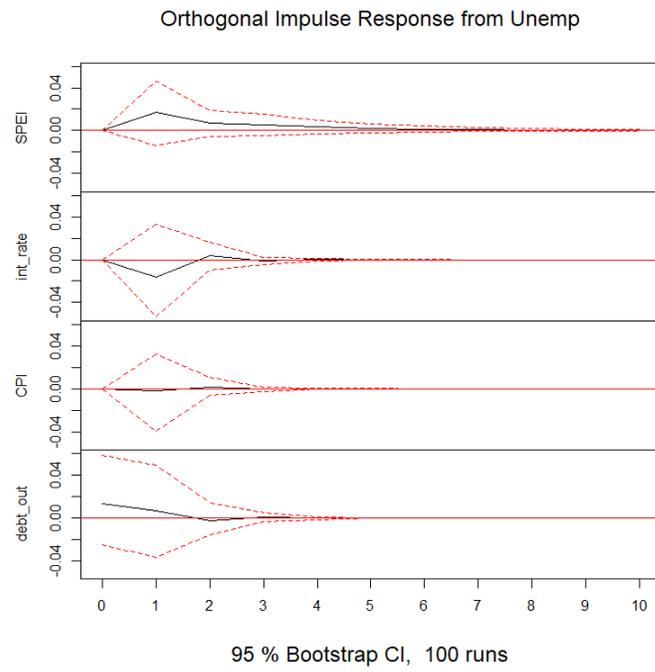
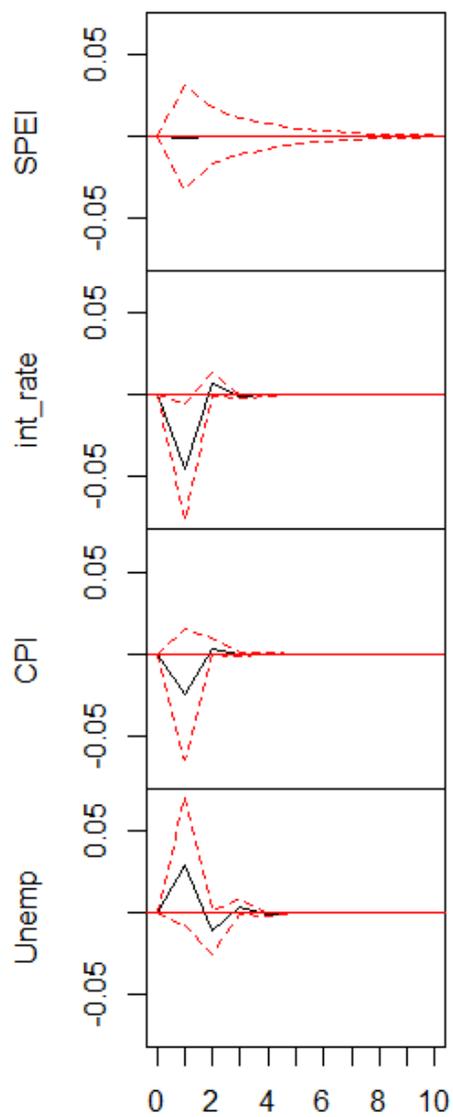


FIGURE 50 – Graphiques de fonction de réponse du chômage, données en panel

Orthogonal Impulse Response from debt_ou



95 % Bootstrap CI, 100 runs

FIGURE 51 – Graphiques de fonction de réponse dette en circulation, données en panel

ANNEXE F : Graphiques de fonction de réponse des données des provinces en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

