

UNIVERSITÉ D'ORLÉANS
ÉCOLE DOCTORALE SCIENCE DE LA SOCIÉTÉ :
TERRITOIRES, ÉCONOMIE, DROIT - SSTED
Laboratoire d'Économie d'Orléans

THÈSE présentée par :

Geneviève C. VALLÉE

soutenue le : 18 Novembre 2024

pour obtenir le grade de : Docteur de l'Université d'Orléans

Discipline/ Spécialité : Science Économique

Essays on physical risks of climate change on the Canadian
economy and financial system

THÈSE dirigée par :

M. VOIA Marcel

Professeur des universités, Université
d'Orléans

RAPPORTEURS :

Mme COUHARDE Cécile

Professeur des universités, Université Paris
Nanterre

M. DEES Stéphane

Docteur, Banque de France

JURY :

Mme TURCU Camelia

Professeur des universités, Université
d'Orléans,

Président du jury.

M. P. HUYNH Kim

Docteur, Banque du Canada

Remerciements

Cette thèse n'aurait pas été possible sans le soutien de nombreuses personnes. Tout d'abord, j'aimerais remercier Marcel Voia et Kim P. Huynh, sans qui cette thèse n'existerait probablement pas. La poursuite d'un doctorat n'est pas sans coûts ni sacrifices. Le coût d'opportunité de passer des années hors du marché du travail, loin de ma famille et de mes amis, était l'une des principales raisons de ma réticence. Cependant, vous m'avez tous deux convaincu qu'il existait une autre voie, qui combinait rigueur et stimulation intellectuelle, sans perte de revenus pendant des années ni éloignement de mes proches et du soutien qu'ils m'apportent. Par conséquent, si vous n'aviez pas continué à croire en mes capacités et à me montrer une autre façon de rédiger cette thèse, je n'aurais pas été en mesure de suivre cette voie moins traditionnelle pour obtenir un doctorat. J'espère que mon parcours non conventionnel pourra montrer à d'autres femmes économistes qui hésitent à entreprendre des études avancées qu'il existe d'autres moyens d'aligner les objectifs académiques, professionnels et personnels.

J'aimerais également remercier les nombreux autres collègues de la Banque du Canada qui ont joué un rôle déterminant dans ce processus de doctorat non conventionnel. Je remercie Mikael Khan, Marie-Christine Tremblay et Guillaume Ouellet-LeBlanc, mes directeurs pendant cette période, de m'avoir donné l'espace et le temps nécessaires pour terminer chaque chapitre. À Anson T.Y. Ho, Thibaut Duprey, Soojin Jo, Craig Johnston, Tim Grieder, Callie Symmers, Hossein Hosseini, Aidan Witts, Michele Sura, Maxim Ralchenko et à toute l'équipe de High Performance Computing, je vous remercie pour votre soutien et vos conseils tout au long de ce processus. J'ai eu la chance d'être entouré de collègues qui ont compris la valeur de ce travail et m'ont encouragé à le poursuivre.

Aux membres de l'Université d'Orléans, en particulier à Camelia Turcu. Merci d'avoir organisé des conférences incroyables et d'avoir favorisé un environnement intellectuellement stimulant. Les commentaires et les réactions que j'ai reçus lors de mes visites ont été d'une valeur inestimable pour enrichir la qualité du travail.

Enfin, à mes proches. Tout d'abord, à David Mayer. Tu m'as soutenue, au sens propre comme au sens figuré, tout au long de ce processus rigoureux. Tes surprenants repas sains faits maison m'ont nourrie pendant les longues heures de travail, tandis que ta foi inébranlable en ma réussite m'a nourrie pendant des années. T'avoir à mes côtés a été la clé de ma réussite. Pour tout cela et plus encore, je t'aime et te remercie.

À mon frère, Antoine Vallée. Ta force face à l'adversité m'a permis de tenir bon lorsque j'avais envie d'abandonner. Tu as toujours été et tu seras toujours l'une de mes plus grandes sources d'inspiration.

Et enfin, mes parents, Claire Corriveau et Loys Vallée. Le chemin qui m'a mené jusqu'ici commence avec vous. Votre volonté d'atteindre vos propres objectifs à tout âge est un exemple incroyable pour moi. Bien que j'aie tâtonné pour trouver ma propre voie, vous m'avez toujours encouragé et soutenu dans mes décisions. Pour que tu sois fier de moi, tout cela en vaut la peine !

Acknowledgements

This thesis would not have been possible with the support of many individuals. First, I'd like to thank Marcel Voia and Kim P. Huynh, without which this thesis would likely not exist. The pursuit of a PhD is not without its costs and sacrifices. The opportunity cost of spending years out of the workforce, away from family and friends, was a strong reason for my reluctance. However, you both convinced me that there was another way, that combined rigour and intellectual stimulation, without years of loss income or living far from loved ones and the support they offer. Hence, without your persistent belief in my abilities and showing me another way to produce this dissertation, I would not have been able to carve this less traditional path to a PhD. I hope that my unconventional journey can show other women in economics who are reluctant to take on advanced studies that there are other ways to align academic, professional and personal goals.

I'd also like to thank the many other colleagues at the Bank of Canada who have been instrumental in this unconventional PhD process. To Mikael Khan, Marie-Christine Tremblay, and Guillaume Ouellet-LeBlanc, my directors during this time, I thank you for providing me the space and time to complete each chapter. To Anson T.Y. Ho, Thibaut Duprey, Soojin Jo, Craig Johnston, Tim Grieder, Callie Symmers, Hossein Hosseini, Aidan Witts, Michele Sura, Maxim Ralchenko, and the entire High Performance Computing team, I thank you for your support and guidance in this process. I've been truly fortunate to be surrounded by colleagues who saw the value of this work and encouraged me to pursue it.

To members of the Université d'Orléans, particularly Camelia Turcu. Thank you organizing incredible conferences and fostering an intellectually stimulating environment. The comments and feedback I've received during my visits have been invaluable to enriching the quality of the work.

Lastly, to my loved ones. First and foremost, to David Mayer. You sustain me, literally and figuratively, through this rigorous process. Your surprise homemade healthy meals kept me nourished through the long work hours, while your unwavering belief in my success kept me nourished through the years. Having you by my side was a key to my success. For all this and more, I love and thank you.

To my brother, Antoine Vallée. Your strength in the face of adversity kept me going whenever I felt like quitting. You have always been and will always be one of my greatest source of inspiration.

And last but not least, to my parents, Claire Corriveau and Loys Vallée. The path that led me here starts with you. Your drive to achieve your own goals at any age have set an incredible example for me. Despite stumbling around to find my own path, you've always encouraged me and supported my decisions. Making you proud makes all of this worth it!

Déclaration de contribution des auteurs

Les travaux présentés dans cette thèse sont le fruit d'une collaboration. Je suis donc reconnaissante à mes coauteurs pour les conseils et connaissances qu'ils ont bien voulu partager avec moi. Pour chacun des travaux, j'ai eu toute la latitude nécessaire afin de contribuer de manière significative à la conceptualisation, au traitement des données, à l'estimation, à la diffusion et à la rédaction des travaux.

Plus précisément, dans le premier chapitre, j'ai passé des mois à transformer les séries de catastrophes de la base de données canadienne sur les catastrophes en plusieurs panneaux qui peuvent être exploités par un cadre de projection local de panneaux. Dans le deuxième chapitre, sous la tutelle d'Anson Ho, qui m'a montré comment traiter les Big Data grâce à l'ordinateur haute performance de la Banque du Canada, j'ai transformé les données au niveau des prêts en séries temporelles pour un groupe de traitement et une série de groupes de contrôle potentiels. Dans le troisième chapitre, j'ai élaboré un modèle pour notre stratégie de collecte de données que mon coauteur, Craig Johnston, a partagé avec nos différents partenaires de données. J'ai ensuite validé, durant plusieurs mois, la qualité des données recueillies auprès des institutions participantes.

Ensuite, j'ai participé à l'élaboration et à la mise en œuvre des cadres stratégiques. Pour les chapitres 1 et 2, j'ai participé activement à l'estimation et à la réestimation des modèles à la suite des révisions apportées par les présentations ou les commentaires reçus. Pour ces deux chapitres, nous avons utilisé Stata pour mettre en œuvre la méthode d'estimation. Pour le chapitre 1, mes coauteurs Thibaut Duprey et Soojin Jo ont codé notre cadre de projection locale, et j'ai contribué à certaines améliorations. Dans le chapitre 2, Anson Ho et moi-même avons utilisé le package *synth* de Stata pour exécuter notre modèle. Notre stratégie d'estimation a été validée par notre coauteur David Jacho-Chavez. Dans le chapitre 3, j'ai développé une méthodologie pour évaluer l'exposition des prêteurs au risque d'inondation dans leurs portefeuilles immobiliers résidentiels. J'ai présenté cette méthodologie à plusieurs de mes coauteurs, dont Craig Johnston, Hossein Hosseini et Marie-Christine Tremblay, qui m'ont aidé à l'affiner. Une fois que nous avons été suffisamment satisfaits, j'ai entièrement codé notre cadre conceptuel en Python.

La diffusion des travaux a été un travail d'équipe. Chacun des chapitres a été présenté plusieurs fois lors de diverses conférences, séminaires et autres événements gouvernementaux afin d'en garantir la solidité et l'exhaustivité. Pour ma part, j'ai présenté les chapitres 1 et 3 lors de la conférence *Economics of Climate Change and Environmental Policy* à Orléans en octobre 2023. J'ai également présenté le chapitre 3 lors de la réunion annuelle de l'Association canadienne d'économie, à Winnipeg, en juin 2023. Enfin, j'ai présenté le chapitre 2 à plusieurs conférences, dont la *(EC)² Conference 2021 : Econometrics of Climate, Energy, and Resources* en décembre 2021 et *JEEM-Edinburgh-Shanghai Climate and Development Conference* en mai 2021. Le chapitre 2 a également été présenté lors de divers séminaires, notamment à l'Université d'Orléans en avril 2022.

Ces présentations, ainsi que d'autres, faites par mes coauteurs, nous ont permis de recueillir de précieux commentaires. Cela s'est reflété dans les différentes versions de nos manuscrits, auxquels j'ai apporté d'importantes contributions écrites. Pour tous les articles, j'ai été chargé de rédiger les sections relatives aux données et aux résultats. J'ai également contribué de manière significative à la rédaction des autres sections, telles que l'introduction et la conclusion dans tous les chapitres, et la section méthodologique dans le chapitre 3. J'ai également apporté mon aide pour l'introduction et la conclusion. Chaque document a été soumis au processus d'examen interne de la Banque du Canada. Pour les chapitres 1 et 2, nous avons reçu des commentaires de collègues afin d'améliorer le document, avant sa publication, en tant que document de travail de la Banque du Canada. En outre, Kim P. Huynh a effectué une révision critique de la version préliminaire du chapitre 2. Ce document a également fait l'objet d'un examen plus approfondi sur la base des commentaires reçus de nos pairs évaluateurs du périodique *Journal of Environmental Economics and Management*.

Declaration of coauthorship

The works presented in this thesis are co-author. As such, I am grateful for the guidance and knowledge of my co-authors. For each of the works, I was given ample room to contribute meaningfully to the conceptualization, data processing, estimation, dissemination and drafting of the works.

Specifically, in the first chapter I spent months transforming the disaster series from the Canadian Disaster Database into several panels which could be leverage by a panel local projection framework. In the second chapter, under the tutelage of Anson Ho, who showed me how to manipulate Big Data through the Bank of Canada's high performance computer, I transformed loan-level data into time series for a treatment and a series of potential control groups. In the third chapter, I developed a template for our data collection strategy which my co-author Craig Johnston shared with our various data partners. Following the collection, I spent several months validating the quality of the data we received from participating institutions.

Next, I assisted in the development and implementation of the strategic frameworks. For chapters 1 and 2, I was actively involved in the estimation and re-estimation of models following revisions from presentations or feedback received. For both of these chapters, we leverage Stata to implement the estimation method. For chapter 1, my co-authors Thibaut Duprey and Soojin Jo coded our local projection framework, and I assisted in some enhancements. In chapter 2, Anson Ho and I leverage the *synth* package in Stata to run our model. Our estimation strategy was validated by our co-author David Jacho-Chavez. In chapter 3, I developed the methodology for assessing lenders' exposure to flood risk in their residential real estate portfolios. I presented this methodology to several of my co-author, including Craig Johnston, Hossein Hosseini, and Marie-Christine Tremblay, who assisted in some refinements. Once, we're sufficiently satisfied, I fully coded our conceptual framework into Python.

The dissemination of the works was a team effort. Each of the chapters were presented several time at various conferences, seminars, and other government organizations to ensure robustness and completeness. For my part, I presented chapters 1 and 3 at the *Economics of Climate Change and Environmental Policy* conference in Orléans in October 2023. I also presented chapter 3 at the annual meeting of the *Canadian Economics Association* in Winnipeg in June 2023. Finally, I presented chapter 2 at several conferences, including the *(EC)² Conference 2021: Econometrics of Climate, Energy, and Resources* in December 2021 and *JEEM-Edinburgh-Shanghai Climate and Development Conference* in May 2021. Chapter 2 was also presented at various seminars including at the Université d'Orléans in April 2022.

These presentations, along with others my co-authors made, allowed us to collect valuable feedback. This was reflected in various versions of our manuscripts, to which I made significant written contributions. For all papers, I was charged with drafting the data and results sections. I also contributed significantly in writing the other sections, such as the introduction and conclusion in all chapters, and the methodological section in chapter 3. I also provided assistance for the introduction and conclusion. Each paper went through the Bank of Canada's internal review process. For Chapter 1 and 2, we received feedback from colleagues to improve the paper before it's publication as a Bank of Canada Staff Working Paper. In addition, Kim P. Huynh provided a critical reviewed our the draft of the paper in chapter 2. This paper was also further review based on comments we received from our peer reviewers at the *Journal of Environmental Economics and Management*.

Contents

List of figures	vii
List of tables	xi
I Résumé de la thèse	1
Préambule	3
1 Chapitre 1	7
1.1 Introduction	7
1.2 Données	8
1.2.1 Série de catastrophes naturelles	8
1.3 Méthodologie	11
1.3.1 Modèles de base	11
1.3.2 Hétérogénéité selon les états économiques	12
1.3.3 Hétérogénéité selon l'intensité des catastrophes	13
1.3.4 Hétérogénéité au fil du temps	14
1.3.5 Hétérogénéité selon le type de catastrophe	14
1.4 Résultats	14
1.4.1 Résultats du modèle de base	14
1.4.2 Dépendance de l'état à la réponse du marché du travail aux catastrophes	16
1.4.3 Dépendance de la taille de la réponse du marché du travail aux catastrophes	18
1.4.4 Dépendance temporelle des réponses du marché du travail aux catastrophes	19
1.4.5 Dépendance au type de réponse du marché du travail face aux catastrophes	20
1.5 Conclusion	24
2 Chapitre 2	25
2.1 Introduction	25
2.2 Incendie de forêt de Fort McMurray en 2016	26
2.3 Données et faits stylisés	27
2.4 Méthode empirique	28
2.5 Résultats	30
2.6 Conclusion	33
3 Chapitre 3	35
3.1 Introduction	35
3.2 Dommages causés par les inondations aux biens immobiliers résidentiels canadiens — État des lieux et données	36
3.3 Méthodologie d'évaluation des risques financiers	37
3.3.1 Prêts garantis sur biens immobiliers résidentiels et assurances de biens et de dommages	38
3.3.2 Prêts garantis sur biens immobiliers résidentiels	38
3.3.3 Assurance de biens et de dommages	40
3.3.4 Estimer l'impact financier des inondations	40
3.3.5 Dommages-intérêts récupérables et irrécupérables	41

3.3.6	Perte en cas de défaut	42
3.3.7	Étude de cas d'événement grave	43
3.4	Résultats	44
3.4.1	Risque annuel anticipé pour les prêteurs en matière d'inondation	44
3.4.2	Étude de cas d'un événement grave : simulation d'une crue centennale	48
3.4.3	Occurrence actuelle	48
3.4.4	Rôle des changements climatiques futurs	51
3.4.5	Sensibilité des paramètres	54
3.5	Conclusion	54
	Remarques finales	57
II	Full Thesis	59
	Preamble	61
1	Chapter 1	63
1.1	Introduction	63
1.2	Related literature	65
1.3	Data	66
1.3.1	Natural disaster series	66
1.3.2	Labour market data	69
1.4	Methodology	72
1.4.1	Baseline models	73
1.4.2	Heterogeneity by economic states	74
1.4.3	Heterogeneity by disaster intensity	75
1.4.4	Heterogeneity over time	75
1.4.5	Heterogeneity by disaster type	76
1.5	Results	76
1.5.1	Results from the baseline model	76
1.5.2	State dependence of labour market response to disasters	78
1.5.3	Size-dependence of labour market response to disasters	80
1.5.4	Time dependence of labour market responses to disasters	82
1.5.5	Type dependence of labour market response to disasters	82
1.6	Conclusion	91
2	Chapter 2	93
2.1	Introduction	93
2.2	2016 Fort McMurray Wildfire	95
2.3	Data and Stylized Facts	96
2.4	Empirical Method	98
2.5	Results	100
2.6	Conclusion	104
3	Chapter 3	107
3.1	Introduction	107
3.2	Flood-related damage to Canadian residential real estate—State of play and data	108
3.3	Methodology for assessing financial risks	110
3.3.1	Residential real estate secured lending and property and casualty insurance	110
3.3.2	Translating flood events into financial impacts	114
3.3.3	Severe event case study	116
3.4	Results	117
3.4.1	Lenders' annual expected risk from flooding	117
3.4.2	Case study of a severe event: simulating a 1-in-100-year flood	120
3.5	Conclusion	126

Concluding remarks	129
A Appendix to Chapter 1	131
A.1 Appendix: Production versus service sectors	131
A.2 Appendix: State-dependent responses—additional results	134
A.3 Appendix: DFAA as a measure of disaster intensity	136
A.4 Appendix: Other alternative measures of disaster intensity	139
A.5 Appendix: Impacts of the top three largest disasters	141
A.6 Appendix: Leave-one-out analysis	144
A.7 Appendix: Disaster effects over time by disaster types	150
B Appendix to Chapter 2	153
B.1 Primer on the Canadian mortgage insurance market	153
B.2 Sensitivity Test	154
B.2.1 Backdating the Intervention	155
B.2.2 Leave-One-Out Analysis	156
B.3 Analysis on Credit Scores and Credit Card Balances	156
C Appendix to Chapter 3	161
C.1 Public Safety Canada flood damage methodology	161
Bibliography	163

List of Figures

1	Propagation des chocs liés aux catastrophes naturelles et répercussion sur divers segments de l'économie et du système financier	5
1.1	Série chronologique de la variable binaire des catastrophes naturelles par province, 1980–2019	9
1.2	Série chronologique de la variable des coûts des catastrophes naturelles par province, 1980–2019	10
1.3	Impacts des catastrophes naturelles sur les marchés du travail	15
1.4	Réponse impulsionnelle des entreprises après une catastrophe naturelle	16
1.5	Réponse impulsionnelle de la migration interprovinciale après une catastrophe naturelle .	17
1.6	Réponse impulsionnelle des entreprises après une catastrophe naturelle	17
1.7	Ajustement dépendant de l'état des marchés du travail : réponses mensuelles	18
1.8	Ajustement dépendant de l'état des marchés du travail pendant les quatre premières semaines	19
1.9	Ajustement dépendant de la taille des marchés du travail à une catastrophe	20
1.10	Impact de l'aide du gouvernement fédéral après une catastrophe naturelle	21
1.11	L'effet de l'hétérogénéité temporelle sur les réponses du marché du travail aux catastrophes naturelles	22
2.1	Écart par rapport à la température moyenne entre le 30 avril et le 7 mai 2016	26
2.2	Incendies de Fort McMurray en 2016	27
2.3	Arriérés de prêts hypothécaires à Fort McMurray	29
2.4	Trajectoires des arriérés hypothécaires réels et synthétiques	32
2.5	Écart entre les arriérés hypothécaires réels et synthétiques	33
3.1	Pertes annuelles moyennes totales liées aux inondations dans l'immobilier résidentiel au Canada, classées par centile	37
3.2	Estimation actuelle des dommages causés par les inondations aux biens immobiliers résidentiels, par région de tri d'acheminement (RTA)	38
3.3	Pertes annuelles moyennes totales liées aux inondations dans le secteur immobilier résidentiel au Canada, classées par centile	39
3.4	Assurance contre les inondations (Gauche: Ménages disposant d'une couverture complémentaire à l'assurance de base) (Droit: Montant de l'assurance inondation en pourcentage de la valeur totale assurable, par RTA)	41
3.5	Calcul des dommages aux biens et de la couverture de l'assurance IARD	42
3.6	Aperçu d'une étude de cas d'un événement météorologique extrême	44
3.7	Répartition des dommages par propriété selon la perte annuelle moyenne actuelle	47
3.8	Répartition de la perte annuelle moyenne totale des prêteurs en pourcentage du solde impayé total des prêts immobiliers résidentiels garantis	47
3.9	Exemple de simulations d'inondations centennales dans six zones métropolitaines de recensement	48
3.10	Pourcentage moyen des dommages matériels couverts par l'assurance par région métropolitaine de recensement <i>Pour les propriétés sélectionnées dans l'étude de cas sévère</i>	49
3.11	Répartition de la proportion de portefeuilles de prêts garantis par des biens immobiliers résidentiels affectés par une étude de cas simulée sur 100 ans	51

3.12	Répartition de la variation des pertes en cas de défaut entre les prêteurs pour la partie du portefeuille de prêts garantis par des biens immobiliers résidentiels affectée dans l'étude de cas d'événement grave <i>Perte en cas de défaut en pourcentage du solde impayé pour les propriétés touchées par une inondation centennale</i>	52
13	Propagation of natural disaster shocks and the pass-through to varying segments of the economy and financial system	62
1.1	Time series of natural disaster dummy variable by province, 1980–2019	67
1.2	Time series of natural disaster cost variable by province, 1980–2019	68
1.3	Location of the boreal forest across Canadian provinces	69
1.4	Annual number and cost of disaster events in Canada since 1980	70
1.5	Provincial employment gap	72
1.6	Weekly versus monthly impulse response functions	74
1.7	Impacts of natural disasters on labour markets	77
1.8	Impulse response of firms following a natural disaster	78
1.9	Impulse response of cross-province migration following a natural disaster	79
1.10	Impulse response of firms following a natural disaster	79
1.11	State-dependent adjustment of labour markets: monthly responses	80
1.12	State-dependent adjustment of labour markets in the first four weeks	81
1.13	Size-dependent adjustment of labour markets to a disaster	82
1.14	Impact of federal government support after a natural disaster	83
1.15	The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to natural disasters	84
1.16	Weekly impacts of a flood	85
1.17	Impact of a wildfire on the provincial labour market	87
1.18	Impact of a flood on the provincial labour market	88
1.19	Impact of a storm on the provincial labour market	89
1.20	Impact of a winter storm on the provincial labour market	90
2.1	Deviation from the average temperature between April 30 and May 7, 2016	96
2.2	2016 Fort McMurray Wildfires	97
2.3	Mortgage loan arrears in Fort McMurray	99
2.4	Paths of actual and synthetic mortgage arrears	102
2.5	Gap between actual and synthetic mortgage arrears	103
2.6	Total outstanding balances and arrears (May 2016 = 1.0)	104
3.1	Total average annual flood-related loss to residential real estate across Canada ranked by percentile	109
3.2	Current estimated flood-related damages to residential real estate, by forward sortation area	110
3.3	Total average annual flood-related loss to residential real estate across Canada ranked by percentile	111
3.4	Current estimated flood-related damages to residential real estate, by forward sortation area	112
3.5	Household flood insurance (Left: Share of households with additional coverage on top of base home insurance) (Right: Flood insurance amount as a share of total insurable value, by forward sortation area)	113
3.6	Overview of approach to calculation damages to properties and coverage from property and casualty insurance	114
3.7	Outline of case study of an extreme weather event	117
3.8	Distribution of damages per property under current average annual loss	119
3.9	Distribution of lenders' average total annual loss as a share of total outstanding balance residential real estate secured lending	119
3.10	Example of simulated 1-in-100-year flood events across six select census metropolitan areas	120
3.11	Average percentage of property damage covered by insurance by census metropolitan area <i>For properties selected in the severe case study</i>	121
3.12	Distribution of the proportion of residential real estate secured lending portfolios affected by simulated 1-in-100-year case study	122

3.13	Distribution of change in loss given default across lenders for portion of residential real estate secured lending portfolio affected in the severe case study <i>Loss given default as a share of outstanding balance for properties affected by 1-in-100-year flood</i>	122
3.14	Distribution of change in loss given default across lenders for portion of residential real estate secured lending portfolios affected in a severe case study, under current and projected flood events under climate change scenario RCP 8.5 <i>Loss given default as a share of outstanding balance for properties affected by 1-in-100-year flood</i>	124
A.1	Responses of the production sector	132
A.2	Responses of the service sector	133
A.3	State-dependent adjustment of labour markets: Wildfires	134
A.4	State-dependent adjustment of labour markets: Floods	134
A.5	State-dependent adjustment of labour markets: Storms	135
A.6	State-dependent adjustment of labour markets: Winter storms	135
A.7	State-dependent responses of full- and part-time employment	136
A.8	Impacts of wildfires depending on the size of federal government support	137
A.9	Impacts of floods depending on the size of federal government support	137
A.10	Impacts of storms depending on the size of federal government support	138
A.11	Impacts of winter storms depending on the size of federal government support	138
A.12	Impacts of wildfires depending on the share of evacuated persons	139
A.13	Impacts of floods depending on the share of evacuated persons	140
A.14	Impacts of storms depending on the share of affected persons	140
A.15	Impacts of winter storms depending on the share of affected persons	141
A.16	Impacts of Canada's top three natural disasters on the labour market	143
A.17	Impacts excluding one disaster at a time	145
A.18	Impacts of wildfires: excluding one disaster at a time	146
A.19	Impacts of floods: excluding one disaster at a time	147
A.20	Impacts of storms: excluding one disaster at a time	148
A.21	Impacts of winter storms: excluding one disaster at a time	149
A.22	The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to wildfires	150
A.23	The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to floods	151
A.24	The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to storms	151
A.25	The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to winter storms	152
B.1	Share of newly originated mortgages that are portfolio and transaction insured	154
B.2	Paths of actual and synthetic mortgage arrears (Backdated)	155
B.3	Paths of actual and synthetic mortgage arrears (leave-one-out)	156
B.4	Paths of actual and synthetic credit card balances	157
B.5	Gap between actual and synthetic credit card balances	157
B.6	Paths of actual and synthetic credit scores	158
B.7	Gap between actual and synthetic credit scores	159

List of Tables

2.1	Statistiques descriptives de janvier 2014 à décembre 2017	28
2.2	Caractéristiques de Fort McMurray : observées vs synthétiques	31
2.3	Les cinq FSA (RTA) les plus pondérées dans la zone synthétique de Fort McMurray . . .	31
3.1	Aperçu des données d'exposition et des institutions financières concernées	40
3.2	Sommaire des paramètres et des valeurs supposées dans les calculs de perte en cas de défaut	43
3.3	Description des données sur les risques d'inondation : PAM	45
3.4	Concentration et part des prêts accordés dans les zones inondables	45
3.5	Impact moyen des inondations centennales sur les pertes en cas de défaut en pourcentage des soldes impayés	51
3.6	Impact sur les pertes en cas de défaut en pourcentage des soldes impayés pour les inonda- tions centennales <i>Pourcentage de changement par rapport à la référence (Proportion des soldes dans les études de cas graves)</i>	52
3.7	Impact du changement climatique d'ici la fin du siècle (RCP 8,5) par rapport à aujourd'hui dans les zones inondables	53
3.8	Impact moyen sur les pertes en cas de défaut à la suite d'une inondation grave selon différents modèles	54
1.1	Distribution of panel observations across months, 1980–2019	67
1.2	Summary statistics of variables used to proxy for natural disaster intensity	71
1.3	Summary of key results	76
2.1	Descriptive Statistics from January 2014 to December 2017	98
2.2	Characteristics of Fort McMurray: observed vs. synthetic	100
2.3	Top five FSA weights in the synthetic Fort McMurray	101
3.1	Overview of exposure data and financial institutions in scope	113
3.2	Summary of parameters and assumed values in calculations of loss given default	116
3.3	Description of flood hazard data—average annual loss	117
3.4	Concentration and share of lending in flood zones of lenders	118
3.5	Average impact on loss given default as a share of outstanding balances from 1-in-100-year severe case study floods	123
3.6	Impact on loss given default as a share of outstanding balances for 1-in-100-year flood <i>Percentage point change from baseline (Proportion of balances in severe case study)</i>	123
3.7	Impact of climate change by end of the century (RCP 8.5) relative to today in flood zones	125
3.8	Average impact on loss given default from a severe flood under different model specifications	125
B.1	Mortgage origination by insurance type (average quarterly)	154

Part I

Résumé de la thèse

Préambule

L’objectif de cette thèse est d’explorer les implications du risque physique du changement climatique sur le système financier et l’économie canadienne. Alors que le changement climatique s’accélère, les risques physiques augmentent, entraînant des catastrophes naturelles plus fréquentes et plus graves. Il est donc important de comprendre quels sont les agents économiques les plus exposés aux chocs liés aux catastrophes naturelles, et comment ces chocs peuvent se manifester. Ainsi, chaque chapitre de cette thèse présente un document de recherche qui se concentre sur les impacts sur différents agents ou segments de l’économie. Plus précisément, le premier article examine l’effet sur les marchés du travail, le second sur les ménages, et enfin le dernier sur les prêteurs.

Le chapitre 1 présente un document explorant les perturbations du marché du travail dues aux catastrophes naturelles.¹ Ainsi, ce chapitre identifie un important canal de revenu par lequel les ménages sont affectés par les chocs liés aux catastrophes. Ceci est démontré par l’effet négatif sur la croissance des revenus qui se produit dans l’année qui suit une catastrophe. Alors que les heures travaillées sont le principal canal par lequel l’offre de main-d’œuvre est affectée immédiatement après la catastrophe, à moyen terme, la croissance des salaires est la mesure du marché du travail la plus affectée. De plus, ces effets négatifs sont amplifiés lorsque l’économie se trouve dans une situation de forte marge de manœuvre en matière d’emploi. Toutefois, l’effet étant moindre en situation de faible marge de manœuvre en matière d’emploi. Cela indique une dépendance asymétrique des marchés du travail aux catastrophes naturelles, les périodes de ralentissement de l’activité économique entraînant des résultats bien pires que celles de prospérité économique.

Au Canada, l’endettement élevé des ménages est depuis longtemps une source de vulnérabilité du système financier (Cateau et al. [20]). C’est pourquoi les chapitres 2 et 3 se concentrent sur le lien du système financier canadien qui existe entre les ménages et les prêteurs, à savoir les prêts hypothécaires résidentiels. Les prêts hypothécaires sont particulièrement exposés au risque physique, étant donné qu’ils sont garantis par des actifs immobiliers et amortis sur plusieurs décennies. Pour les ménages, il s’agit de leur principal dette. Pour les banques, les prêts hypothécaires représentent une part importante de l’actif de leur bilan.

Étant donné que les ménages sont affectés par les catastrophes naturelles par le biais d’un important canal de revenu, l’article présenté au chapitre 2 examine l’effet sur leur santé financière.² Plus précisément, il présente une étude de cas empirique des incendies de forêt sur les défauts de paiement des prêts hypothécaires et constate que les ménages sont très exposés à ce type de risque physique. En fait, nous constatons un doublement des défaillances hypothécaires environ un an et demi après l’événement. Cette période correspond à l’effet négatif sur la croissance des salaires constaté sur les marchés du travail, ainsi qu’aux remboursements d’assurance.

Le dernier article présenté au chapitre 3 examine les implications des inondations sur les fournisseurs de prêts immobiliers résidentiels au Canada. Ici, nous étudions les effets du risque d’inondation actuel et futur projeté sur les portefeuilles des prêteurs hypothécaires.³ Si nous constatons que certains prêteurs sont plus exposés, les implications pour les prêteurs sont minimes. En particulier, nous constatons que les fonds propres des propriétaires, ainsi que le niveau élevé des prix de l’immobilier au Canada, constituent un tampon important pour les prêteurs, les protégeant efficacement contre les chocs liés aux catastrophes

¹Publié en tant que document de travail du personnel de la Banque du Canada en septembre 2024 et coauteur avec Thibaut Duprey et Soojin Jo ([35]).

²Publié dans *Journal of Environmental Economic and Management* en mai 2023 et coauteur avec Anson T.Y. Ho, Kim P. Huynh, et David T. Jacho-Chavez ([52]).

³Publié en tant que *Banque du Canada Document de travail 2023-33* en décembre 2023 et coécrit avec Craig Johnston, Hossein Hosseini, Brett Lindsay, Miguel Molico, Marie-Christine Tremblay, et Aidan Witts. Auteurs principaux : Craig Johnston et Geneviève C. Vallée ([65]).

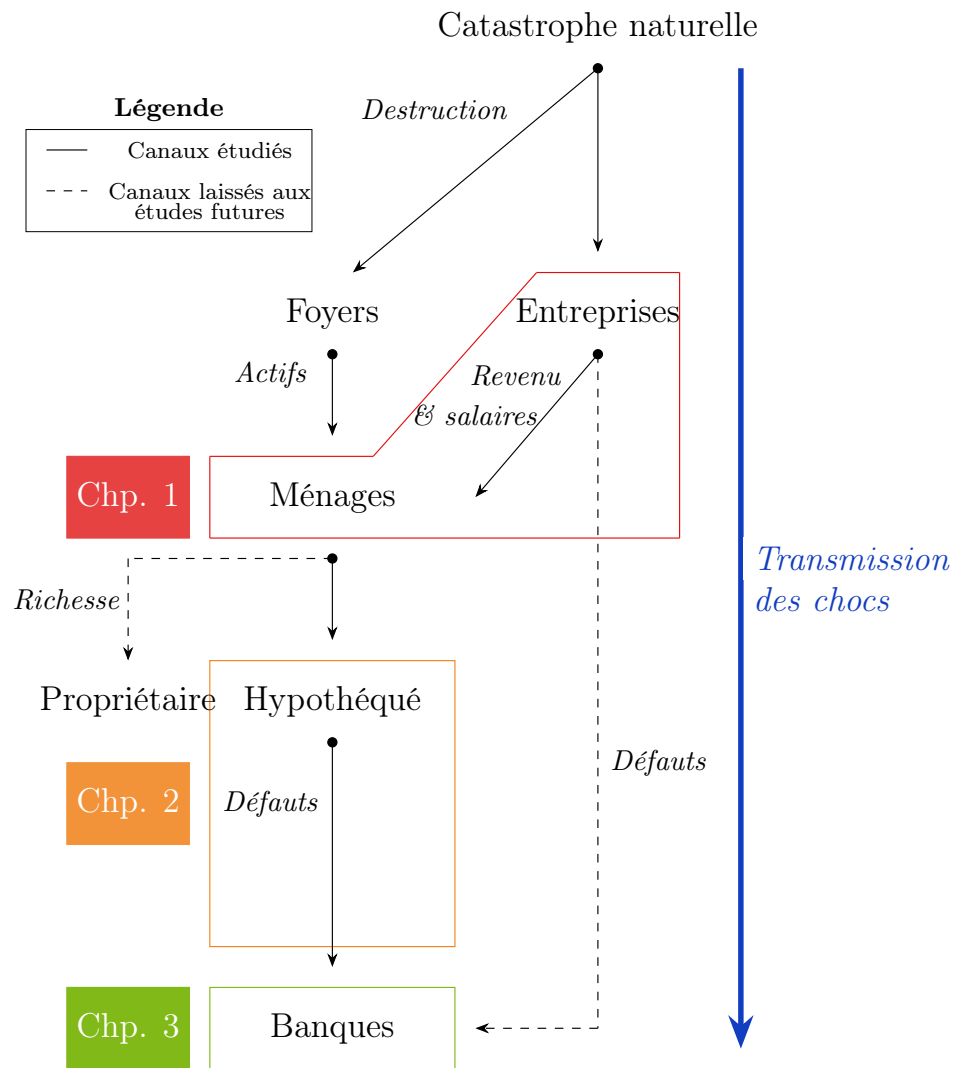
naturelles.

Les chapitres 1 et 3 explorent également les conséquences du changement climatique. Plus précisément, le chapitre 1 met en évidence la lenteur de l'adaptation des marchés du travail aux risques physiques du changement climatique, ce qui est légèrement plus optimiste que Kim et al. [70]. Nous montrons également au chapitre 3 que l'exposition des banques aux futurs risques d'inondation augmente, car le changement climatique accroît à la fois le nombre de propriétés qui seront exposées aux inondations et les dommages auxquels elles seront confrontées. L'adaptation joue un rôle crucial dans la prévention de l'aggravation des effets sur les marchés du travail, en particulier si davantage de ménages sont susceptibles d'être exposés aux effets plus fréquents et plus graves des catastrophes.

Dans l'ensemble, cette thèse met en lumière la propagation des chocs liés aux catastrophes naturelles dans le système financier et la manière dont les différents segments sont touchés (Figure 13). Au sommet, ce sont les ménages qui sont les plus exposés aux risques de catastrophes naturelles. Cela peut se produire sur les marchés du travail, où les revenus sont affectés. En outre, les catastrophes naturelles peuvent détruire les maisons qui constituent une part importante des actifs des ménages. Pour les ménages ayant contracté des prêts hypothécaires, les chocs de revenus combinés à la destruction des actifs garantis peuvent entraîner des défauts de paiement des prêts hypothécaires. Cette situation peut alors se propager aux fournisseurs de financement hypothécaire, à savoir les banques. Toutefois, les risques pour les banques sont moindres en raison de l'accumulation de fonds propres et de la période actuelle de croissance des prix de l'immobilier.

Enfin, bien que cette thèse explore principalement la propagation des chocs liés aux catastrophes naturelles à travers le système financier, ces chocs peuvent avoir des impacts beaucoup plus larges. D'une part, cette thèse ne se concentre pas sur les ménages qui ont remboursé leurs prêts hypothécaires. Dans ce cas, la destruction de leur logement peut avoir des conséquences importantes sur leur patrimoine. De plus, la destruction du capital des entreprises a probablement aussi des conséquences sur leur capacité à rembourser les prêts. Les défaillances d'entreprises sont un autre moyen par lequel les catastrophes naturelles pourraient affecter les banques. Nous laissons ces questions en suspens pour de futures recherches.

Figure 1: Propagation des chocs liés aux catastrophes naturelles et répercussion sur divers segments de l'économie et du système financier



Chapter 1

Let's Get Physical : Impacts des risques physiques liés au changement climatique sur l'emploi dans les provinces

Ce chapitre est une version abrégée et traduite d'un article qui a été publié en tant que documents de travail du personnel de la Banque du Canada en septembre 2024 et a été co-écrit avec Thibaut Duprey, Soojin Jo.

1.1 Introduction

La fréquence et la gravité des catastrophes naturelles augmentent (Imada et al. [59], Walsh et al. [105], Knutson et al. [73]), et devrait se poursuivre en raison des changements climatiques (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [61, 62]). Par conséquent, dans un contexte de changement climatique accéléré, il est crucial de mieux comprendre comment les catastrophes naturelles affectent la macroéconomie.

Au Canada, 2023 a montré l'impact potentiel des risques physiques liés au changement climatique en raison du nombre important de catastrophes naturelles dévastatrices. Plus particulièrement, la saison des incendies de forêt a brûlé une superficie plus de deux fois supérieure au précédent record¹, la Nouvelle-Écosse a connu de graves inondations soudaines dues à des pluies extrêmes.², et les restes de l'ouragan Hilary ont ensuite traversé les Prairies canadiennes, un événement presque inédit.

Dans cet article, nous avons constitué un panel des catastrophes naturelles (incendies de forêt, inondations, tempêtes hivernales et autres tempêtes) au Canada entre 1980 et 2019 pour étudier l'impact sur le marché du travail. En utilisant une projection locale en panel (Jordá [67]) et une projection locale lissée (Auerbach and Gorodnichenko [7], Choi et al. [23]), nous examinons les impacts dynamiques et les réponses dépendant de l'état, sur des horizons aussi courts qu'une semaine jusqu'à 30 mois après les catastrophes.

Nous résumons nos principales conclusions comme suit. Premièrement, les catastrophes affectent négativement le marché du travail local, principalement par des changements dans les heures travaillées et la croissance des salaires, plutôt que par le taux d'emploi. Après un choc, les heures travaillées diminuent temporairement, tandis que la croissance des salaires a tendance à baisser pendant jusqu'à un an après. Cette baisse pourrait être attribuée à des facteurs tels que les flux migratoires (comme observé dans Coulombe and Rao [28] pour les incendies de forêt aux États-Unis) ou des ajustements sectoriels pendant la phase de reprise après la catastrophe.

Deuxièmement, l'impact négatif sur les heures travaillées et la croissance des salaires réels est principalement concentré dans les périodes de forte sous-utilisation de l'emploi. Autrement dit, dans les régions

¹Voir l'article de la CBC du 4 septembre 2023.

²Voir l'article de la CBC du 22 juillet 2023.

où le marché du travail est déjà faible et l'économie stagnante, les catastrophes peuvent exacerber ces conditions.

Troisièmement, nous constatons qu'au fil du temps, la réponse de l'emploi s'est détériorée, ce qui soutient la conclusion de Kim et al. [70] qui trouve des preuves limitées d'adaptation aux événements extrêmes aux États-Unis. Depuis les années 1980, nous observons une détérioration de l'effet immédiat sur les heures travaillées, ainsi qu'une augmentation générale du chômage en raison des catastrophes. Cependant, l'effet le plus fort est à nouveau observé sur la croissance des salaires réels, où nous constatons des effets de plus en plus négatifs au fil du temps.

Enfin, nos résultats indiquent une hétérogénéité importante des impacts entre les types de catastrophes. Les heures travaillées augmentent généralement en réponse aux incendies de forêt, tandis que les tempêtes montrent les effets les moins prononcés. Les tempêtes hivernales graves, en revanche, sont associées à une augmentation du taux d'emploi. Les inondations ont un impact immédiat négatif sur le marché du travail, avec une diminution de l'emploi et des heures travaillées pendant la première semaine et tout au long du mois suivant. La croissance des salaires réels montre systématiquement une réponse négative pour tous les types de catastrophes, surtout en l'absence de l'aide du gouvernement fédéral. En outre, la plupart des réponses spécifiques aux catastrophes sont amplifiées par des périodes de sous-utilisation du marché du travail.

Nos résultats ont les implications politiques importantes suivantes. Premièrement, lorsqu'on évalue les impacts globaux des catastrophes naturelles, l'effet sur les marchés du travail locaux ne doit pas être négligé. Les catastrophes naturelles peuvent nuire aux travailleurs vulnérables par le biais du canal de revenu, surtout lorsqu'elles se produisent simultanément avec d'autres chocs ayant déjà affaibli l'économie. Les pertes de revenu, à leur tour, peuvent être l'un des principaux moteurs des défauts de paiement des ménages, amplifiant potentiellement davantage les pertes pour le système financier dans son ensemble. Ainsi, les tests de stress (climatiques) devraient également prendre en compte l'impact sur les pertes d'emplois et les flux de revenus perturbés, ainsi que la survenance conjointe de chocs macroéconomiques négatifs et de catastrophes naturelles. Deuxièmement, le financement de l'aide aux catastrophes et sa conception sont importants pour les décideurs. D'une part, le financement fédéral peut atténuer certains des effets à long terme des catastrophes sur la croissance des salaires. Cependant, il peut masquer une réallocation sectorielle. Troisièmement, les décideurs doivent rester préoccupés par l'impact macroéconomique des catastrophes naturelles, étant donné le risque d'augmentation de la fréquence et de l'ampleur, même si les politiques d'atténuation peuvent offrir un certain contrepoids. L'effet perturbateur que nous quantifions pour les plus grandes catastrophes de l'histoire canadienne est un avertissement pour les décennies à venir, si le Canada continue de connaître des catastrophes battant des records.