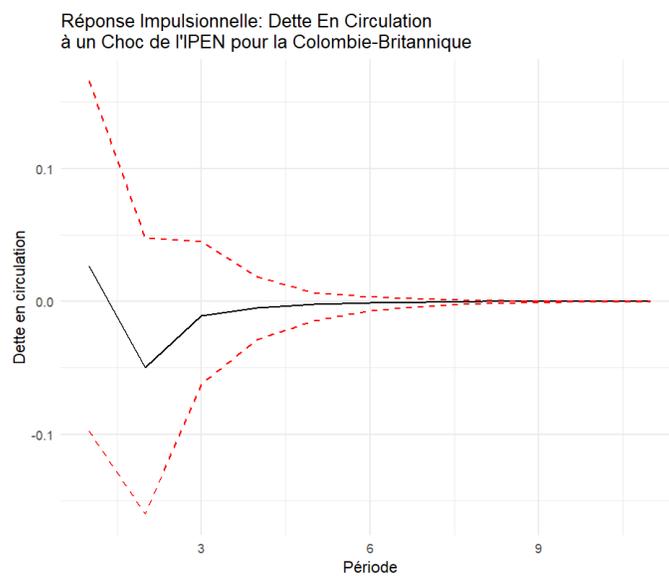


FIGURE 52 – Graphiques de fonction de réponse Colombie-Britannique en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

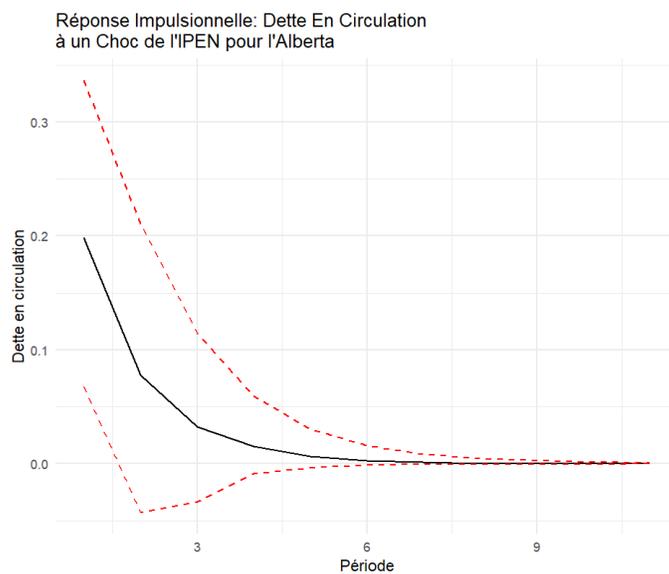


FIGURE 53 – Graphiques de fonction de réponse de l'Alberta en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

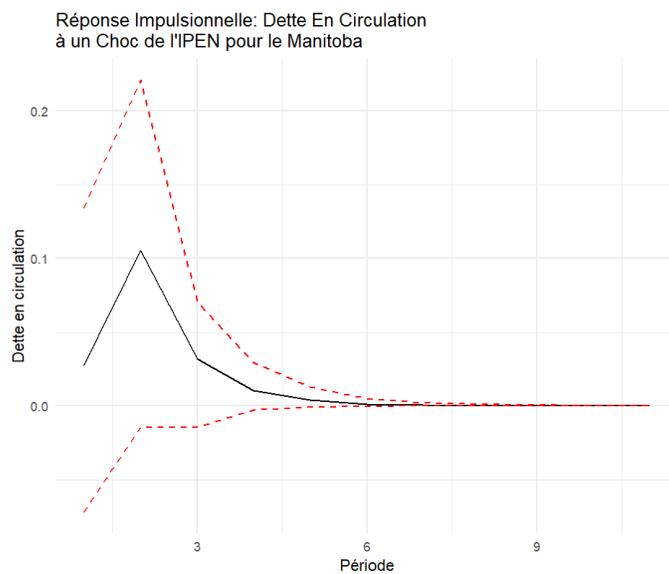


FIGURE 54 – Graphiques de fonction de réponse du Manitoba en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