1.2 Données

1.2.1 Série de catastrophes naturelles

Pour étudier l'effet des catastrophes naturelles sur les marchés du travail, nous exploitons 558 événements de catastrophes uniques qui ont eu lieu entre 1980 et 2019, enregistrés dans la Base de données des catastrophes canadiennes (BDC) maintenue par Sécurité publique Canada.³ La BDC inclut sélectivement uniquement les catastrophes particulièrement sévères (Ministers Responsible For Emergency Management [85]).

Ce jeu de données fournit également des informations sur le type de catastrophe, que nous utilisons pour classer les événements en quatre catégories :

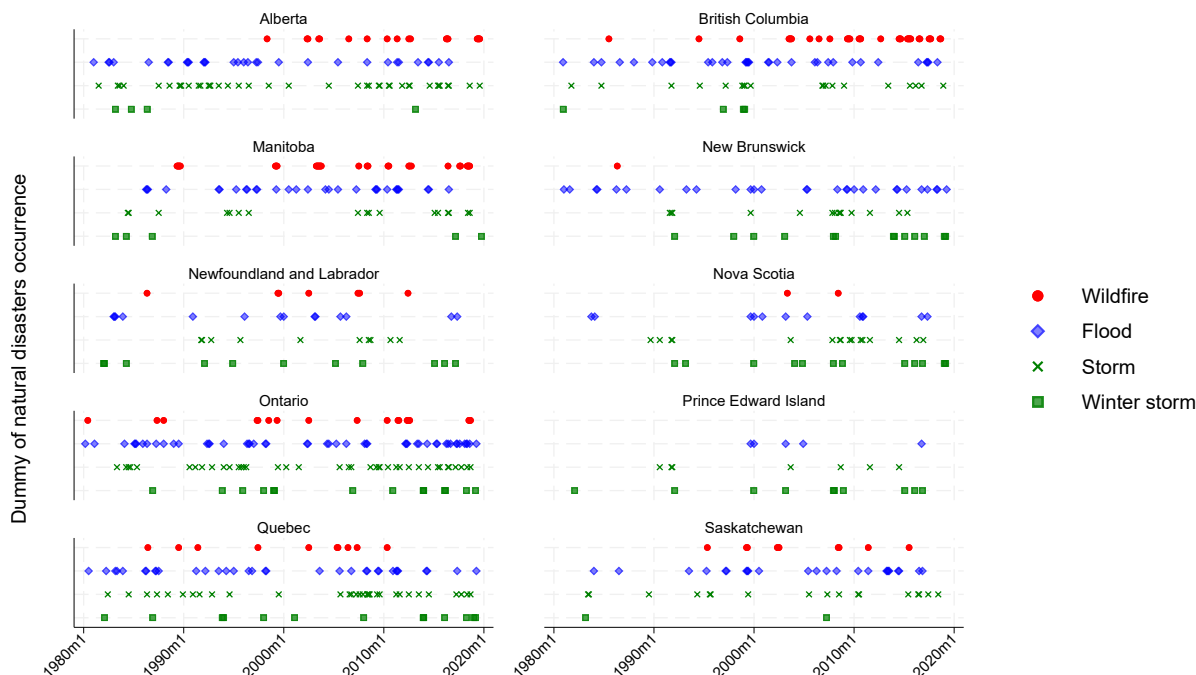
- incendies de forêt;
- inondations (y compris les ondes de tempête et autres événements d'inondation);
- tempêtes (y compris les tempêtes violentes, les orages, les ouragans et les tornades); et
- tempêtes hivernales.

³Version téléchargée le 9 septembre 2023.

Nous construisons un jeu de données de panel mensuel pour 10 provinces canadiennes couvrant la période de 1980 à 2019, à partir de la BDC.⁴ Lorsqu'une catastrophe affecte plusieurs provinces, nous supposons que chaque province est touchée, et nous créons ainsi deux variables explicatives.

La première est une variable binaire indiquant la survenance d'une catastrophe dans une région chaque mois (Figure 1.1). Dans de rares cas, plusieurs catastrophes peuvent affecter la même province en un mois ; cependant, notre variable binaire ne tient pas compte du nombre de catastrophes.⁵ Sur les 558 événements de catastrophes uniques, nous générons 659 observations mois-province.

Figure 1.1: Série chronologique de la variable binaire des catastrophes naturelles par province, 1980–2019



Notes : Mois et provinces avec au moins une catastrophe naturelle par catégorie. La même catastrophe peut être comptabilisée comme survenant dans plusieurs mois et provinces si elle dure plus d'un mois et affecte plusieurs provinces. Les tempêtes incluent les orages, les ouragans et les tornades, mais excluent les tempêtes hivernales, qui sont laissées comme une catégorie séparée. Les inondations incluent les ondes de tempête et autres événements d'inondation.

La deuxième variable que nous construisons est une variable continue de coûts (Figure 1.2). Celle-ci fournit un indicateur de l'intensité de la catastrophe pour évaluer l'effet de la taille de la catastrophe sur les marchés du travail. Nous normalisons les coûts des catastrophes par le PIB mensuel provincial.⁶ Lorsqu'une catastrophe affecte plusieurs provinces, nous attribuons les coûts en fonction de la taille de la population de chaque province affectée.⁷ De même, si une catastrophe se prolonge sur plusieurs mois, nous répartissons les coûts proportionnellement au nombre de jours pendant lesquels la catastrophe a duré chaque mois. Notre deuxième variable de coût donne 390 chocs binaires.

Pour évaluer comment l'emploi provincial réagit aux catastrophes naturelles, nous nous appuyons sur

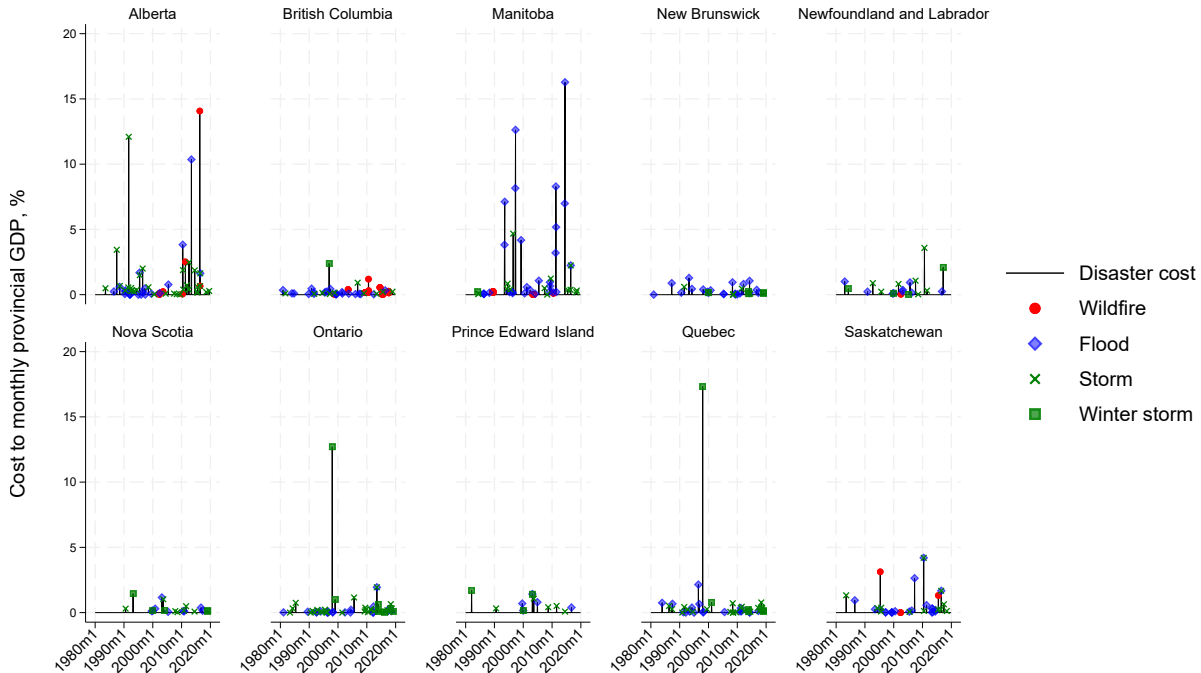
⁴Nous excluons les Territoires du Nord-Ouest, le Yukon et le Nunavut de notre analyse en raison du faible nombre de catastrophes répondant aux critères de la BDC observées dans ces territoires.

⁵Nous ne tentons pas d'exploiter le nombre de catastrophes survenues dans un mois comme indicateur de l'intensité de la catastrophe, car ces événements sont peu fréquents. En effet, il n'y a que 29 (respectivement 6) instances de deux (respectivement trois) catastrophes du même type enregistrées dans le même mois et la même province sur la période de 40 ans étudiée. Seulement 10 événements ont deux catastrophes simultanées de types différents dans le même mois et la même province, principalement des inondations et des tempêtes se produisant en même temps.

⁶Nous construisons le PIB provincial mensuel en interpolant les données trimestrielles du PIB provincial provenant du Conference Board du Canada. Pour l'interpolation, nous utilisons la production industrielle mensuelle agrégée avant 1997 et le PIB national mensuel par la suite. L'indice de production industrielle provient de FRED (série CANPROINDMISMEI). Le PIB mensuel national est extrait de la Table de Statistique Canada 36-10-0434-02.

⁷Les données sur la population provinciale proviennent de la Table de Statistique Canada 17-10-0009-01.

Figure 1.2: Série chronologique de la variable des coûts des catastrophes naturelles par province, 1980–2019



Notes : Série chronologique des coûts des catastrophes naturelles en pourcentage du PIB provincial mensuel par province. Le coût d'une catastrophe touchant différentes provinces et sur plusieurs mois est réparti en fonction de la population de chaque province affectée et du nombre de jours pendant lesquels la catastrophe a duré chaque mois. Les symboles de coût sont en log (base 10). Les valeurs manquantes proviennent de l'absence d'information sur les coûts dans la base de données BDC pour ces catastrophes.

deux enquêtes menées par Statistique Canada : l'Enquête sur la population active (EPA) et l'Enquête sur l'emploi, la rémunération et les heures de travail (EERH).⁸

L'EPA fournit les taux d'emploi provinciaux mensuels et les heures hebdomadaires moyennes travaillées, à partir de 1980 et 1986, respectivement.^{9,10} Cette enquête est administrée à un échantillon représentatif de Canadiens en âge de travailler qui ne sont pas institutionnalisés. Les répondants à l'enquête fournissent des informations détaillées sur leur statut d'emploi et les heures travaillées pour la semaine contenant le 15 du mois, c'est-à-dire la semaine de référence. Le calendrier de l'enquête pose un défi mais offre aussi une opportunité. D'une part, si une catastrophe survient après la semaine de référence d'un mois donné, la variable du marché du travail dans l'observation de ce mois ne reflétera pas les changements causés par la catastrophe par construction. Pour résoudre ce défi de calendrier, nous réarrangeons nos données sur les catastrophes de sorte qu'un mois commence après la semaine de référence d'un mois et se termine après celle du mois suivant. D'autre part, le calendrier de l'enquête durant une semaine de référence spécifique permet une évaluation plus détaillée de l'impact hebdomadaire des catastrophes naturelles, car nous avons des informations sur le jour de début de la catastrophe.

À partir de cette enquête, nous construisons également une mesure continue de l'écart d'emploi provincial mensuel, défini comme la différence en pourcentage entre le taux d'emploi provincial mensuel réel et la tendance filtrée par Hodrick-Prescott de l'emploi provincial (en utilisant un paramètre de lissage de

⁸Lorsque nécessaire, les données sont ajustées saisonnièrement à l'aide de la procédure d'ajustement saisonnier X12.

⁹Le taux d'emploi provient de Tableau 14-10-0022-01, et les heures travaillées proviennent de Tableau 14-10-0036-01 de l'EPA de Statistique Canada.

¹⁰Les heures travaillées dans les données d'enquête contiennent des valeurs aberrantes, possiblement dues à des jours fériés tombant parfois dans la semaine de référence ou à d'autres facteurs (Cociuba et al. [26]). Nous supprimons donc les séries d'heures travaillées comme suit. Lorsque les heures travaillées pour une semaine donnée s'écartent de plus de deux heures au-dessus ou au-dessous de la moyenne des observations précédente et suivante, nous les remplaçons par la valeur de l'observation précédente. Cela revient à supprimer environ 5% des observations. Cependant, nous ne supprimons pas si un pic survient dans la même province/mois qu'une catastrophe naturelle, pour tenir compte de la possibilité que des changements inhabituels dans les heures travaillées soient effectivement causés par des catastrophes naturelles.

14 400 pour les données mensuelles). Nous utilisons cela comme un indicateur du chômage du marché du travail lors de l'examen des réponses du marché du travail dépendantes de l'état aux catastrophes naturelles.

L'autre source de nos données sur le travail provient de la EERH, qui fournit des données sur la croissance salariale provinciale mensuelle depuis 2001.¹¹ Cette enquête recueille des données administratives sur l'emploi mensuel dans un ensemble d'établissements. Nous transformons les données nominales en salaires réels en utilisant l'IPC provincial mensuel.¹²

Enfin, pour évaluer les canaux expliquant la réponse dans nos principales mesures du marché du travail, nous incluons également des données sur les sorties d'entreprises et la migration interprovinciale. Ces données proviennent également de Statistique Canada.

Nous utilisons les données trimestrielles sur les sorties d'entreprises à partir de 2000 issues du Programme d'analyse longitudinale de l'emploi (PALE).¹³ Nous calculons le taux de sortie permanent (temporaire) en divisant le nombre d'entreprises sortant définitivement (temporairement) au cours d'un trimestre par le nombre total d'entreprises du trimestre précédent. Cela permet d'évaluer plus précisément l'effet des catastrophes sur la demande de travail.

Nous utilisons également les données trimestrielles sur la migration interprovinciale depuis 1980 issues des Estimations démographiques trimestrielles de Statistique Canada.¹⁴ Ces données nous permettent de mettre en lumière l'effet des catastrophes sur l'offre de travail en calculant le pourcentage de la population migrant hors de la province au cours d'un trimestre donné depuis 1980.

1.3 Méthodologie

Nous évaluons l'impact des catastrophes naturelles en utilisant le cadre de projection locale de Jordá [67]. Ce cadre a été étendu pour être appliqué dans un cadre de panel (voir Tran and Wilson [102] et Miyamoto et al. [86], par exemple). Nous présentons d'abord notre spécification de base avant de souligner diverses extensions pour explorer des sources alternatives d'hétérogénéité.

Dans tous nos modèles, la variable dépendante est soit le changement du taux d'emploi provincial mensuel, soit la moyenne des heures hebdomadaires travaillées, soit la croissance des salaires réels entre un mois h d'intérêt et le mois précédant le début d'une catastrophe ($\Delta Y_{i,t+h:t-1} \equiv Y_{i,t+h} - Y_{i,t-1}$).

1.3.1 Modèles de base

Effets mensuels des catastrophes naturelles

Dans notre configuration de base, la principale variable d'intérêt est une variable binaire $\mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}$ qui indique la survenue d'une catastrophe de tout type au cours d'un mois et dans une province donnée (Figure 1.1) :

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} = & c + \alpha_h \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t} + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (1.1)$$

L'équation (1.1) est estimée à l'aide d'un panel mensuel de 10 provinces canadiennes (indexées par i) pour chaque horizon $h=0, \dots, 30$. Ainsi, le coefficient α_h quantifie l'impact dynamique moyen d'une catastrophe sur l'une de nos trois variables du marché du travail au fil du temps. Si plusieurs catastrophes

¹¹La moyenne mensuelle des gains nominaux hebdomadaires (y compris les heures supplémentaires) provient de Tableau 14-10-0223-01 de la EERH de Statistique Canada. Plus de détails sur la conception de l'enquête sont disponibles sur le site Web de Statistique Canada dédié à la EERH : <https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvey&SDDS=2612>.

¹²L'IPC provincial mensuel provient de Tableau 18-10-0004-01 de Statistique Canada.

¹³Les données sur l'entrée et la sortie des entreprises proviennent du Tableau 33-10-0165-01 du Programme d'analyse longitudinale de l'emploi (PALE).

¹⁴Les données sur la migration interprovinciale trimestrielle proviennent du Tableau 17-10-0045-01 des Estimations démographiques trimestrielles.

surviennent successivement en peu de temps, elles peuvent biaiser l'effet. Par conséquent, nous contrôlons la possibilité que d'autres catastrophes aient eu lieu plusieurs mois avant la catastrophe d'intérêt ($p = -12, \dots, -1$) ou entre un mois après l'impact et l'horizon examiné (c'est-à-dire, $p = 1, \dots, h$).¹⁵ Nous incluons également trois retards de la variable dépendante et de la croissance du PIB provincial pour capturer les conditions économiques provinciales passées. Nous incluons des effets fixes de province (η_i), de mois (η_m) et de province/mois ($\eta_{i,m}$) pour éliminer les effets spécifiques à la province et toute saisonnalité restante sur le marché du travail. Nous ajoutons également un effet fixe annuel (η_y) pour contrôler les changements communs dans la volatilité de l'emploi au fil du temps ou les effets possibles des changements de température lents.¹⁶ Le terme d'erreur mensuel provincial pour l'horizon h est noté $\epsilon_{i,t+h}$. Nous utilisons des erreurs standards robustes à l'hétéroscédasticité.¹⁷

Effets hebdomadaires des catastrophes naturelles

Nous pouvons obtenir des informations supplémentaires sur la réponse des taux d'emploi et des heures travaillées au cours du premier mois (c'est-à-dire $h = 0$) en exploitant la conception de l'EPA. Bien que l'EPA soit une enquête mensuelle, elle est menée durant la semaine de référence qui inclut le 15 du mois. Comme illustré dans la Figure 1.6, nous pouvons trier les occurrences de catastrophes en fonction de leur proximité avec la semaine de référence. En utilisant cette information, nous étudions les effets hebdomadaires d'une catastrophe.

Nous estimons une équation par semaine $w = 0, \dots, 4$:

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t:t-1} = & c + \alpha_w \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^w + \sum_{p=-12}^{-1} \alpha_w^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_w^\tau \Delta Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_w^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

où $\mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^w$ est une variable binaire qui prend la valeur 1 si une catastrophe se produit w semaines avant la semaine de référence du mois t pour la province i . Ainsi, $\alpha_{w=0}$ capture l'effet d'une catastrophe survenant au cours de la semaine de référence, $\alpha_{w=1}$ celui d'une catastrophe survenant une semaine avant la semaine de référence, etc. Ainsi, $\{\alpha_w\}_{w=0}^4$ représente les réponses impulsionnelles hebdomadaires après une catastrophe.

1.3.2 Hétérogénéité selon les états économiques

Nous explorons les effets potentiels dépendants des états des catastrophes sur le marché du travail à l'aide d'un modèle de projection locale à transition lisse (Auerbach and Gorodnichenko [7], Choi et al. [23]). Supposons que $z_{i,t}$ désigne une variable déterminant l'état de l'économie provinciale. Nous construisons une fonction logistique F comme suit :

$$F(z_{i,t}) \equiv \frac{\exp(-\gamma[\frac{z_{i,t}-c_z}{\sigma_z}])}{1 + \exp(-\gamma[\frac{z_{i,t}-c_z}{\sigma_z}])}, \quad (1.3)$$

où c_z et σ_z désignent la moyenne et l'écart-type de l'échantillon de $z_{i,t}$. Le paramètre de transition γ détermine la vitesse de transition entre les états. Cette fonction peut être comprise comme représentant la probabilité d'être dans un état élevé ou faible de $z_{i,t}$, le modèle de projection locale à transition lisse

¹⁵Les catastrophes qui se sont produites plus de 12 mois avant celles d'intérêt ne sont pas prises en compte, car nos principaux résultats ne montrent pas beaucoup d'effet persistant au-delà de 12 mois sur les marchés du travail. L'exclusion de ces contrôles n'a que peu d'impact sur nos résultats.

¹⁶Nous pouvons également contrôler les températures provinciales en utilisant les données de Vincent et al. [104] sur les températures maximales quotidiennes moyennes mensuelles et les stations météorologiques de chaque province. Le contrôle de l'écart par rapport à la moyenne mensuelle des températures provinciales pré-1990 n'a pas modifié les résultats.

¹⁷Les variables dépendantes retardées utilisées comme contrôle corrigent déjà une autocorrélation possible dans les résidus. Ainsi, des erreurs standards robustes à l'hétéroscédasticité et à l'autocorrélation (Newey-West HAC) produisent des résultats similaires.

étant représenté comme suit :

$$\begin{aligned}\Delta Y_{i,t+h:t-1} &= F(z_{i,t-1}) \{c^P + \alpha_h^P \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}\} + (1 - F(z_{i,t-1})) \{c^N + \alpha_h^N \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}\} \\ &+ \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} \\ &+ \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}.\end{aligned}\quad (1.4)$$

Nous utilisons l'écart d'emploi provincial comme un proxy pour l'excédent de main-d'œuvre afin de capturer les transitions entre différents états de l'économie. Nous fixons $c_z = 0$ comme l'écart d'emploi moyen, ce qui est théoriquement nul. Notez que ce modèle peut être compris comme une généralisation d'un modèle qui interagit une variable indicatrice pour un écart de production positif ou négatif avec la variable indicatrice de catastrophe naturelle. Si $\gamma \rightarrow \infty$, alors $F \rightarrow 0$ lorsque $z_{i,t} > c_z$ ou $F \rightarrow 1$ lorsque $z_{i,t} < c_z$: avec $c_z = 0$, cela revient à avoir une variable indicatrice qui est 0 lorsque l'excédent de main-d'œuvre est positif et 1 lorsqu'il est négatif. L'avantage d'utiliser la transition lisse est de garantir que nos résultats de dépendance à l'état ne sont pas influencés par des observations qui ont un excédent de main-d'œuvre marginalement positif ou négatif. Ces états très similaires seraient autrement classés de manière arbitraire dans un état binaire en utilisant une variable indicatrice. Cependant, nos résultats sont quantitativement similaires lorsqu'une variable indicatrice pour l'excédent de main-d'œuvre positif ou négatif est utilisée à la place de la transition lisse. Comme nous utilisons des données mensuelles, nous fixons $\gamma = 3$, mais d'autres paramètres $\gamma \gg 0$ donnent également des résultats similaires. Si $\gamma \rightarrow 0$, alors $F \rightarrow 1/2$ indépendamment de la valeur de $z_{i,t}$ et le modèle devient non informatif sur la dépendance à l'état et se réduit à l'Équation (1.1).

1.3.3 Hétérogénéité selon l'intensité des catastrophes

Nous étendons l'Équation (1.1), qui utilise une variable indicatrice binaire de catastrophe, pour capturer également l'intensité des catastrophes. Comme dans la Figure 1.2, la sévérité des catastrophes est représentée par le coût total encouru normalisé par le niveau du PIB provincial mensuel, $cost_{i,t}^d$.¹⁸

$$\begin{aligned}\Delta Y_{i,t+h:t-1} &= c + \alpha_h \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t} + \beta_h cost_{i,t} + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} \\ &+ \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}\end{aligned}\quad (1.5)$$

La combinaison des paramètres ajustés $\{\hat{\alpha}_h, \hat{\beta}_h\}$ sur différents horizons dans l'Équation (1.5) permet de calculer les impacts marginaux des catastrophes avec des coûts totaux de diverses magnitudes. Par exemple, l'effet d'une catastrophe avec un coût médian $p50$ ou un coût dans le 95e percentile $p95$ à un horizon donné h peut être écrit comme $\hat{\alpha}_h + \hat{\beta}_h \cdot p50$ et $\hat{\alpha}_h + \hat{\beta}_h \cdot p95$, respectivement.

Alternativement, nous utilisons une autre mesure de l'intensité des catastrophes basée sur l'utilisation des Arrangements d'Aide Financière en Cas de Catastrophe (DFAA) après une catastrophe. Le DFAA est un programme fédéral mis en place en 1970 pour fournir une aide financière aux gouvernements provinciaux et territoriaux. Il est déclenché en cas de catastrophes naturelles de grande envergure lorsque les coûts de réponse et de récupération dépassent ce que les provinces ou territoires individuels pourraient raisonnablement être censés supporter seuls. Par conséquent, nous divisons les catastrophes naturelles en celles avec ou sans subventions DFAA ($\mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^P$ et $\mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^{NP}$) et estimons le modèle suivant :

$$\begin{aligned}\Delta Y_{i,t+h:t-1} &= \alpha_h^P \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^P + \alpha_h^{NP} \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^{NP} + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} \\ &+ \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}.\end{aligned}\quad (1.6)$$

¹⁸Toutes les catastrophes signalées n'ont pas de coût estimé. Notre spécification suppose implicitement que le coût de ces catastrophes sans coût rapporté est faible et n'a donc pas été systématiquement enregistré. Des résultats similaires sont obtenus si nous contrôlons cette information manquante en séparant les variables indicatrices de catastrophes avec ou sans coûts enregistrés.

Comme contrôle de robustesse dans l'Appendice A.3 et A.4, nous utilisons d'autres mesures alternatives de l'intensité des catastrophes et nous examinons si les catastrophes ont des effets non linéaires en fonction de leur intensité pour différents types de catastrophes.

1.3.4 Hétérogénéité au fil du temps

Bien qu'il ne soit pas possible de démêler la source des variations temporelles dans la réponse aux catastrophes, nous considérons l'effet net de ces influences structurelles sur les marchés du travail au fil du temps. Pour ce faire, nous exploitons notre équation de projection locale lisse avec quelques modifications pour évaluer l'effet de l'hétérogénéité temporelle. De manière similaire à [70], nous remplaçons la fonction logistique utilisée pour lisser par une fonction linéaire au fil du temps (c'est-à-dire t/T), ce qui nous permet d'attribuer des poids différents en fonction du temps. C'est-à-dire :

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} &= \frac{t}{T} \{c^P + \alpha_h^P \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}\} + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \{c^N + \alpha_h^N \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}\} \\ &+ \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} \\ &+ \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

1.3.5 Hétérogénéité selon le type de catastrophe

Enfin, nous étendons notre équation de base (1.1) pour explorer l'hétérogénéité selon les types de catastrophes de la Figure 1.1. Nous incluons des variables indicatrices séparées pour chaque type de catastrophe, de sorte que $\mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^d$ est maintenant également indexé par $d=1, \dots, 4$ pour chacun des quatre types de catastrophes : incendie de forêt, inondation, tempête et tempête hivernale.

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} &= c + \sum_{d=1}^4 \left\{ \alpha_h^d \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^d + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^{d,p} \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p}^d \right\} \\ &+ \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

1.4 Résultats

1.4.1 Résultats du modèle de base

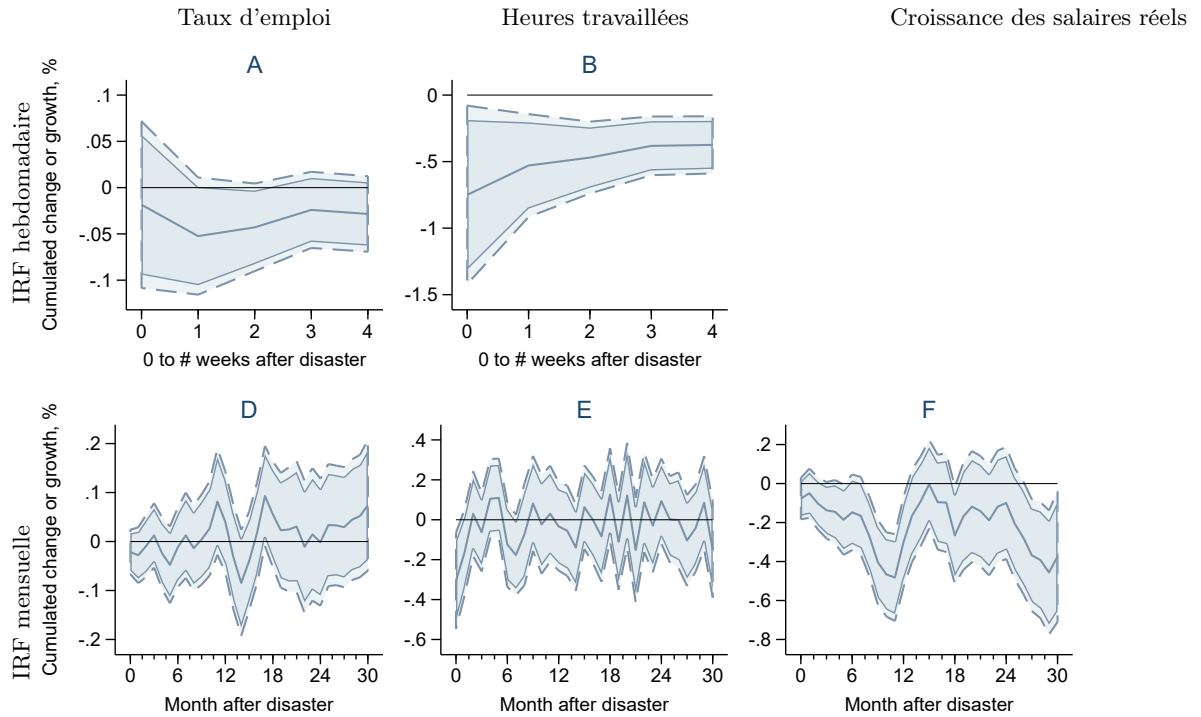
La figure 1.7 présente les réponses impulsionnelles estimées du taux d'emploi provincial, des heures hebdomadaires moyennes travaillées et de la croissance des salaires réels après une catastrophe naturelle. Nous traçons à la fois les réponses hebdomadaires et mensuelles obtenues à partir des équations (1.1) et (1.2).

L'effet initial d'une catastrophe se fait sentir sur les heures travaillées, qui chutent de plus d'une demi-heure, restant notablement déprimées pendant les 4 premières semaines (Figure 1.3-B). Cet effet est sans surprise et est probablement dû aux interruptions attendues du travail en raison des dommages aux propriétés et infrastructures.

Au cours des mois suivants, l'effet sur les heures travaillées disparaît (Figure 1.3-E). Il est intéressant de noter que nous ne trouvons pas d'effet statistiquement significatif sur le taux d'emploi (Figure 1.3-D). Cependant, nous observons une réduction significative de la croissance des salaires à partir de 6 mois (Figure 1.3-F).¹⁹ Pour mieux comprendre le mécanisme à l'origine de cette réduction globale du niveau d'équilibre de la croissance des salaires, nous examinons deux canaux qui peuvent expliquer la réponse post-catastrophe, à savoir : les changements dans la demande de travail via les taux de fermeture des

¹⁹La baisse de la croissance des salaires réels n'est pas due aux changements dans l'inflation. Duprey and Fernandes [34] montrent que les catastrophes naturelles au Canada influencent l'inflation pour certaines catastrophes, lorsque l'économie est particulièrement faible, et à travers des composants spécifiques comme le logement et l'énergie. Cependant, l'effet global de l'inflation est insignifiant, suggérant que l'inflation n'est probablement pas le principal moteur de la baisse des salaires réels.

Figure 1.3: Impacts des catastrophes naturelles sur les marchés du travail



Notes : Impact sur l'emploi (points de pourcentage, panneaux de gauche), les heures travaillées (nombre d'heures, panneaux du milieu) et la croissance des salaires réels (pourcentage, panneaux de droite) de 0 à 30 mois avec les intervalles de confiance de 90 et 95% en utilisant les équations (1.1) et (1.2). Notez que la fonction de réponse impulsionnelle hebdomadaire est possible grâce à la conception unique de l'Enquête sur la population active, mais ce n'est pas la source de données pour la croissance des salaires réels, donc le panneau C n'est pas disponible.

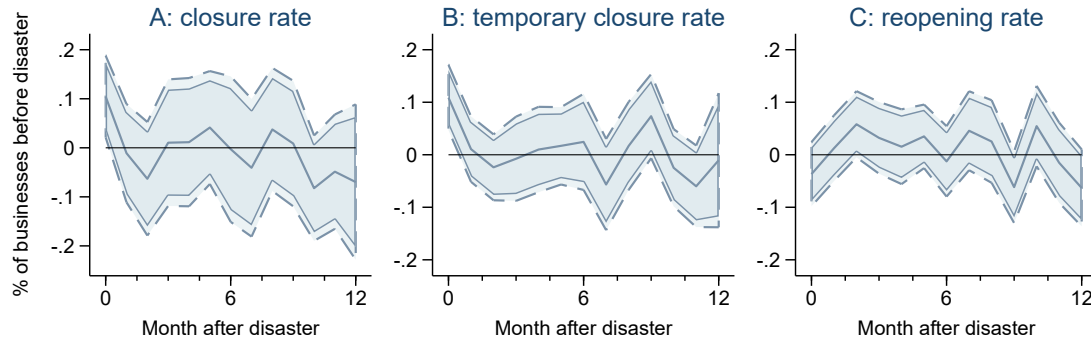
entreprises, et les changements dans l'offre de travail via le pourcentage de la population migrant hors de la province.

Ainsi, en examinant la demande de travail, nous constatons une petite chute immédiate et temporaire due aux fermetures d'entreprises (Figure 1.4), ce qui est cohérent avec la chute des heures travaillées observée au cours des 4 premières semaines après une catastrophe. Cet effet est principalement dû aux fermetures temporaires (Panneau B), probablement en raison des dommages matériels, du capital ou des infrastructures subis lors de l'événement. Cependant, les fermetures temporaires ne se traduisent pas nécessairement par des sorties permanentes. Par conséquent, les fermetures d'entreprises (c'est-à-dire le canal de la demande de travail) à elles seules ne peuvent pas expliquer la réduction de la croissance des salaires.

En fait, à moyen terme, le canal influençant la dynamique des salaires passe de la demande de travail à l'offre de travail. Nous traçons la réponse impulsionnelle de la migration interprovinciale après une catastrophe naturelle dans la Figure 1.5 (ligne grise) et trouvons un effet positif sur l'exode net, impliquant une augmentation de la migration hors de la province, ce qui est cohérent avec Leduc and Wilson [80]. Cet effet semble persister dans le temps, car l'effet cumulé capturé par la fonction de réponse impulsionnelle dans la Figure 1.4 augmente, reflétant probablement un ajustement ultérieur de l'offre de travail à la réduction des opportunités d'emploi, probablement dues aux fermetures d'entreprises directement après la catastrophe. Sans surprise, cet effet sur l'offre de travail est amplifié lors des périodes de ralentissement du marché du travail, principalement dû à une réduction statistiquement significative de l'immigration dans la province après la catastrophe (Figure 1.5 (ligne rouge)).²⁰ Intuitivement, les travailleurs sont peu susceptibles d'encourir le coût de migrer vers des provinces après qu'une catastrophe ait causé des destructions et des fermetures d'entreprises, réduisant les opportunités d'emploi, surtout si les conditions

²⁰Nous explorons l'effet des périodes de tension et de ralentissement sur le marché du travail dans la section 1.4.5.

Figure 1.4: Réponse impulsionnelle des entreprises après une catastrophe naturelle



du marché du travail étaient déjà défavorables.

Cependant, si la demande de travail est initialement réduite en raison des fermetures temporaires, et que l'offre de travail baisse dans les mois suivants, alors l'effet global sur les salaires devrait être neutre. C'est en fait ce que nous observons lorsque nous estimons l'effet de la catastrophe sur le secteur de la production (Figure 1.6-A). Intuitivement, les entreprises du secteur de la production pourraient réduire la demande de travail en sortant temporairement après la catastrophe en raison des coûts associés à la destruction ou aux interruptions de production. Cela pourrait ensuite être compensé par une réduction subséquente de l'offre de travail, les travailleurs potentiels optant pour une migration vers d'autres provinces où les opportunités d'emploi n'ont pas été réduites par les catastrophes.²¹

Cependant, de manière similaire à la réponse observée lors de l'utilisation de l'échantillon complet (Figure 1.3-F), nous constatons une réduction substantielle de la croissance des salaires pour le secteur des services (Figure 1.6-B). Cette réponse élastique des salaires dans ce secteur pourrait être due à d'autres facteurs :

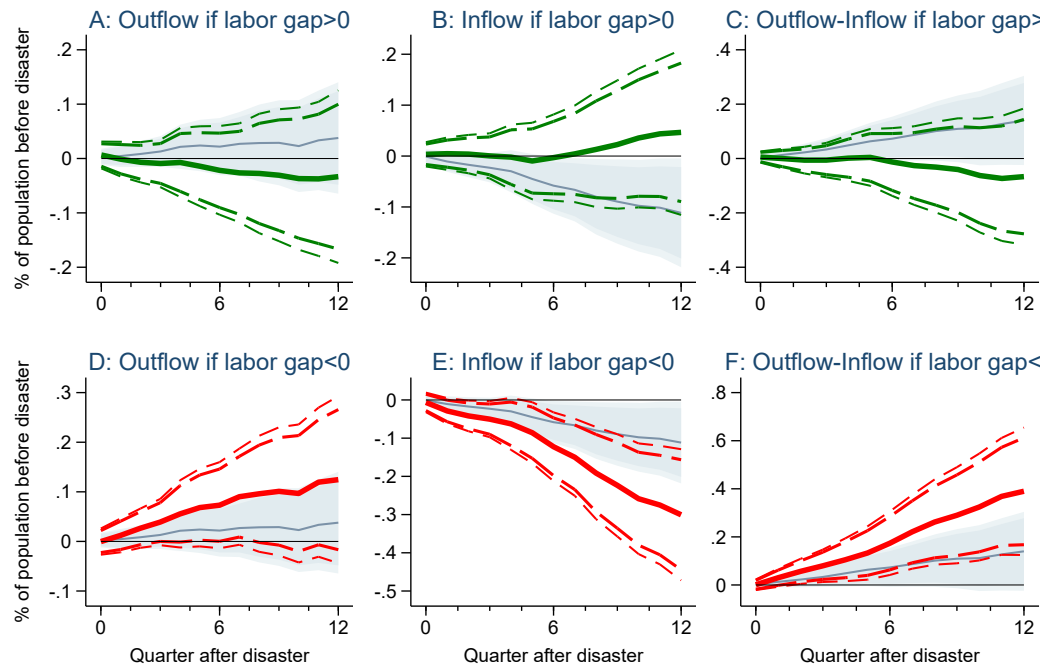
1. Les travailleurs du secteur des services sont plus mobiles et sont donc responsables de la majeure partie de la migration interprovinciale après la catastrophe. Cela pourrait entraîner des changements dans la composition de la main-d'œuvre, surtout si cet effet est concentré parmi les travailleurs à revenu élevé.
2. La réduction de la demande de travail domine la réduction de l'offre de travail, entraînant une pression à la baisse sur les salaires. Cela pourrait être le cas si les fermetures temporaires se traduisent par des sorties permanentes dans le secteur des services. Cet effet est documenté par [57] qui montre que la croissance des salaires est négativement affectée pour les travailleurs employés dans des secteurs avec de nombreuses fermetures d'entreprises.
3. Les travailleurs se relocalisent dans des entreprises plus petites après la catastrophe, ce qui réduit la croissance des salaires. Huynh et al. [57] documentent également le changement dans les distributions de probabilité des travailleurs licenciés, tant pour les hommes que pour les femmes. Ils constatent que les travailleurs se déplaçant vers une entreprise plus petite après un licenciement connaissent un déclin dans la distribution de la probabilité de la croissance salariale, tandis que les hommes se déplaçant vers une plus grande entreprise connaissent une croissance. Ainsi, si les catastrophes forcent les travailleurs à se déplacer vers des entreprises plus petites, cela pourrait expliquer la réduction de la croissance salariale.

1.4.2 Dépendance de l'état à la réponse du marché du travail aux catastrophes

Sur la base du modèle dépendant de l'état (Équation (1.7)), nous constatons que les catastrophes naturelles affectent de manière disproportionnée le marché du travail pendant les périodes de forte tension

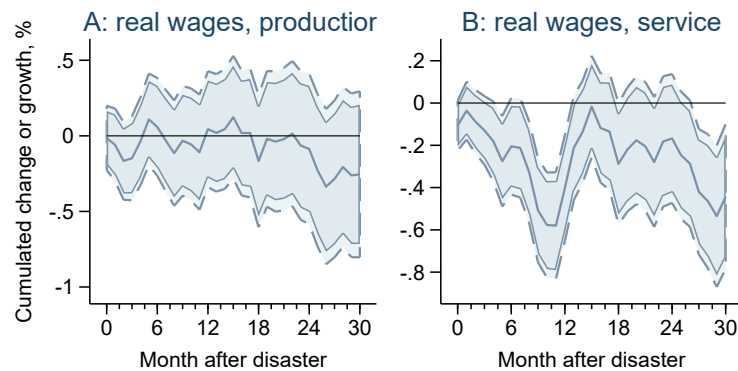
²¹ Notez que nous ne sommes pas en mesure d'estimer la migration interprovinciale par secteur.

Figure 1.5: Réponse impulsionnelle de la migration interprovinciale après une catastrophe naturelle



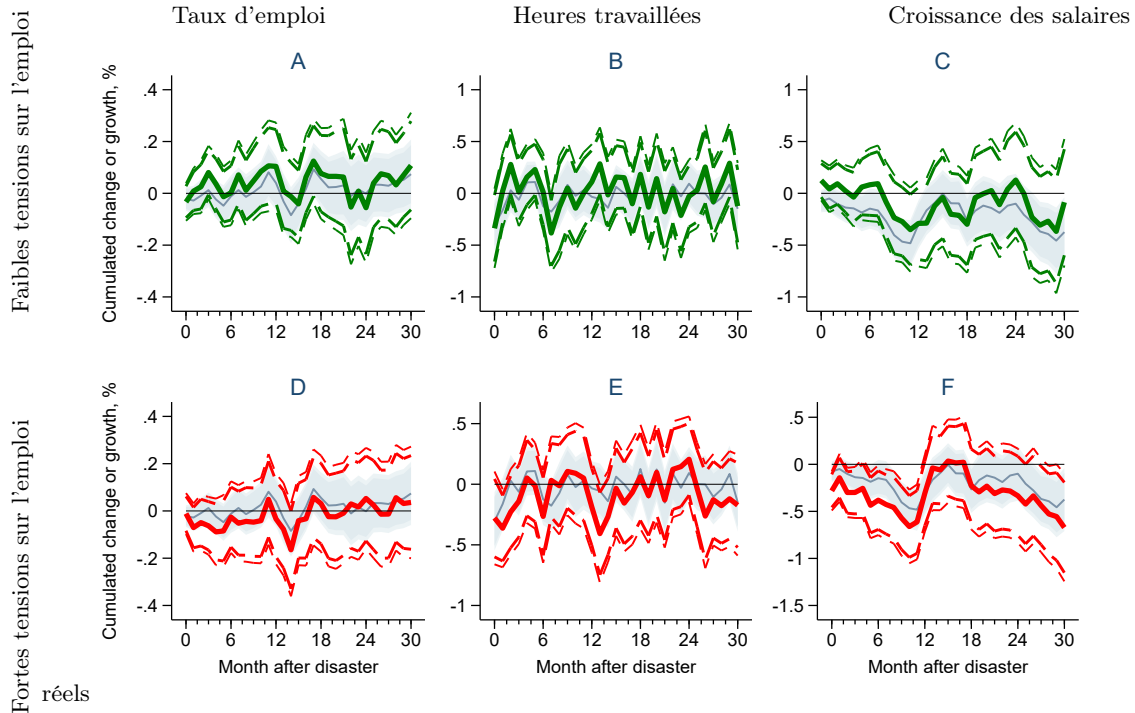
Notes : La ligne grise représente la réponse impulsionnelle moyenne de la migration interprovinciale en pourcentage de la population avant la catastrophe pour toute la période de l'échantillon. La ligne verte correspond aux périodes de tension sur le marché du travail, tandis que la ligne rouge correspond aux périodes de ralentissement du marché du travail.