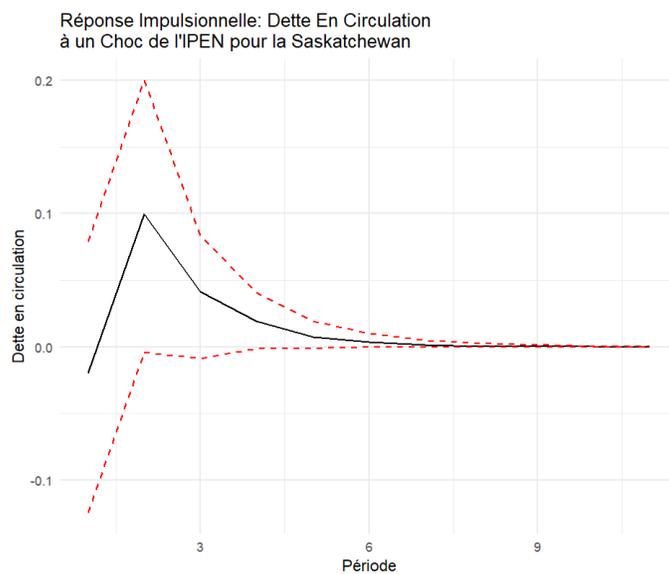


FIGURE 55 – Graphiques de fonction de réponse de la Saskatchewan en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

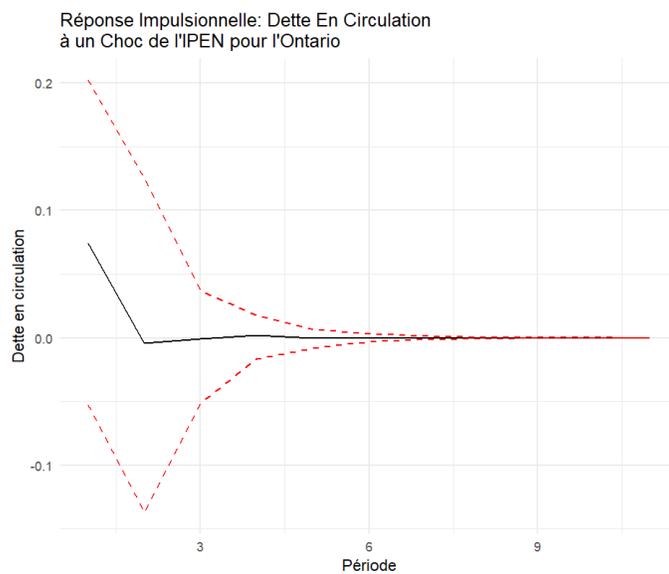


FIGURE 56 – Graphiques de fonction de réponse de l'Ontario en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

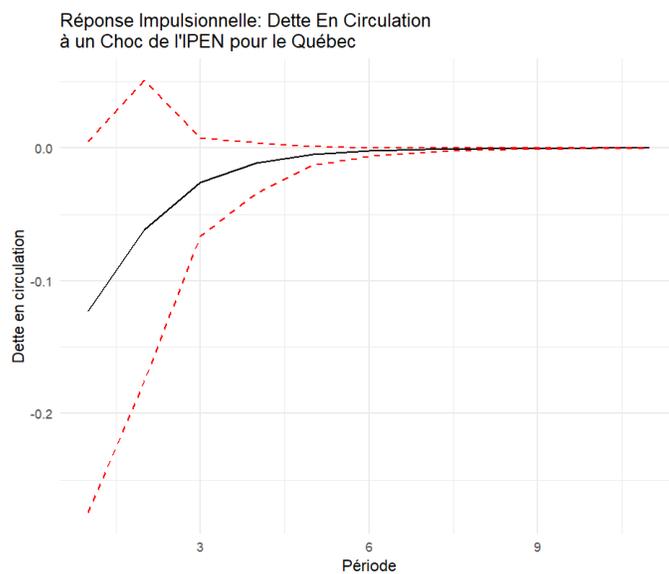


FIGURE 57 – Graphiques de fonction de réponse du Québec en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