Figure 1.6: Réponse impulsionnelle des entreprises après une catastrophe naturelle



sur l'emploi, catalysant probablement des ajustements économiques douloureux lors des récessions. En revanche, les marchés du travail tendus montrent une plus grande résilience face aux catastrophes naturelles dans l'ensemble.

Figure 1.7: Ajustement dépendant de l'état des marchés du travail : réponses mensuelles



Notes : Impacts dépendants de l'état d'une catastrophe naturelle sur l'emploi (points de pourcentage, panneaux de gauche), les heures travaillées (nombre d'heures, panneaux du milieu) et la croissance des salaires réels (pourcentage, panneaux de droite) de 0 à 30 mois avec les intervalles de confiance de 90 et 95% utilisant l'Équation (1.7).

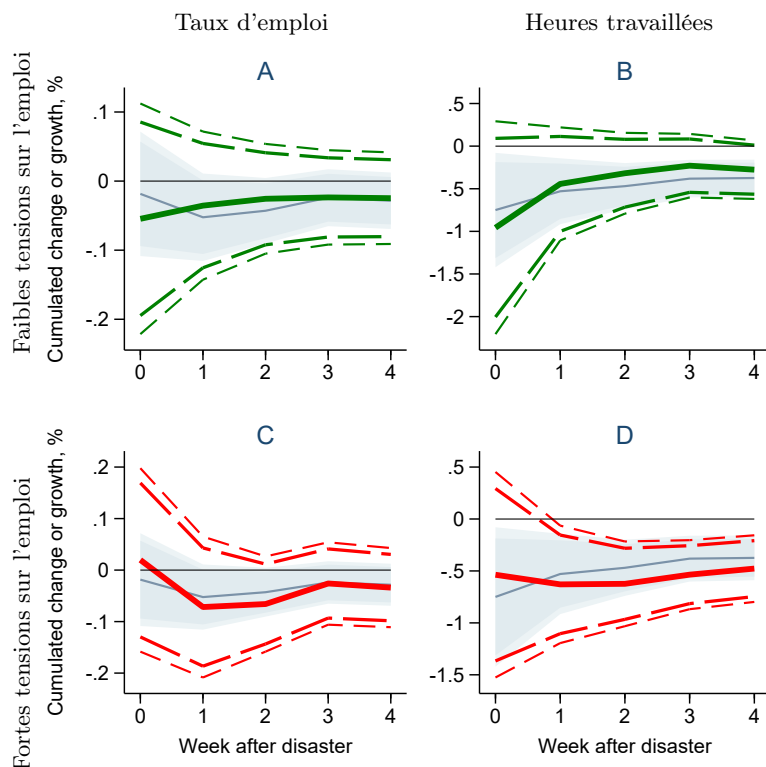
La figure 1.7 montre les réponses impulsionnelles dépendantes de l'état, ce qui contraste avec les résultats de base de la Section 1.4.1 où la dépendance de l'état n'était pas prise en compte (ligne grise). Il est à noter que la croissance salariale plus faible ainsi que les heures travaillées plus faibles observées dans la ligne de base sont principalement dues aux réponses dans l'état de fortes tensions sur l'emploi (Figure 1.7-F, -E). De manière similaire, nous observons une diminution des heures travaillées entre une et quatre semaines après une catastrophe naturelle, en particulier dans l'état de fortes tensions sur l'emploi (Figure 1.8). Enfin, nous constatons que l'impact insignifiant sur l'emploi global dans la ligne de base est dû à des forces opposées dans les deux états ; pendant les périodes de faibles tensions sur l'emploi, l'emploi à temps plein peut augmenter tandis que l'emploi à temps partiel peut diminuer ; en revanche, pendant les périodes de fortes tensions sur l'emploi, l'emploi à temps plein peut diminuer tandis que l'emploi à temps partiel peut augmenter (Figure 1.8).

1.4.3 Dépendance de la taille de la réponse du marché du travail aux catastrophes

La figure 1.9 illustre les effets marginaux d'un choc selon la gravité de la catastrophe, en utilisant l'Équation (1.5). Plus précisément, les panneaux D à F affichent l'effet marginal pour une catastrophe de coût médian, et les panneaux G à I pour une catastrophe avec des coûts dans le 95e percentile.

Une découverte importante qui se distingue est que les catastrophes plus grandes produisent des effets plus forts et plus persistants sur la croissance des salaires (Figure 1.9-F). Pour les catastrophes de coût médian, la croissance des salaires réels diminue de 50 points de base dans l'année suivant l'événement, tandis qu'elle diminue de 80 points de base pour les catastrophes ayant les coûts les plus élevés. Il

Figure 1.8: Ajustement dépendant de l'état des marchés du travail pendant les quatre premières semaines



Notes : Réponses hebdomadaires dépendantes de l'état de l'emploi (points de pourcentage, panneaux de gauche), des heures travaillées (nombre d'heures, panneaux du milieu) et de la croissance des salaires réels (pourcentage, panneaux de droite) à une catastrophe naturelle, avec les intervalles de confiance de 90 et 95%. Les réponses sont obtenues à partir d'une version étendue de l'Équation (1.2) pour intégrer la dépendance de l'état comme dans l'Équation (1.7).

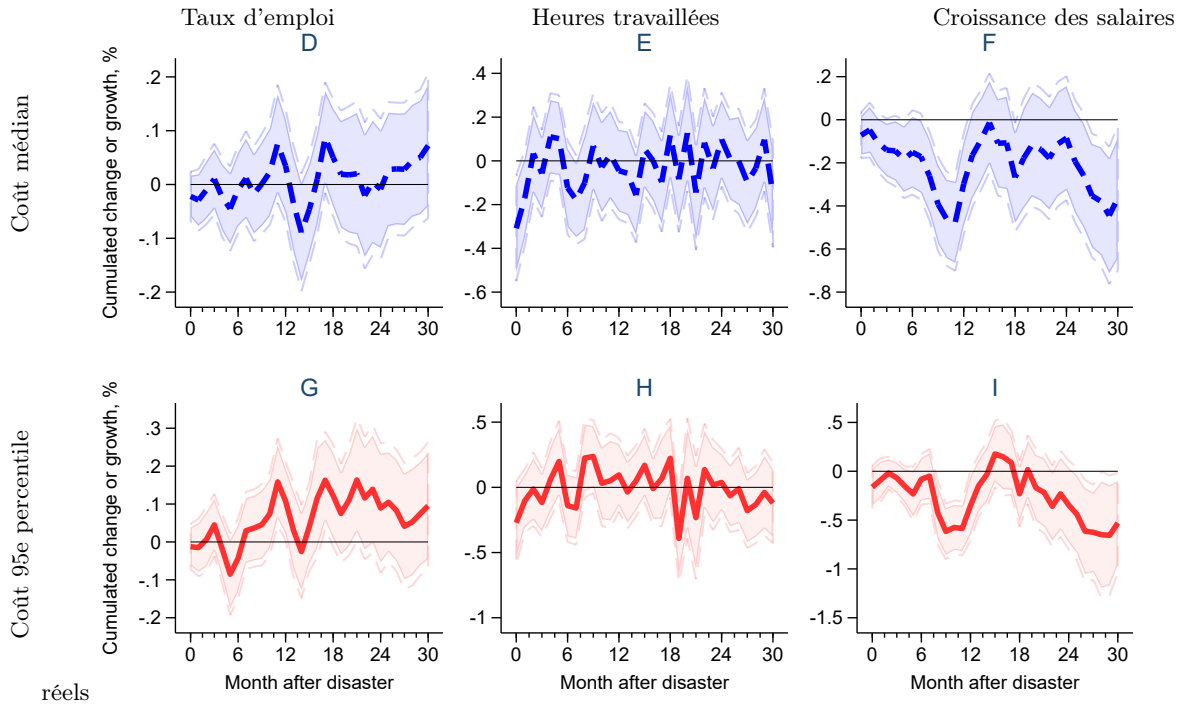
est intéressant de noter que l'effet sur les heures travaillées n'est plus significatif pour les plus grandes catastrophes (Figure 1.9-H), tandis que nous observons une augmentation positive et temporaire d'environ 20 points de base du taux d'emploi environ un an après l'événement (Figure 1.9-G). Cela pourrait refléter un certain réemploi pour remplacer les travailleurs déplacés après la catastrophe. Cependant, malgré un léger rebond de l'emploi, la pression à la baisse sur les salaires persiste même trois ans plus tard, avec une réduction de la croissance salariale de plus de 100 points de base. La réallocation et/ou la migration pourraient être des moteurs probables de cette diminution ; par exemple, Coulombe and Rao [28] documentent la migration hors des comtés des États-Unis après des incendies de forêt, ce qui pourrait entraîner des changements dans la composition du marché du travail local.

Nous explorons plus avant les impacts dépendants de la taille des catastrophes en nous concentrant individuellement sur les trois catastrophes les plus graves survenues pendant notre période d'échantillonnage : l'incendie de Fort McMurray en 2016, les inondations de l'Alberta en 2013 et la tempête de glace de 1998 dans l'Annexe A.5.

1.4.4 Dépendance temporelle des réponses du marché du travail aux catastrophes

Au fil du temps, deux forces opposées peuvent influencer l'impact des catastrophes naturelles sur le marché du travail. D'une part, le changement climatique peut augmenter la fréquence et la gravité des catastrophes naturelles, aggravant ainsi leur impact. D'autre part, les économies provinciales peuvent s'adapter en augmentant les dépenses publiques et en renforçant la résilience. Bien que nous ne puissions pas séparer de manière définitive les effets de ces forces opposées au fil du temps, nous pouvons inférer quel facteur prédomine à différentes périodes en pondérant les différents points dans le temps de notre

Figure 1.9: Ajustement dépendant de la taille des marchés du travail à une catastrophe



Notes : Impact sur l'emploi (point de pourcentage, panneaux de gauche), les heures travaillées (nombre d'heures, panneaux du milieu) et la croissance des salaires réels (pourcentage, panneaux de droite) de 0 à 30 mois, avec les intervalles de confiance de 90 et 95%. Effets d'une catastrophe avec un coût enregistré au médian (rangée du haut) ou au 95e percentile de la distribution (rangée du bas) basés sur l'Équation (1.5).

échantillon.

La figure 1.11 présente la fonction de réponse impulsionnelle (IRF) de la période la plus ancienne de notre échantillon (ligne verte)²² et de la période la plus récente (ligne rouge), superposée à l'effet moyen sur l'ensemble de la période (c'est-à-dire l'estimation de base représentée par la ligne grise). Encore une fois, l'effet le plus significatif est observé sur la croissance des salaires. Ici, nous notons que l'effet négatif sur les salaires s'est aggravé, passant de statistiquement insignifiant en 2000 à plus négatif que l'effet moyen estimé en 2019. Cela suggère que l'adaptation des marchés du travail n'a pas suffisamment suivi l'aggravation des catastrophes naturelles.

1.4.5 Dépendance au type de réponse du marché du travail face aux catastrophes

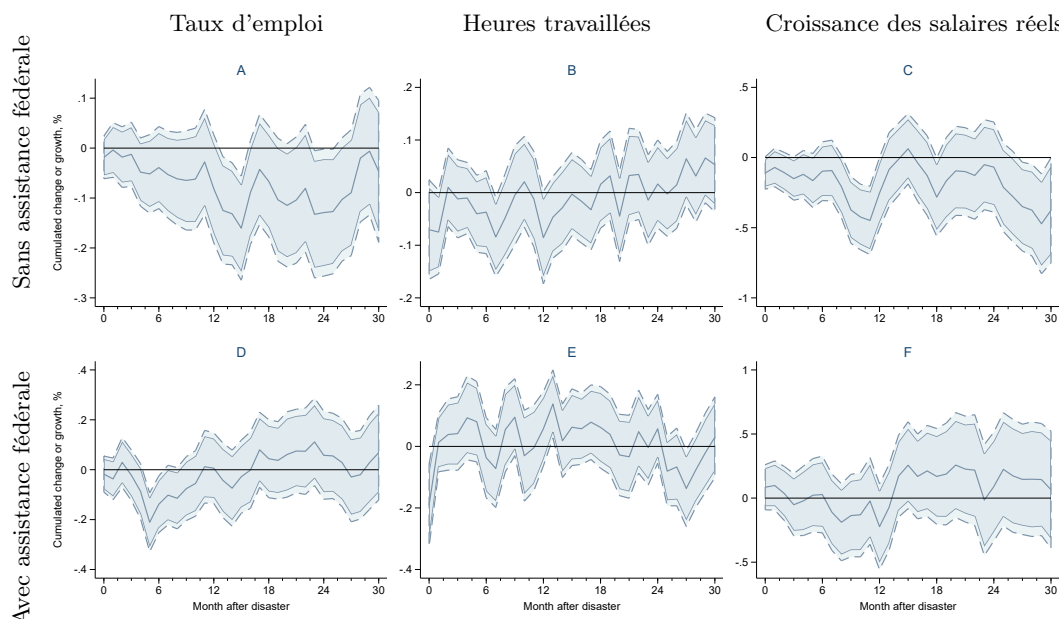
Nous observons des différences significatives dans la manière dont le marché du travail répond aux différents types de catastrophes. Par exemple, les incendies de forêt et les inondations suivent les tendances générales décrites dans les Sections 1.4.1 et 1.4.3. Cependant, les tempêtes semblent avoir des impacts plus localisés, et les grandes tempêtes hivernales entraînent en réalité des effets positifs sur l'emploi.

Effet des incendies de forêt

L'effet sur l'emploi pour les plus grands incendies de forêt est amplifié, bien que le soutien gouvernemental puisse atténuer en partie l'impact sur le marché du travail. L'emploi diminue de 25 points de base dans les six mois (Figure 1.17-G). La baisse initiale de l'emploi est compensée par une augmentation persistante des heures travaillées, qui dure jusqu'à deux ans après les plus grandes catastrophes (Figure

²²Pour le taux d'emploi et les heures travaillées, la période la plus ancienne est 1980, et pour la croissance des salaires réels, c'est 2000.

Figure 1.10: Impact de l'aide du gouvernement fédéral après une catastrophe naturelle

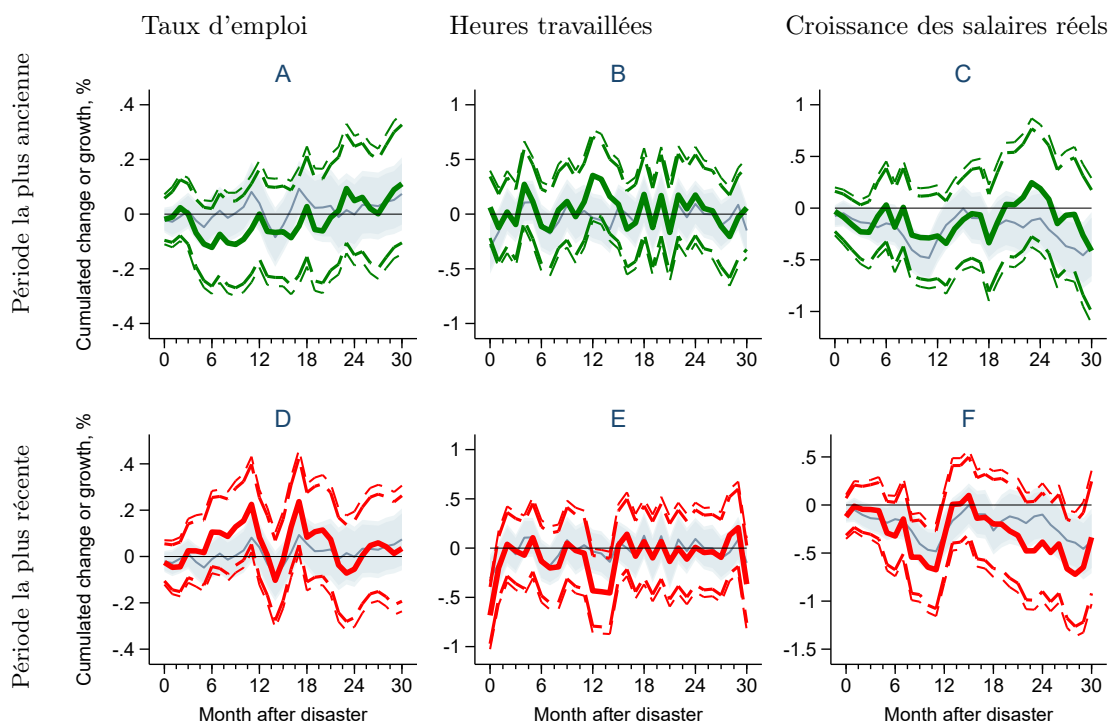


Notes : Impacts dépendants de l'état d'une catastrophe naturelle sur l'emploi (point de pourcentage, panneaux de gauche), les heures travaillées (nombre d'heures, panneaux du milieu) et la croissance des salaires réels (pourcentage, panneaux de droite) de 0 à 30 mois, avec les intervalles de confiance de 90 et 95%. Réponses du modèle avec des variables indicatrices de catastrophe naturelle divisées entre les catastrophes ayant entraîné un financement gouvernemental fédéral via le programme DFAA (rangée du bas) ou non (rangée du haut), Équation (1.6).

1.17-H). Ce schéma de taux d'emploi plus bas mais d'heures travaillées plus longues n'est observé que pour les incendies de forêt nécessitant une aide fédérale (Figure A.11-D et -E). Fait intéressant, les incendies de forêt suffisamment graves pour nécessiter une aide fédérale sont associés à une augmentation à court terme des salaires réels (Figure A.11-F), tandis que les salaires réels diminuent en l'absence d'aide fédérale (Figure A.11-C). Cela suggère que les efforts de récupération soutenus par le gouvernement fédéral atténuent effectivement certains des impacts négatifs sur le marché du travail. Cela s'aligne avec Dahlhaus et al. [30], qui constatent qu'une dette provinciale importante peut entraver la reprise économique après les incendies de forêt, sauf si un financement fédéral est disponible. De même, pour les incendies de forêt les plus graves (95e percentile des évacuations), bien que le taux d'emploi global ne change pas (Figure A.12-F), la baisse à court terme de l'emploi à temps plein est compensée par une augmentation de l'emploi à temps partiel.

Ces effets sont principalement dus au secteur des services (Figure A.2-A, -B, -C), avec une pression positive sur les heures travaillées dans le secteur du transport, partiellement compensée par une réduction des heures travaillées dans les secteurs de soutien aux entreprises, de gros et de détail. Bien qu'il n'y ait pas de réponse significative dans le secteur de la production globalement (Figure A.1-A, -B, -C), une analyse sectorielle plus poussée révèle une pression positive sur l'emploi dans les secteurs de la foresterie, de l'exploitation minière, du pétrole, des services publics et de la construction, ainsi qu'une pression positive sur les heures travaillées dans les secteurs de la foresterie, de l'exploitation minière et du pétrole, compensée par une forte baisse des heures travaillées dans le secteur agricole. Cet effet sectoriel est cohérent avec le fait que les provinces les plus exposées aux incendies de forêt se trouvent dans des forêts boréales, où les industries axées sur l'extraction des ressources dépendent fortement d'une main-d'œuvre intensive malgré les éventuels flux migratoires après les incendies de forêt.

Figure 1.11: L'effet de l'hétérogénéité temporelle sur les réponses du marché du travail aux catastrophes naturelles



Note : Nous comparons la fonction de réponse impulsionnelle (IRF) pour la première coupe transversale (en gris) et la dernière coupe transversale (2019) (en rouge) à un effet moyenné sur l'ensemble de la période (en gris). Pour le taux d'emploi et les heures travaillées, la première coupe transversale date de 1980, tandis que pour la croissance des salaires réels, elle date de 2001.

Effet des inondations

Dans les premières semaines suivant une inondation, le taux d'emploi chute immédiatement de 10 points de base (Figure 1.16-A), et les heures travaillées diminuent jusqu'à une heure (Figure 1.16-B). Ces deux effets sur les marges intensives et extensives de l'emploi se dissipent un mois après l'inondation (Figure 1.18-A, -B). Après six mois, la croissance des salaires réels reste négative de manière persistante, avec une diminution de 60 points de base, ne se redressant qu'après trois ans (Figure 1.18-C).

La diminution à court terme des heures travaillées est principalement observée dans le secteur de la production (Figure A.1-D), en particulier dans les secteurs de l'agriculture, de la foresterie/exploitation minière, de la construction et de la fabrication, tandis que les heures travaillées dans le secteur des services publics augmentent après l'impact. En revanche, la diminution à court terme du taux d'emploi et des salaires est la plus marquée dans le secteur des services (Figure A.2-E, -F), en particulier dans le secteur de l'alimentation/hébergement, qui se redresse dans l'année. L'impact sur le secteur des services peut être lié au fait que les inondations sont plus susceptibles de se produire dans des zones densément peuplées, la plupart des centres urbains canadiens étant situés le long des rivières. Le taux d'emploi chute également dans le secteur agricole, avec une augmentation dans le secteur de la construction après trois mois pour soutenir les réparations.

Effet des tempêtes

Les tempêtes, à l'exception des tempêtes hivernales, sont le type de catastrophe le moins intense parmi toutes nos mesures de l'intensité des catastrophes (c'est-à-dire le coût en pourcentage du PIB provincial, les paiements DFAA en pourcentage du PIB provincial, le nombre d'évacués et le nombre de personnes affectées par les perturbations des services publics). Il n'est donc pas surprenant que l'effet global des tempêtes soit relativement insignifiant (Figure 1.19).

Ainsi, tout effet significatif des tempêtes sur le marché du travail devrait se concentrer dans certaines dimensions spécifiques. Premièrement, l'effet est plus spécifique à certains secteurs. La légère diminution des heures travaillées quelques mois après la tempête (Figure 1.19-E) est principalement observée dans les secteurs des services publics, de la foresterie/exploitation minière/pétrole et des services (Figure A.2-H). Ce n'est que dans le secteur de l'hébergement/restauration que l'on observe une augmentation des heures travaillées dans le mois qui suit, probablement en raison des coupures de courant et de l'hébergement temporaire. Deuxièmement, les tempêtes plus importantes semblent avoir un impact significatif lorsque leur intensité est classée selon le nombre de personnes affectées plutôt que par le coût monétaire. Les tempêtes ont le coût moyen le plus faible en pourcentage du PIB provincial et la variance associée la plus faible, et aucun effet significatif n'est observé en utilisant le coût de la catastrophe (Figure 1.19-G à I). Cependant, lorsque le nombre de personnes affectées est utilisé à la place, une grande réponse négative des heures travaillées est estimée (Figure A.14). Troisièmement, leur effet devient significatif lorsqu'il est conditionné par la faiblesse du marché du travail : le taux d'emploi et les salaires réels diminuent brièvement lorsque des tempêtes se produisent pendant les périodes de faible emploi (Figures A.5-D et -F). En revanche, les salaires réels tendent à augmenter temporairement pendant les périodes de faible chômage (Figure A.5-C).

Effet des tempêtes hivernales

Les tempêtes hivernales peuvent légèrement réduire les salaires réels dans l'année, avant d'être largement compensées par une croissance plus forte un an après (Figure 1.20-C et -F). Ce modèle est plus perceptible dans le secteur des services (Figure A.2-L) pour les tempêtes hivernales avec le nombre médian de personnes affectées (Figure A.15) et pour celles qui ne nécessitent pas d'assistance fédérale (Figure ??).

L'effet des tempêtes hivernales dépend également de la taille de la catastrophe. De manière similaire à l'effet observé pour la plus grande tempête hivernale, c'est-à-dire la tempête de glace de 1998 (Figure A.16), les tempêtes hivernales avec des coûts plus élevés augmentent le taux d'emploi (Figure 1.20-G). L'augmentation du taux d'emploi est principalement due au secteur des services, en particulier pour le transport, probablement en raison des dépenses gouvernementales pour les réparations des infrastructures endommagées. Comme prévu, les heures travaillées augmentent également dans le secteur des services publics, qui peut être particulièrement sollicité par les tempêtes hivernales sévères.

1.5 Conclusion

Cet article examine comment les catastrophes naturelles affectent le marché du travail local dans 10 provinces canadiennes, en se concentrant sur l'emploi, les heures travaillées et la croissance des salaires réels. Nous construisons un panneau mensuel provincial des catastrophes couvrant la période de 1980 à 2019 en exploitant la base de données canadienne sur les catastrophes, qui enregistre les événements climatiques causant des dommages importants. Nous utilisons une configuration de projection locale par panneaux étendue pour tenir compte de l'hétérogénéité entre les états économiques, l'intensité des catastrophes, le type de catastrophe et les changements au fil du temps.

Nous trouvons les résultats suivants. Premièrement, les catastrophes réduisent initialement les heures travaillées dans la semaine qui suit, avec des effets qui s'estompent rapidement, tandis que la croissance des salaires baisse six mois plus tard. Deuxièmement, la plupart des effets se produisent pendant les périodes de faiblesse de l'emploi. Cela suggère que les catastrophes naturelles agissent comme un catalyseur de réajustements douloureux du marché du travail dans des marchés du travail déjà fragiles, bien que l'assistance fédérale puisse atténuer certains de ces effets. Troisièmement, dans la seconde moitié de notre échantillon, le marché du travail réagit de manière plus atténuée aux catastrophes, ce qui pourrait indiquer soit une adaptation aux événements de plus en plus fréquents et graves au fil du temps, soit un impact plus fort du soutien gouvernemental. Enfin, nous observons une hétérogénéité substantielle selon l'intensité des catastrophes et leur type, bien que la croissance des salaires ait tendance à être plus faible pour toutes les catastrophes.

Nos résultats ont deux principales implications politiques. Premièrement, lorsqu'on évalue l'impact global des catastrophes naturelles, l'effet sur les marchés du travail locaux ne doit pas être négligé : les catastrophes naturelles peuvent avoir un effet néfaste sur les travailleurs vulnérables par le canal des revenus, en particulier lorsqu'elles se produisent en même temps que d'autres chocs ayant déjà affaibli l'économie. De plus, les pertes de revenus peuvent être l'un des principaux moteurs des défauts de paiement des ménages, amplifiant ainsi potentiellement les pertes pour l'ensemble de l'économie. Deuxièmement, le financement de l'aide en cas de catastrophe et sa conception sont importants pour les décideurs politiques. D'une part, le financement fédéral peut atténuer certains des effets à long terme des catastrophes sur la croissance des salaires. Cependant, il peut dissimuler une réallocation sectorielle. Par exemple, les personnes vivant dans des zones sujettes aux incendies de forêt et travaillant dans les secteurs de la vente au détail sont plus susceptibles de perdre leur emploi, tandis que les travailleurs à temps partiel dans le secteur de la construction bénéficient probablement de la phase de reprise après un incendie de forêt. Enfin, les décideurs politiques ont des raisons de rester préoccupés par l'impact macroéconomique des catastrophes naturelles, étant donné le risque d'une fréquence et d'une ampleur accrues, même si les politiques d'atténuation peuvent offrir un certain contrepois partiel. L'effet perturbateur que nous quantifions pour les plus grandes catastrophes de l'histoire canadienne constitue un avertissement pour les décennies à venir si le Canada continue d'être confronté à des catastrophes record.

Nous utilisons un panneau d'événements extrêmes pour explorer les impacts des catastrophes naturelles sur le marché du travail. Bien que notre méthode offre des résultats généralement applicables par rapport aux études de cas, elle repose sur un ensemble de données historiques et ne peut pas projeter avec précision les réponses futures du marché du travail, notamment en raison du changement climatique accéléré. Par conséquent, les interprétations de nos résultats doivent tenir compte des incertitudes entourant les changements structurels potentiels dans l'économie dus au changement climatique.

Chapter 2

We Didn't Start the Fire: Effets d'une catastrophe naturelle sur la détresse financière des consommateurs

Ce chapitre est une version abrégée et traduite d'un article qui a été publié dans le Journal of Environmental Economics and Management en mai 2023 et co-écrit avec Anson T.Y. Ho, Kim P. Huynh, David T. Jacho-Ch'avez.

2.1 Introduction

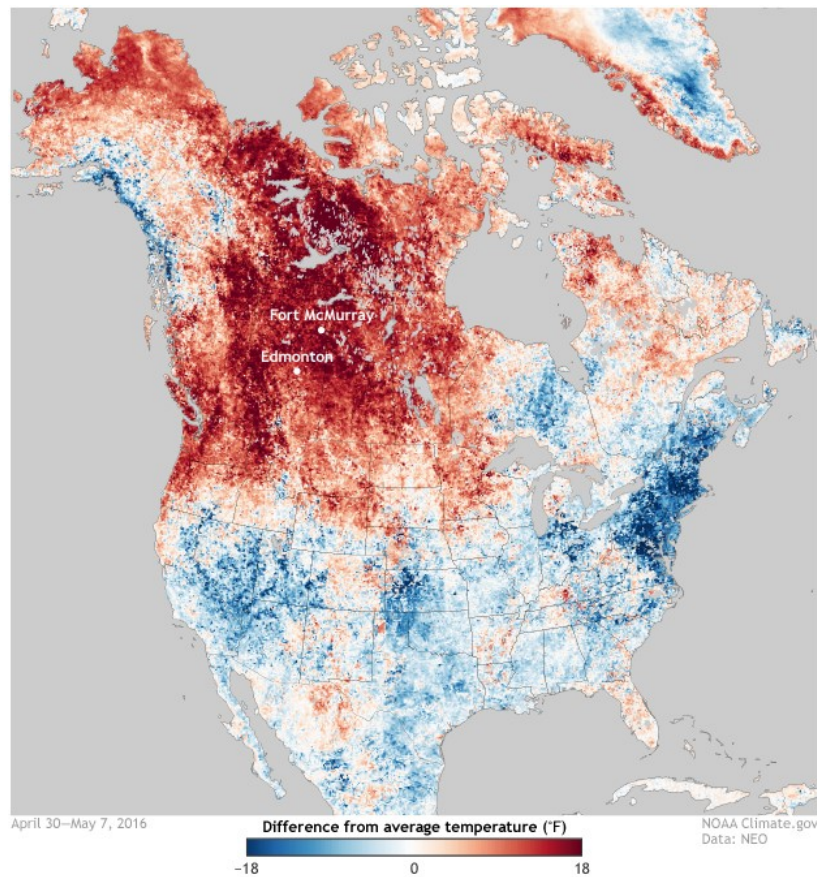
Les changements climatiques mondiaux augmentent la fréquence et la gravité des catastrophes naturelles. L'OECD [90] a souligné qu'il s'agissait d'un risque émergent au 21^e siècle. Ces catastrophes détruisent des biens matériels, tels que des résidences, entraînant de graves conséquences financières pour les personnes touchées. Un rapport récent de The Insurance Institute of Canada [101] souligne que les événements météorologiques extrêmes auront un impact sur tous les domaines de l'assurance. Un nombre croissant de personnes et d'actifs subiront des dommages et feront face à des *risques physiques*; la responsabilité des changements climatiques mène à des *risques redditionnels*; enfin, les adaptations nécessaires en réponse aux changements climatiques créent des *risques transitoires*. Nous avons mené une étude de cas sur l'impact de l'incendie survenu à Fort McMurray en 2016, la catastrophe la plus coûteuse de l'histoire du Canada en matière d'incendies de forêt. Selon Statistics Canada [98], 5 890 km² de terres et environ 8 % de toutes les résidences privées ont été détruits par l'incendie, ce qui en fait la plus grande perte de biens protégés par des fournisseurs d'assurance. Le coût total de l'incendie est estimé à 9,9 milliards \$ CAD, dont environ 3,7 milliards \$ CAD concernent des pertes assurées.¹

Les incendies de forêt offrent une occasion unique d'analyser en profondeur les conséquences économiques de catastrophes naturelles. À Fort McMurray, la destruction s'est avérée inégale. En utilisant des données mensuelles détaillées sur le crédit à la consommation de 2014 à 2018, nous avons pu différencier deux groupes de personnes touchées selon qu'ils vivaient (1) dans des zones gravement endommagées ou (2) dans des zones moins endommagées. Nous avons analysé les effets économiques des incendies de forêt sur ces deux groupes séparément.

L'effet de traitement du feu de forêt est estimé à l'aide d'une méthode de contrôle synthétique (MCS). Cette méthode vise à créer un milieu de contrôle hypothétique calqué sur Fort McMurray, mais n'ayant jamais subi d'incendies de forêt. L'effet de traitement mesure la différence des arriérés de paiements hypothécaires entre les résultats réels et les résultats du contrôle hypothétique. Nous constatons que les incendies de forêt ont un impact substantiel sur les impayés hypothécaires. Cependant, cette augmentation est temporaire et se dissipe rapidement entre 12 et 18 mois après l'événement. En revanche, nous démontrons que les effets sont mineurs et statistiquement insignifiants dans les zones moins touchées, ces effets se dissipant au bout de trois mois seulement. Nos résultats soulignent la nécessité de prendre

¹Tous les chiffres sont exprimés en dollars canadiens – 1 \$ CAD valait environ 0,75 \$ USD en 2016, voir <https://www.banqueducanada.ca/taux/taux-de-change/>.

Figure 2.1: Écart par rapport à la température moyenne entre le 30 avril et le 7 mai 2016



en compte le risque climatique dans les décisions de prêts aux consommateurs, car il peut y avoir des retombées pour d'autres acteurs du secteur de la finance et de l'assurance.

2.2 Incendie de forêt de Fort McMurray en 2016

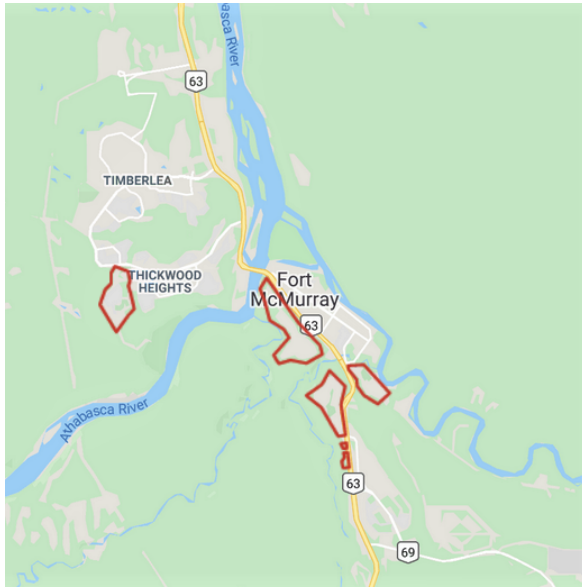
Fort McMurray est une ville isolée du nord-est de l'Alberta, au Canada. Elle est située à proximité d'importants gisements de sables bitumineux. L'économie locale dépend fortement de la production de pétrole et du secteur de l'énergie. Le forçage anthropique a rendu le risque d'incendies extrêmes de 1,5 à 6 fois plus élevé dans la région de Fort McMurray [72], contribuant aussi à augmenter la superficie brûlée [71]. La figure 2.1 illustre le temps anormalement chaud du printemps 2016 fournissant des conditions parfaites pour la propagation rapide de l'incendie, lequel avait démarré dans une zone isolée à environ 15 kilomètres de la ville. Cet incendie s'est déclaré le 1er mai, plusieurs mois avant le début habituel de la saison des feux, et sa propagation rapide a laissé peu de temps pour alerter les habitants. Le 3 mai, un ordre d'évacuation d'urgence était imposé, entraînant le déplacement des 88 000 habitants. Entre le 1er et le 15 juin, alors que l'incendie s'éloignait de Fort McMurray, les habitants ont été autorisés à y retourner sur une base volontaire et progressive, sous réserve des conditions de sécurité locales.

Les dommages causés par les incendies de forêt à Fort McMurray ont été inégaux. La figure 2.2b montre la différence spectaculaire entre la zone d'Abasand Heights qui a été complètement brûlée (zone grise dans la moitié inférieure de la région délimitée par la ligne rouge) et le quartier adjacent de Lower Townsite (coin supérieur droit), qui est resté intact.

L'ampleur des incendies et des évacuations a entraîné un ralentissement de la production pétrolière au troisième trimestre 2016, causant des pertes importantes dans les opérations d'extraction pétrolière. Toutefois, compte tenu du peu de dégâts subis par les installations de sable bitumineux, l'impact sur la production dans la région a été de courte durée. Ainsi, pour la plupart des habitants de Fort McMurray,

Figure 2.2: Incendies de Fort McMurray en 2016

(a) Carte des zones gravement endommagées



(b) Image satellite d'Abasand Heights



Note : Les quartiers gravement endommagés sont marqués par des limites rouges dans l'image 2.2a; on y voit les quartiers Abasand Heights, Beacon Hill, Waterways, et Wood Buffalo Estate (Saprae Creek est exclu à des fins de mise à l'échelle). L'image 2.2b montre l'étendue des dommages à Abasand Heights dans la partie inférieure de la zone délimitée par la ligne rouge. Source: [47]

l'interruption des revenus de l'emploi liés à l'extraction pétrolière n'a été que temporaire.

2.3 Données et faits stylisés

Nous utilisons les données sur le crédit à la consommation de janvier 2014 à décembre 2017 fournies par TransUnion®, une importante agence d'évaluation du crédit à la consommation au Canada.² L'ensemble de données contient des informations anonymes concernant des relevés de compte mensuels pour divers types de prêts, y compris les soldes impayés, l'historique du rendement des prêts, les cotes de crédit des consommateurs, leur âge et le code postal crypté de leur résidence principale.³ Il couvre les principaux types de prêts, y compris les prêts hypothécaires, les lignes de crédit immobilier (helocs), les cartes de crédit, les prêts automobiles, ainsi que d'autres lignes de crédit et prêts à tempérament.

Nous excluons les comptes qui n'ont pas été mis à jour depuis 90 jours (un trimestre) ou pour lesquels il manque des informations sur le solde impayé. La variable qui nous intéresse est le montant du prêt en souffrance, défini comme un prêt dont la date d'échéance est dépassée de 90 jours ou plus. Les prêts hypothécaires assurés sont couverts par une assurance hypothécaire.⁴ Pour mesurer la liquidité individuelle, nous utilisons le solde impayé en pourcentage de la limite des cartes de crédit personnelles.

Les soldes des prêts impayés sont agrégés par zone géographique. Fort McMurray est divisé en deux régions distinctes, *zones gravement endommagées* et *autres zones*, sur la base de l'étendue des dommages causés par les incendies de forêt observés dans la Figure 2.2.⁵ Nous utilisons des *codes postaux* pour

²TransUnion® et Equifax® sont les deux principales agences d'évaluation du crédit au Canada. Nous avons eu accès aux données de TransUnion par l'intermédiaire de la Banque du Canada. Se reporter à l'annexe A de [53] pour connaître la couverture des données de TransUnion.

³Pour la protection de la vie privée, les codes postaux sont cryptés de manière à ce que nous n'observions que les trois premiers chiffres, connus sous le nom de Forward Sortation Area (FSA) (zone de tri à l'arrivée). Les trois derniers chiffres, appelés unités locales de livraison, sont cryptés et remplacés par un identifiant unique.

⁴L'ensemble des données ne contient pas d'information permettant de savoir si l'assurance hypothécaire est obtenue par le biais d'une assurance transactionnelle ou d'une assurance de portefeuille. Se reporter à l'annexe B.1 pour plus de détails sur l'assurance hypothécaire au Canada.

⁵Les quartiers gravement endommagés comprennent Abasand Heights, Beacon Hill, Waterways, Wood Buffalo Estate,

Table 2.1: Statistiques descriptives de janvier 2014 à décembre 2017

	Fort McMurray		Other control FSAs	
	Severely damaged	Other areas	Mean	SD
N_{ind}	6,559	53,523	21,949	11,051
Mortgage	\$ 448,559	\$ 457,434	\$ 251,391	\$ 43,923
% mortgage insured	73.7%	77.8%	65.2%	8.0%
Credit Card Utilization	34.8%	33.8%	29.5%	4.2%
% of near-prime	20.8%	20.5%	16.9%	3.7%
% of supprime	6.1%	6.0%	5.8%	1.9%

Note: Les zones gravement endommagées de Fort McMurray sont classées en fonction des dommages observés dans la figure 2.2. Les autres zones de Fort McMurray comprennent les zones restantes à l'intérieur des limites de la ville. Pour les unités de contrôle, il y a 126 autres FSA (RTA) en Alberta et en Saskatchewan incluses dans l'échantillon.

identifier ces quartiers comme des zones gravement endommagées. Nos unités de contrôle potentielles comprennent toutes les FSA (RTA) des provinces de l'Alberta et de la Saskatchewan, qui sont situées à au moins 100 km de Fort McMurray afin d'éviter tout effet de débordement potentiel dans les zones environnantes. Nous excluons également de notre échantillon les FSA (RTA) situées dans des zones rurales et les FSA (RTA) comptant moins de 5 000 résidents actifs.

Les statistiques descriptives de l'ensemble des données sont présentées dans le tableau 2.1. En moyenne, 60 082 personnes actives sur le plan du crédit vivaient à Fort McMurray, dont 6 559 dans des zones gravement endommagées. L'ensemble de contrôle potentiel contenait 126 FSA (RTA) avec un nombre moyen de 21 949 personnes actives sur le plan du crédit. Les prêts hypothécaires assurés à Fort McMurray ont, en moyenne, un solde impayé de 450 000 \$, ce qui est plus élevé que dans les autres zones de contrôle. De plus, nos faits stylisés montrent également que les résidents de Fort McMurray utilisent davantage leurs cartes de crédit et qu'une plus grande partie d'entre eux ont une cote de crédit inférieure à la moyenne.

Les arriérés dans les quartiers ayant subi de graves dommages s'élevaient à 0,59 % le mois précédant l'incendie de forêt et ont augmenté pour atteindre plus de 0,90 % en octobre 2016, comme le montre le tableau 2.3a. Les arriérés ont culminé à 1,16 % et ont commencé à diminuer en mai 2017, pour atteindre environ 0,8 %. Cette observation contraste fortement avec les zones ayant subi des dommages limités (Panel 2.3b), où aucun pic d'arriérés n'a été observé.

Nos résultats suggèrent que les feux de forêt peuvent avoir induit une détresse financière chez les personnes ayant subi des dommages matériels. Il pourrait y avoir là d'importantes implications pour les pratiques de gestion des compagnies d'assurance et des assureurs hypothécaires. Cependant, pour Fort McMurray, dont l'économie dépend des sables bitumineux, le prix du pétrole peut être un facteur confondant, modélisé ci-dessous par l'introduction d'un modèle à facteurs communs.⁶ Dans la section 2.4, nous décrivons comment la MCS est utilisée pour construire une unité de contrôle basée sur les données qui prend en compte les facteurs de confusion.