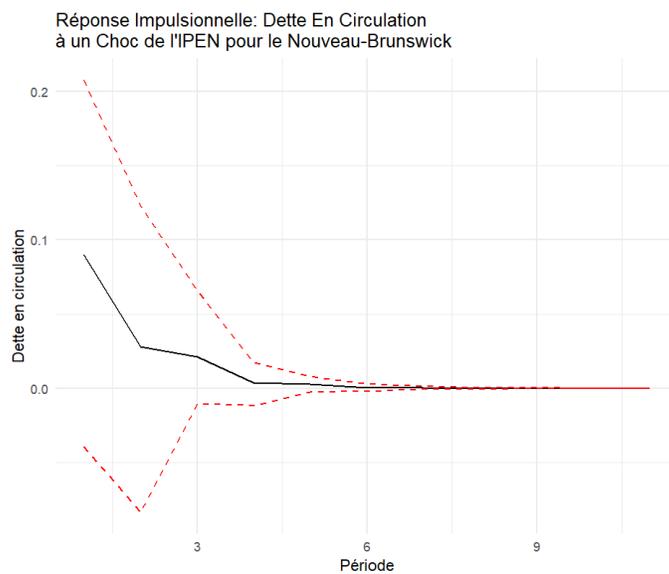


FIGURE 58 – Graphiques de fonction de réponse du Nouveau Brunswick en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

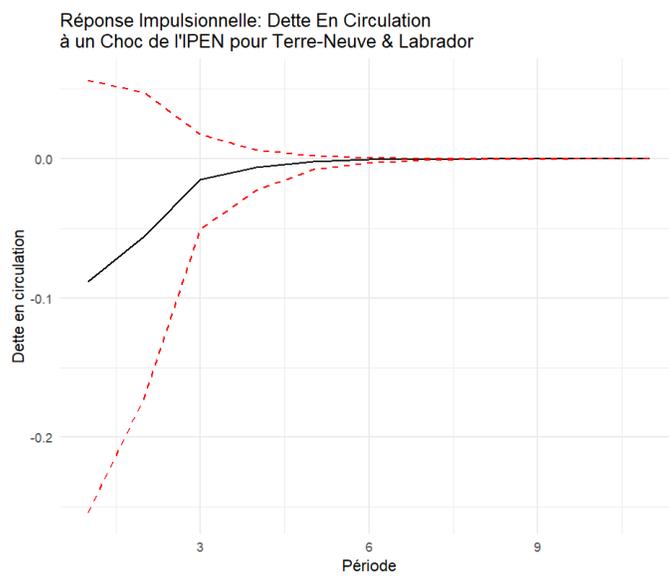


FIGURE 59 – Graphiques de fonction de réponse de Terre-Neuve en fonction d'un choc de l'IPEN en valeur absolue

Bibliographie

Bibliographie

Boitan, I. A. et Marchewka-Bartkowiak, K. (2022). Climate change and the pricing of sovereign debt : Insights from european markets. *Research in International Business and Finance*, 62.

Cevik, S. et Joao Tovar, J. (2020). This changes everything : Climate shocks and sovereign bonds. *Research in Economics and Mathematics Working Paper*.

Choi, S. (2022). Climate change exposure and the use of short-term debt. *Journal Name*, 65, 105579. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113510>. Récupéré de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612324006093>

Cleary, S. et Willcott, N. (2022). *Physical Costs of Climate Change : A Canadian Perspective*. Report ISF-Report, Queen's University, Centre for International Studies

Conference Board of Canada (2025). Data and analysis services. Accessed : 2024-08-05. Récupéré de <https://www.conferenceboard.ca/services/data/>

Dib, C. (2023). La facture de la lutte aux feux de forêt dépasse le demi-milliard en colombie-britannique | feux de forêt 2023. *Radio-Canada*. Accessed : 29 août 2023. Récupéré de <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2006629/feux-foret-depenses-couts>

Environnement Canada (2017). Les impacts des changements climatiques. Archived version accessed on 2017-09-23. Récupéré de <https://wayback.archive-it.org/7084/20170923013102/https://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=6A4A3AC5-1>