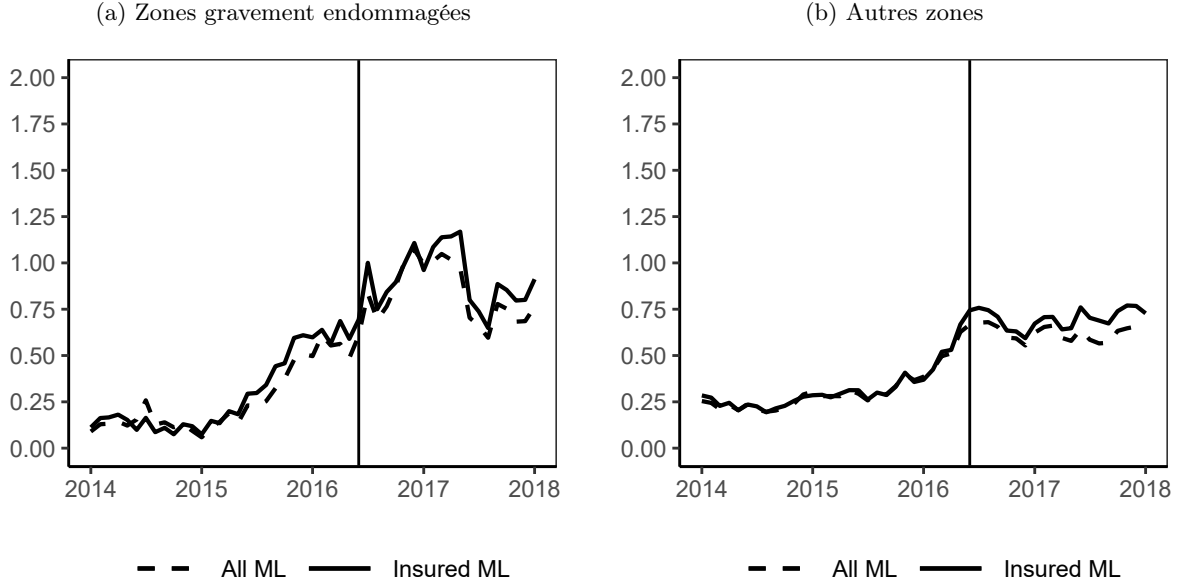
2.4 Méthode empirique

Nous avons estimé l'effet de traitement des incendies de forêt à l'aide de la MCS développée par [3]. La MCS fournit une méthode transparente et axée sur les données pour sélectionner les unités de contrôle à des fins de comparaison, ce qui est particulièrement utile pour notre analyse compte tenu du caractère unique de la situation géographique de Fort McMurray et de sa dépendance à l'égard de l'industrie des ressources naturelles. En règle générale, la MCS utilise les observations préalables au traitement pour construire une unité hypothétique (synthétique) qui correspond conjointement aux caractéristiques de l'unité de traitement et au résultat recherché. L'unité synthétique est ensuite utilisée comme contrôle et comparée au résultat réel pour estimer l'effet du traitement. Par souci de concision, nous nous contentons

et Saprae Creek.

⁶L'impact négatif de la baisse du prix du pétrole est discuté dans [103].

Figure 2.3: Arriérés de prêts hypothécaires à Fort McMurray



Note: La ligne continue représente le taux d'arriérés des prêts hypothécaires assurés (PH assurés) tandis que la ligne en pointillé représente le taux d'arriérés de tous les prêts hypothécaires (PH tous). Les taux d'arriérés sont exprimés en points de pourcentage, et la ligne noire verticale indique la première période affectée par l'incendie de forêt, c'est-à-dire mai 2016.

ici de présenter le modèle d'estimation général et notre application économétrique ; les lecteurs intéressés sont invités à se reporter à [3] pour plus de détails.

Supposons que nous observions $j = 1, \dots, J + 1$ régions pour $t = 1, \dots, T$ périodes de temps. Nous notons T_0 étant le nombre de périodes de prétraitement, avec $1 < T_0 \leq T$ et i étant la région traitée. Soit Y_{it} le résultat du traitement dans la région i à un moment observable t , et Y_{it}^N le résultat en l'absence de traitement, que nous ne pouvons jamais observer. Nous définissons l'effet du traitement comme $\alpha_{it} = Y_{it} - Y_{it}^N$ dans la période post-traitement $t = T_0 + 1, \dots, T$. Nous estimons Y_{it}^N en supposant qu'il est donné par un modèle factoriel :

$$Y_{it}^N = \delta_t + \theta_t Z_i + \lambda_t \mu_i + \epsilon_{it}, \quad (2.1)$$

Là où δ_t est un facteur commun inconnu, Z_i est un vecteur de covariables exogènes observées avec le paramètre θ_t , λ_t est un vecteur de facteurs non observés avec une charge factorielle inconnue μ_i , et ϵ_{it} sont des chocs non observés de moyenne nulle. Nous définissons un vecteur de poids $W = (w_1, \dots, w_{j \neq i}, \dots, w_J)'$ pour l'ensemble des unités de contrôle, de sorte que $w_j \geq 0$ pour tous $j \neq i$ et $\sum_{j \neq i}^{J+1} w_j = 1$. Ce vecteur est utilisé pour calculer la moyenne pondérée des unités de contrôle, qui sert de contrôle synthétique pour la région traitée i . La variable de résultat pour le contrôle synthétique est donc :

$$\sum_{j \neq i}^{J+1} w_j Y_{jt} = \delta_t + \theta_t \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j Z_j + \lambda_t \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j \mu_j + \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j \epsilon_{jt}. \quad (2.2)$$

Les poids optimaux $W^* = (w_1^*, \dots, w_{j \neq i}^*, \dots, w_J^*)'$ sont choisis de manière à ce que :

$$\sum_{j \neq i}^{J+1} w_j^* Y_{jt} = Y_{it}, \quad \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j^* Z_j = Z_i, \quad \text{and} \quad \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j^* \mu_j = \mu_i \quad \text{for all } t = 1, \dots, T. \quad (2.3)$$

Nous démontrons qu'un contrôle synthétique modulable aux covariables observées (Z_i) et à une longue série de résultats avant traitement (Y_{it}) est une condition suffisante pour s'adapter aux facteurs de

confusion non observés (μ_i), fournissant une estimation non biaisée de Y_{it}^N . La différence entre le résultat observé et le contrôle synthétique est spécifiée comme un estimateur de l'effet du traitement α_{it} . Nous désignons cet estimateur par $\hat{\alpha}_{it}$,

$$\hat{\alpha}_{it} = Y_{it} - \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \quad (2.4)$$

pour la période de traitement $t = T_0 + 1, \dots, T$. Pour tenir compte de la variabilité dans le temps des facteurs non observés, les combinaisons linéaires des résultats avant traitement, telles que les valeurs moyennes annuelles, peuvent également être incluses dans les caractéristiques d'une région. Soit $X_i = (Z_i', \bar{Y}_i^{K_1}, \dots, \bar{Y}_i^{K_M})'$ un vecteur des caractéristiques avant traitement de la région traitée i , et X_0 une matrice des mêmes caractéristiques dans la région de contrôle, la j ème ligne représentant la région j . L'estimateur MCS est mis en œuvre en choisissant W^* qui minimise la distance entre les unités observées et synthétiques, mesurée par

$$\|X_i - X_0 W\|_V = \sqrt{(X_i - X_0 W)' V (X_i - X_0 W)} \quad (2.5)$$

où V est une matrice diagonale des paramètres pour la mesure de distance. La valeur optimale V^* est choisie pour minimiser l'erreur quadratique moyenne de prédiction (MSPE ou EQMP) de la variable de résultat entre les témoins traités et les témoins synthétiques au cours des périodes précédant le traitement. En d'autres termes, nous trouvons V^* qui résout

$$\min_V (Y_i - Y_0 W^*(V))' (Y_i - Y_0 W^*(V)), \quad (2.6)$$

où $W^*(V)$ est le poids optimal compte tenu de V .

Dans notre application empirique, le résultat qui nous intéresse est le taux d'arriérés des prêts hypothécaires assurés à Fort McMurray et dans le reste de l'Alberta et de la Saskatchewan. Nos prédicteurs (Z_i) des arriérés de prêts comprennent la fraction moyenne trimestrielle des détenteurs de prêts hypothécaires assurés qui ont (1) une utilisation de carte de crédit entre 60 et 80 %, (2) une utilisation de carte de crédit d'au moins 80 %, (3) de bons scores de crédit et (4) des scores de crédit faibles. Nous avons aussi inclus les valeurs logarithmiques moyennes du solde du prêt hypothécaire entre janvier 2014 et avril 2016. Les variables prédictives sont complétées par la moyenne trimestrielle du taux d'arriérés hypothécaires afin de formuler notre ensemble de caractéristiques régionales (X_i).

2.5 Résultats

Les résultats de notre analyse synthétique de l'incendie de Fort McMurray sont présentés dans le tableau 2.2. En général, nos unités synthétiques correspondent bien aux unités observées.⁷

Nos résultats montrent que nous pouvons utiliser l'ensemble des contrôles pour construire une unité synthétique qui reflète le risque de liquidité plus élevé à Fort McMurray avant la catastrophe : une utilisation plus importante des cartes de crédit, une plus grande fraction d'emprunteurs à risque et des taux d'arriérés plus élevés pour les prêts hypothécaires assurés.

La composition des contrôles synthétiques est présentée dans le tableau 2.3. Les cinq FSA (RTA) de contrôle les plus pondérées représentent, respectivement 100 % et 79,6 % des pondérations totales pour les zones synthétiques gravement endommagées et les autres zones.

Les séries temporelles d'arriérés pour les unités réelles et synthétiques sont présentées dans le tableau 2.4. Comme prévu, les taux d'arriérés des unités synthétiques sont très proches des trajectoires d'arriérés observées à Fort McMurray avant les feux de forêt.

Pour les zones gravement endommagées (panneau 2.4a), les arriérés dans l'unité synthétique ont légèrement diminué de mai 2016 à juin 2017 avant d'augmenter à nouveau dans la seconde moitié de 2017.⁸ Cette tendance reflète à peu près l'ensemble des arriérés hypothécaires en Alberta et en Saskatchewan, où les arriérés hypothécaires se sont stabilisés après la reprise des prix du pétrole du WCS et se sont maintenus à environ 40 \$ USD le baril. Les arriérés dans le contrôle synthétique pour d'autres zones

⁷Les caractéristiques trimestrielles correspondent également aux autres trimestres. D'autres résultats sont disponibles sur demande.

⁸Dans notre vérification de la robustesse, ce modèle est robuste à nos spécifications de modèle.

Table 2.2: Caractéristiques de Fort McMurray : observées vs synthétiques

Variables	FM – severely damaged		FM – other areas		Controls
	Observed	Synthetic	Observed	Synthetic	
log of insured ML	13.00	12.28	13.03	12.45	12.41
Utilization 60% – 80%	9.11	8.89	8.38	8.54	7.21
Utilization $\geq$ 80%	21.69	21.01	19.51	19.67	15.04
% near prime holders	22.27	21.31	20.53	20.76	17.10
% subprime holders	6.59	7.54	6.56	6.69	5.88
Arrears rate	0.63	0.61	0.49	0.48	0.32

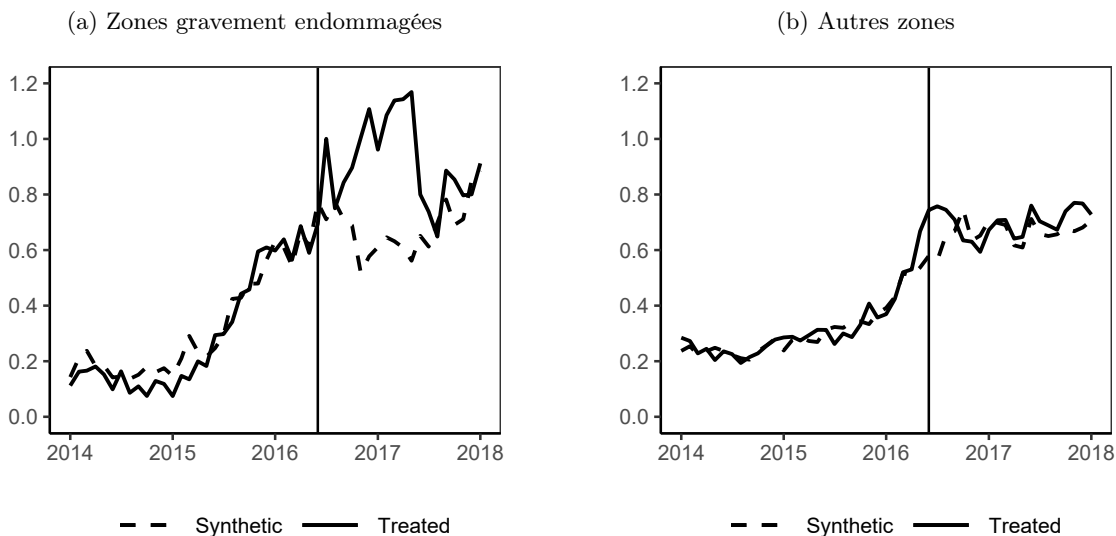
Note : Le logarithme de la valeur des prêts hypothécaires assurés correspond à la moyenne des valeurs logarithmiques des soldes impayés des prêts hypothécaires assurés entre janvier 2014 et avril 2016. Toutes les autres valeurs sont les moyennes du premier trimestre 2016, exprimées en points de pourcentage.

Table 2.3: Les cinq FSA (RTA) les plus pondérées dans la zone synthétique de Fort McMurray

Severely damaged			Other areas		
Weight	FSA	Name	Weight	FSA	Name
0.269	S9A	North Battleford	0.172	T9M	Cold Lake
0.259	T4H	Olds	0.167	T8X	Grande Prairie East
0.232	T7S	Whitecourt	0.164	T7S	Whitecourt
0.146	T8X	Grande Prairie East	0.162	S4A	Estevan
0.095	T9M	Cold Lake	0.131	T3M	Calgary-Auburn Bay-Mahogany

Note: Les FSA (RTA) commençant par la lettre "T" se rapportent aux régions de l'Alberta, et les FSA (RTA) commençant par la lettre "S" se rapportent aux régions de la Saskatchewan.

Figure 2.4: Trajectoires des arriérés hypothécaires réels et synthétiques



Note: La ligne continue représente le taux d'arriérés observé dans la zone traitée. La ligne en pointillés représente le taux d'arriérés dans l'unité synthétique. Le taux d'arriérés est indiqué en points de pourcentage, et la ligne noire verticale indique la première période affectée par l'incendie de forêt, c'est-à-dire mai 2016.

de Fort McMurray présentent un schéma similaire, comme illustré dans le tableau 2.4b. Bien que les unités synthétiques aient des compositions différentes, elles présentent des niveaux d'arriérés similaires, soit environ 0,6 % en avril 2016, avant les feux.

L'effet de l'incendie, mesuré par les différences entre les arriérés réels et synthétiques, est illustré dans le tableau 2.5. Le niveau de confiance à 90 % est également inclus dans le tableau, qui est calculé selon [40] et [39].⁹ Pour les zones gravement endommagées (Panel ??), les incendies de forêt ont progressivement fait augmenter les arriérés hypothécaires de 0,5 % avant la fin de l'année 2016.¹⁰ L'effet a culminé en mai 2017, le niveau des arriérés ayant augmenté de 0,7 %. Si l'on replace ce chiffre dans son contexte, les arriérés hypothécaires en Alberta pendant la Grande Récession de 2008-2010 ont augmenté de 0,67 %, passant de 0,17 % en janvier 2007 à 0,84 % en janvier 2011. En termes de gravité, nos estimations montrent que la détresse financière des personnes touchées par les incendies de forêt est comparable à celle de la Grande Récession, bien que les événements soient d'une ampleur différente.

Pour les autres zones de Fort McMurray moins touchées par les incendies, nous ne trouvons que des effets mineurs et statistiquement non significatifs sur les arriérés hypothécaires (Figure 2.5b). L'estimation ponctuelle de l'effet des incendies de forêt suggère une augmentation de 0,2 % des arriérés immédiatement après les incendies, laquelle disparaît trois mois seulement après l'incident. Nos résultats suggèrent que, s'il existe, l'effet des incendies de forêt sur les personnes qui n'ont pas subi de pertes matérielles graves est de courte durée. Cette absence d'effet s'explique par le fait que la perte de revenu induite par le feu de forêt est temporaire, étant donné le rebond rapide de la production pétrolière en août 2016.¹¹ L'évolution du stock global de prêts hypothécaires (figure 2.6b) suggère en outre que les soldes impayés et le montant total des arriérés sont restés stables après les incendies, limitant ainsi les effets secondaires des incendies.

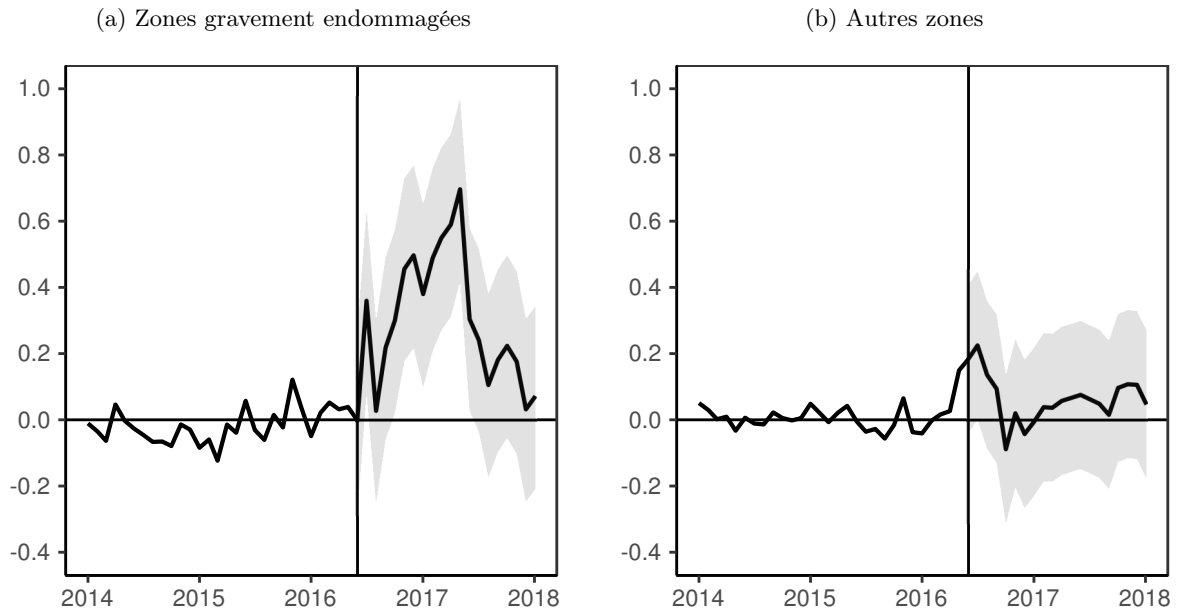
Jusqu'à présent, notre analyse de l'incendie de forêt de Fort McMurray en 2016 montre que l'augmentation des arriérés hypothécaires est temporaire. Pour mieux comprendre la détresse financière des consom-

⁹Ces méthodes supposent un échantillonnage aléatoire, elles sont donc conservatrices. Les formules de contrepartie robustes par grappes ne sont pas disponibles à l'heure actuelle.

¹⁰Les arriérés ont augmenté plus tôt que 90 jours après l'expiration des reports de paiement, c'est-à-dire 7 mois après l'incendie de forêt, parce que la durée des arriérés dépend de la reprise ou non par les emprunteurs des remboursements convenus après leurs reports de paiement. Plus précisément, si les emprunteurs n'ont pas effectué les remboursements convenus après l'expiration de leur report, toute la période de report sera comptabilisée comme des paiements manqués.

¹¹Considérant que Fort McMurray est une économie locale isolée presque entièrement tributaire de l'extraction pétrolière. Puisque cette production a subi une brève interruption après le feu, l'effet de débordement local de la zone gravement endommagée vers d'autres zones est limité.

Figure 2.5: Écart entre les arriérés hypothécaires réels et synthétiques



Note: La ligne continue réfère à l'estimation ponctuelle de l'effet du traitement. La zone ombrée représente l'ensemble de confiance à 90 %. Le taux d'arriérés (écart) est indiqué en points de pourcentage et la ligne noire verticale indique la première période touchée par les incendies de forêt, à savoir mai 2016. L'ensemble de confiance à 90 % est calculé selon la méthode proposée par [40] et [39].

teurs, nous avons également estimé l'effet du traitement sur les soldes impayés des cartes de crédit et les scores de crédit des détenteurs de prêts hypothécaires assurés. Nos résultats suggèrent également que l'effet négatif du traitement sur les soldes des cartes de crédit et les scores de crédit est passager. Les résultats détaillés sont présentés dans l'annexe B.3. Nos résultats fournissent des preuves supplémentaires à l'étude de Gallagher and Hartley sur les impacts de l'ouragan Katrina en démontrant que le moment où survient de la délinquance est étroitement lié à la durée du report ou de l'abstention de prêt.¹² L'effet des incendies de forêt à Fort McMurray est également plus persistant, ce qui suggère qu'il peut exister une interaction entre la durée du report ou de l'abstention et la durée du stress financier.