- GIEC (Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2014). *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A : Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Report WGIIAR5, IPCC
- Gilchrist, S. et Leahy, J. V. (2002). Interest rate dynamics, bubbles, and monetary policy. *American Economic Review*, 92(4), 901–922.
- Giovanis, E. et Ozdamar, O. (2022). The impact of climate change on budget balances and debt in the middle east and north africa (mena) region. *Climatic Change : An Interdisciplinary, International Journal Devoted to the Description, Causes and Implications of Climatic Change*, 172(3-4).
- Gouvernement du Canada (2023a). Cmp5 standardized precipitation evapotranspiration index data. Available at : <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=spei>. Récupéré de <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=spei>
- Gouvernement du Canada (2023b). Documentation technique : indice de précipitations et d'évapotranspiration normalisé de la cmp5. Available at : <https://scenarios-climatiques.canada.ca/?page=spei-technical-notes>. Récupéré de <https://scenarios-climatiques.canada.ca/?page=spei-technical-notes>
- Gouvernement du Canada (2023c). Le gouvernement du canada offre un financement de reprise après sinistre à la colombie-britannique pour les inondations de 2021. Site web. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/securite-publique-canada/nouvelles/2023/02/le-gouvernement-du-canada-offre-un-financement-de-reprise-apres-sinistre-a-la-colombie-britannique-pour-les-inondations-de-2021.html>
- Kilian, L. et Lütkepohl, H. (2017). *Structural Vector Autoregressive Analysis*. Cambridge University Press.

- Kim, H. S., Matthes, C. et Phan, T. (2021). Extreme weather and the macroeconomy. Available at SSRN : <https://ssrn.com/abstract=3918533> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3918533>.
- Lee, M. et Parfitt, B. (2022). A climate reckoning : The economic costs of bc's extreme weather in 2021. Canadian Centre for Policy Alternatives, BC Office. Récupéré de https://policyalternatives.ca/sites/default/files/uploads/publications/BC%20office/2022/11/ccpa-bc_Climate-Reckoning_web.pdf
- Li, B., Liang, Z., Yu, Z. et Acharya, K. (2014). Evaluation of drought and wetness episodes in a cold region (northeast china) since 1898 with different drought indices. *Natural Hazards*, 71, 2063–2085. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-013-0986-y>
- Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-27752-2>
- Maaloul, A. (2018). The effect of greenhouse gas emissions on cost of debt : Evidence from canadian firms. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 25(6), 1407–1415.
- Neusser, K. (2016). *Time Series Econometrics*. Springer Texts in Business and Economics. Bern, Switzerland : Springer Cham. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-32862-1>. Récupéré de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-32862-1>
- Saboori, B., Rasoulinezhad, E. et Khoshnevis Yazdi, S. (2022). Impact of climate change metrics on the cost of government borrowing : Evidence from the european union. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 237, 113510. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113510>. Récupéré de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0275531922000733?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8aae4b8d7b17a1da
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica*, 48(1), 1–48.

- St-Amant, P. et Tessier, D. (1998). *Tendance des dépenses publiques et de l'inflation et évolution comparative du taux de chômage au Canada et aux États-Unis*. Document de travail 98-3, Banque du Canada, Ottawa, Ontario, Canada
- Statistique Canada (2024). Tableau 38-10-0285-01 compte satellite des ressources naturelles, indicateurs (x 1 000 000). Récupéré de <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3810028501>
- Statistiques Canada (2023). Consumer price index, annual average, not seasonally adjusted. Accessed : May 6, 2024. Récupéré de <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/cv.action?pid=3610022101>
- Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (2010-2011). Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie : Rapports sur les plans et les priorités.
- Vicente-Serrano, S. M. et for Atmospheric Research Staff, N. C. (2023). The climate data guide : Standardized precipitation evapotranspiration index (spei). *Climate Data Guide*. Accessed : 2023-08-29. Récupéré de <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei>
- World Bank (2025). Annual precipitation (mm). Accessed : 2024-07-05. Récupéré de <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/AG.LND.PRCP.MM>
- Zenios, S. (2022). The risks from climate change to sovereign debt. *Climatic Change*, 172(3), 9. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-022-03373-4>
- Zivot, E. (2005). Generalized method of moments (gmm). Accessed : 2025-02-13. Récupéré de <https://faculty.washington.edu/ezivot/econ583/gmm.pdf>