2.6 Conclusion

Nos résultats suggèrent que le risque climatique peut avoir d'importants effets d'entraînement entre les assureurs, les institutions financières et les décideurs politiques. Si l'exposition des assureurs habitation aux risques physiques est évidente, leurs pratiques, en interaction avec celles des prêteurs hypothécaires, peuvent réduire ou aggraver le stress financier des personnes touchées. À son tour, le stress financier peut se traduire par une performance inférieure des prêts et augmenter le risque commercial des assureurs hypothécaires. L'ampleur de l'aide gouvernementale joue également un rôle dans le niveau de stress financier des consommateurs. Cette question est complexe et peut être considérée comme un risque de responsabilité pour les parties prenantes. Il n'est pas surprenant que les banques centrales et les institutions politiques aient commencé et continuent à mesurer les nombreux risques physiques afin de comprendre l'interaction avec les risques financiers, voir [36]. Les catastrophes naturelles ont aussi pour effet de sensibiliser toutes les parties prenantes aux risques transitoires des changements climatiques. Dans le cas de Fort McMurray, la municipalité régionale de Wood Buffalo (RMWB) a obtenu 14 millions \$ CAD dans le cadre du programme FireSmart pour l'atténuation des incendies. Elle a également lancé une campagne Build Back Better pour promouvoir l'utilisation de matériaux résistants au feu. Toutefois, l'examen indépendant de KPMG, commandé par l'Agence de gestion des urgences de l'Alberta, suggère

¹²[43] observe un effet retardé similaire dans la délinquance en raison de l'abstention de prêt de 12 mois fournie par les institutions financières aux États-Unis.

que cette intervention a peu de chances de se produire parce que les paiements d'assurance n'étaient disponibles que pour reconstruire les propriétés dans les normes *pré-incendie*. À cet égard, les travaux récents de [91] montrent que les instituts financiers aux États-Unis ajustent leurs décisions en matière de titrisation des prêts hypothécaires en fonction des risques climatiques. Il est également important d'étudier si les prix des prêts hypothécaires et des assurances habitation s'ajustent à la suite d'une catastrophe naturelle et si ces ajustements affectent les décisions des consommateurs. Nous laissons l'examen de cette notion à des recherches futures.

Chapter 3

Five Feet High and Rising: Risque d'inondation lié au climat pour les portefeuilles de prêts résidentiels au Canada

Ce chapitre est une version abrégée et traduite d'un article qui a été publié en tant que documents d'analyse du personnel de la Banque du Canada en décembre 2023. Il a été coécrit avec Craig Johnston, Hossein Hosseini, Marie-Christine Tremblay, Miguel Molico, Brett Lindsay et Aidan Witts

3.1 Introduction

Les événements météorologiques extrêmes et la destruction qu'ils entraînent peuvent se répercuter négativement sur les bilans financiers des prêteurs et se propager ainsi à l'ensemble du système financier.¹ Le changement climatique devrait augmenter la fréquence et la gravité des événements météorologiques extrêmes. Pour ces raisons, plusieurs banques centrales et autorités financières ont entrepris des travaux pour mieux en comprendre les risques et impacts financiers.² Malgré les défis liés aux données et à la méthodologie que présentent ce type de recherches, elles apportent une meilleure compréhension des impacts, présents et futurs, des événements extrêmes sur le système financier. Elles contribuent aussi à promouvoir un système financier stable et performant.³

Les portefeuilles de prêts immobiliers résidentiels garantis (RESL) détenus par les institutions financières sont l'un des vecteurs par lesquels les événements météorologiques extrêmes peuvent influencer le système financier. En effet, les actifs utilisés pour garantir ces prêts sont immobiliers, remboursés sur une longue période et vulnérables à de tels événements. Bien que le Canada connaisse de nombreux types d'événements météorologiques extrêmes, notamment des ouragans, des sécheresses et des feux de forêt, jusqu'à présent les inondations sont les plus courantes et coûteuses (Sécurité publique Canada 2022). Une seule inondation grave peut, à elle seule, entraîner des milliards de dollars en dommages aux propriétés résidentielles et ces coûts devraient augmenter en raison des changements climatiques.

Dans ce contexte, nous quantifions les impacts financiers des inondations, actuelles et projetées, sur les portefeuilles RESL des prêteurs. Pour ce faire, nous créons un ensemble de données au niveau des prêts à l'aide de données provenant d'institutions financières sous réglementation fédérale et provinciale. Nous appliquons des chocs à ces portefeuilles en utilisant les inondations actuelles et projetées dans différents

¹Bien qu'on ne puisse négliger les impacts macroéconomiques des événements météorologiques extrêmes (Duprey, Jo and Vallée forthcoming), nous avons choisi de laisser l'intégration de ces chocs macroéconomiques, dus aux inondations, à des travaux ultérieurs.

²La recherche faisant l'objet du présent chapitre s'inscrit dans un corpus croissant de travaux menés par des banques centrales.

³En outre, une meilleure compréhension du risque de transition à une économie à faibles émissions de carbone – et des effets secondaires potentiels – est également importante pour la stabilité du système financier. Pour les travaux récents du personnel de la Banque sur le risque de transition climatique, voir Bruneau et al. (2023).

scénarios climatiques provenant de modèles de catastrophes spatialement explicites. Étant donné le rôle important que joue l'assurance habitation dans la répartition des coûts liés aux catastrophes entre les acteurs du marché financier, nous tenons compte, dans notre analyse, des assurances privées contre les inondations de divers assureurs canadiens de biens et de dommages.

Les données suggèrent que les dommages directs causés par les inondations semblent avoir un impact gérable sur les portefeuilles de prêts RESL des prêteurs. Cela est en partie dû à la hausse récente et rapide des prix et de la valeur nette des propriétés. Cette valeur accrue peut servir de tampon aux prêteurs afin de récupérer leurs pertes en cas de défaut de paiement lié aux inondations. Néanmoins, d'autres risques apparaissent pour le système financier, dont l'influence combinée de l'endettement élevé des ménages et des prêts dans les zones inondables. Nous constatons que d'autres risques liés aux catastrophes, à savoir le changement climatique, l'ajustement du prix de récupération et le délai de règlement, peuvent accroître les risques pour les prêteurs.

Il importe aussi de noter plusieurs limites, dont celle liée aux données. Par exemple, le manque de données granulaires nous amène à appliquer l'assurance contre les inondations et les dommages aux propriétés en utilisant des informations moyennes au niveau du code postal. Cette façon de faire pourrait atténuer certains chocs plus aigus sur des propriétés spécifiques. De plus, les estimations des dommages causés par les inondations excluent les impacts potentiels sur la valeur des terrains, les pertes sur les appartements et les copropriétés et l'élévation du niveau de la mer. Ajoutons aussi que nous utilisons une formule simple et déterministe de perte en cas de défaut (PCD) pour estimer l'impact des inondations sur les risques de crédit immobilier résidentiel, qui peut ne pas refléter la nature distincte des pertes réalisées pour les portefeuilles immobiliers résidentiels. Enfin, nous faisons abstraction des circonstances qui pourraient influencer la probabilité de défaut des ménages. Cependant, les défauts de paiement hypothécaire au Canada sont extrêmement rares, ce qui rend difficile l'identification de ceux qui sont liés aux inondations.

3.2 Dommages causés par les inondations aux biens immobiliers résidentiels canadiens — État des lieux et données

Pour améliorer notre compréhension des répercussions financières des événements météorologiques extrêmes sur les portefeuilles des prêteurs canadiens, nous nous appuyons sur l'évaluation du risque d'inondation des propriétés résidentielles au Canada réalisée par Sécurité publique Canada.

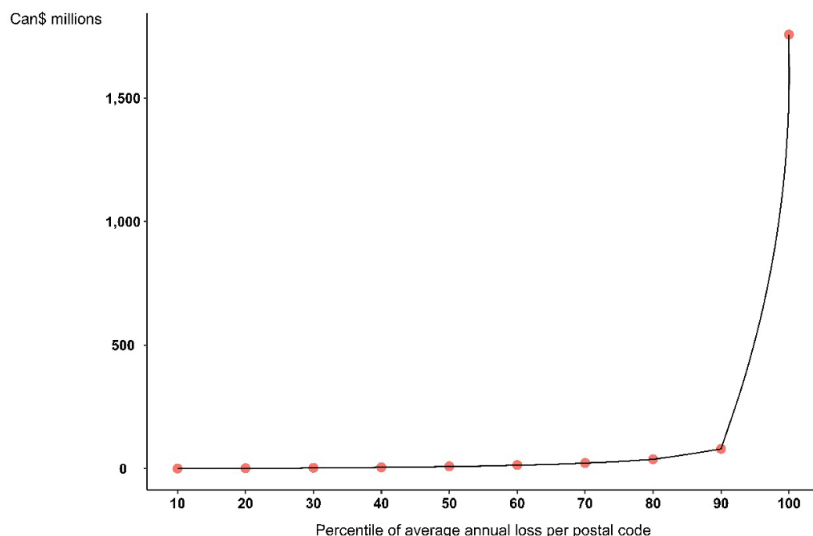
Plus précisément, Sécurité publique Canada nous a fourni des données sur les pertes annuelles moyennes (PAM) par code postal. Ces données comprennent des renseignements sur l'étendue des dommages liés aux inondations à laquelle on peut s'attendre chaque année, des renseignements sur l'éventualité d'inondations plus graves et des renseignements sur l'évolution des dommages liés aux inondations selon différentes hypothèses de changement climatique. L'annexe C.1 fournit plus de détails sur l'ensemble de données de Sécurité publique Canada, y compris les mises à jour récentes de ses données d'exposition, les méthodologies d'estimation des dommages et l'approche de modélisation des scénarios climatiques futurs.

D'après Sécurité publique Canada, les pertes moyennes de biens immobiliers résidentiels liées aux inondations s'élèvent à 2,97 milliards \$ par année. En ne tenant compte que de la structure, excluant le contenu, les pertes liées aux inondations s'élèvent à 1,93 milliard \$ par année. La majeure partie de ces pertes ne touchent qu'une petite fraction des propriétés. Environ 89 % du total des dommages sont concentrés dans 10 % des propriétés (Figure 3.1). De plus, 34 % du total des dommages à l'échelle nationale sont concentrés dans seulement 1 % des propriétés au Canada.

La perte annuelle moyenne (PAM) fournit une estimation de la valeur monétaire moyenne des dommages causés par les inondations qui pourraient survenir au cours d'une année donnée. Dans la plupart des régions du Canada, les propriétés sont exposées à une PAM qui représente, en moyenne, moins de 0,1 % de la valeur de la propriété. Parallèlement, les événements ayant une période de retour de 100 ans entraînent une PAM plus élevée, les dommages causés aux propriétés dans de nombreuses régions dépassant 10 % de leur valeur. Ces événements sont rares, mais peuvent causer des dommages importants dans les zones fortement exposées.

Le changement climatique peut aggraver les dommages liés aux inondations. Pour en évaluer les effets, nous utilisons deux des scénarios RCP établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ces scénarios couvrent un large éventail de possibilités. La présente étude a examiné le RCP 4.5 et le RCP 8.5, ce dernier impliquant un réchauffement plus rapide et des changements marqués

Figure 3.1: Pertes annuelles moyennes totales liées aux inondations dans l'immobilier résidentiel au Canada, classées par centile



Remarque: Les chiffres reflètent uniquement les dommages à la structure résidentielle et excluent ceux causés au contenu. La perte annuelle moyenne (PAM) totale est de 1 930 millions de dollars.

Sources: Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom) et calculs de la Banque du Canada.

Dernières valeurs du graphique : 2022T3

du climat.⁴

La figure 3.3 montre l'évolution estimée des dommages causés par le climat d'ici la fin du siècle par région de tri d'acheminement (RTA). L'augmentation nationale de la perte annuelle moyenne (PAM) au Canada est estimée à 6,7% et 11,9% selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5, respectivement. Cependant, il existe une grande variation selon les RTA, certaines régions devant connaître une augmentation de la PAM inférieure à 1%, tandis que d'autres devraient être exposées à une augmentation de la PAM supérieure à 25%. Il convient de noter que les calculs de la PAM sont basés sur la gravité et la fréquence prévues d'une distribution d'événements d'inondation à période de retour.⁵ Elles décrivent la probabilité qu'un événement dangereux se produise à une intensité donnée, ou plus grande, dans un laps de temps défini par une probabilité. Par exemple, une période de retour de 1 sur 100 ans signifie qu'une inondation, d'une ampleur donnée, a 1 % de chance de se produire au cours d'une année. Par conséquent, les PAM masquent l'aggravation, induite par le climat, des inondations ayant différentes périodes de retour. La gravité d'un événement ayant une période de retour de 100 ans devrait augmenter considérablement pour la plupart des RTA du Canada, et de nombreuses RTA devraient connaître une augmentation des dommages de plus de 50 % à la suite de ces événements, d'ici la fin du siècle. Dans notre analyse, nous maintenons constante la fréquence de récurrence des événements et mesurons simplement le changement de leur gravité.

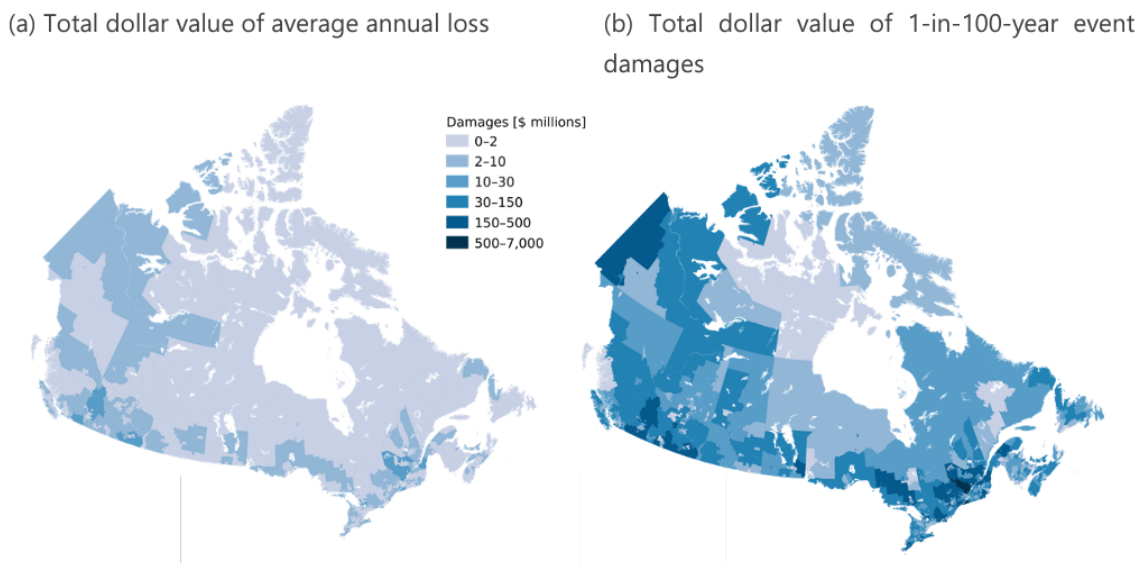
3.3 Méthodologie d'évaluation des risques financiers

La figure 3.5 présente un aperçu de la méthodologie que nous utilisons pour mener l'évaluation des risques financiers.

⁴Plus précisément, le RCP 4.5 suppose des émissions futures allant de faibles à modérées (une légère augmentation des émissions de dioxyde de carbone se produit jusqu'au milieu du siècle, puis diminue). Le RCP 8.5 entraîne un réchauffement plus rapide et des changements plus prononcés du climat, compte tenu de l'hypothèse d'émissions futures très élevées (d'ici la fin du siècle, les émissions de dioxyde de carbone sont trois fois plus élevées qu'elles ne le sont actuellement) (GIEC 2023).

⁵Les périodes de retour sont une mesure courante de l'occurrence des catastrophes naturelles, y compris des inondations.

Figure 3.2: Estimation actuelle des dommages causés par les inondations aux biens immobiliers résidentiels, par région de tri d'acheminement (RTA)



Remarque : Les chiffres reflètent les dommages causés à la structure résidentielle seulement. Une région de tri d'acheminement (RTA) délimite une section spécifique d'une zone géographique donnée et est représentée par les trois premiers caractères du code postal canadien à six caractères.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom) et calculs de la Banque du Canada.

Dernières valeurs du graphique : 2022T3

3.3.1 Prêts garantis sur biens immobiliers résidentiels et assurances de biens et de dommages

Il est aussi instructif de comprendre comment l'assurance incendie, accident et risques divers (IARD) atténue les risques pour les propriétaires, notamment en cas d'inondation.⁶

3.3.2 Prêts garantis sur biens immobiliers résidentiels

Les données sur les prêts hypothécaires résidentiels à taux variable comprenaient des renseignements anonymisés provenant de 63 prêteurs.⁷ Cet ensemble de données comprenait des caractéristiques utiles telles que le solde impayé et les limites de crédit des prêts hypothécaires anonymisés et des marges de crédit sur valeur domiciliaire, le code postal de la propriété utilisée comme garantie, la date et la valeur de la dernière évaluation de la propriété de même que les données de l'indice des prix des maisons Teranet-Banque Nationale pour mettre à jour toutes les valeurs des propriétés au troisième trimestre de 2022.

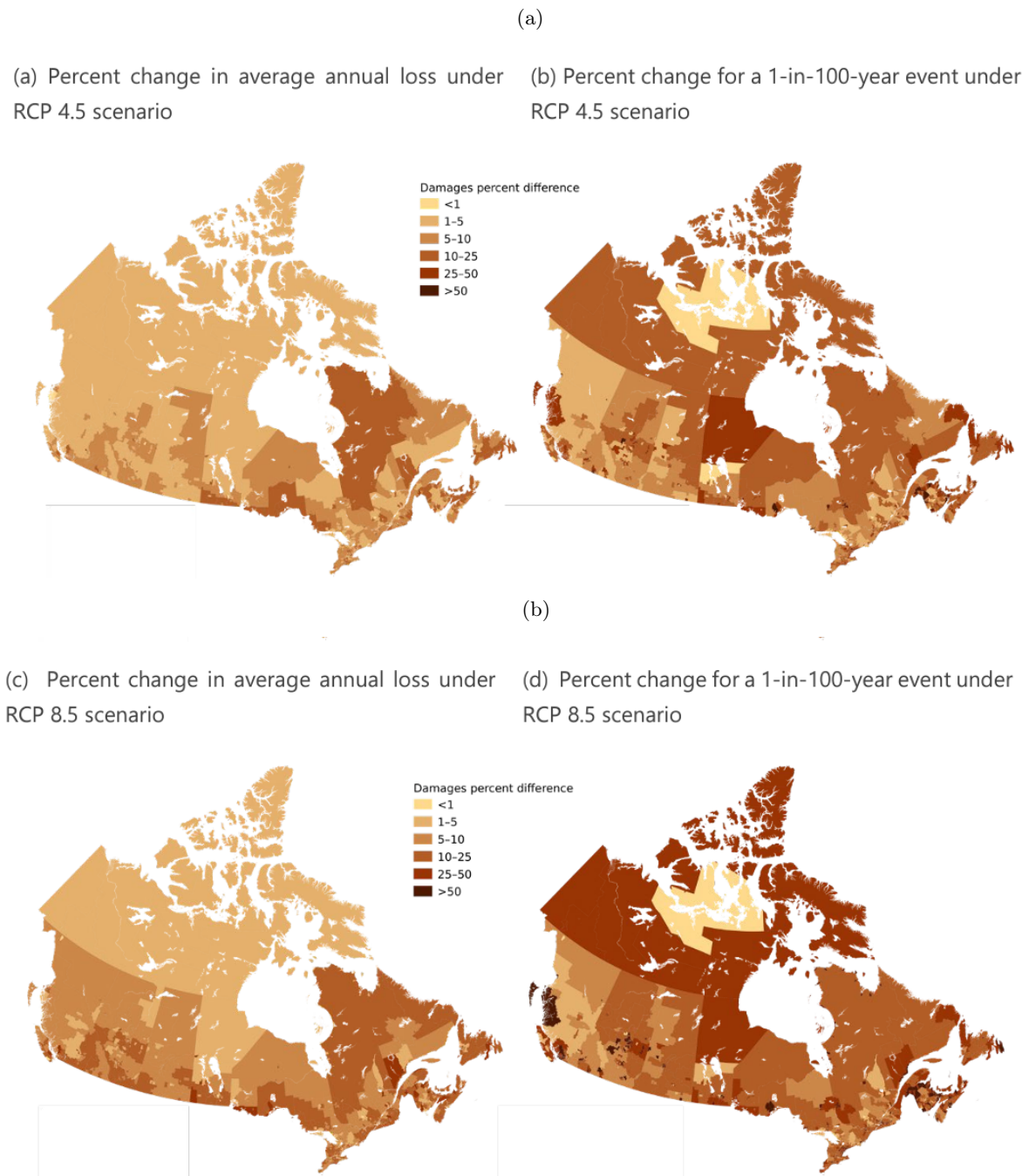
Nous combinons cet ensemble de données sur les prêts résidentiels avec l'ensemble de données sur les inondations de Sécurité publique Canada, afin d'examiner la résilience des portefeuilles de prêts résidentiels à différents types d'inondations.

Au total, notre échantillon comprend 7,7 millions de propriétés résidentielles. La plupart des em-

⁶Les données ont été fournies par des organismes de réglementation fédéraux et provinciaux ainsi que par des assureurs de biens et de dommages.

⁷Pour appuyer ce travail, des données financières provenant d'institutions financières sélectionnées de chaque organisme de réglementation participant ont été fournies. Ces données ont été anonymisées à la source : toutes les informations sur les emprunteurs et les propriétés ont été exclues. Les données de cette analyse, bien que non exhaustives, couvrent une grande partie de tous les prêts hypothécaires résidentiels à taux variable au Canada.

Figure 3.3: Pertes annuelles moyennes totales liées aux inondations dans le secteur immobilier résidentiel au Canada, classées par centile



Remarque : RCP signifie Trajectoires représentatives de concentration en français. Les dommages ne concernent que les dommages structurels. Une région de tri d'acheminement délimite une partie spécifique d'une zone géographique donnée et est représentée par les trois premiers caractères du code postal canadien.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom) et calculs de la Banque du Canada

Table 3.1: Aperçu des données d'exposition et des institutions financières concernées

	Number of lenders	Number of properties (millions)	Average RESL concentration (to total assets)
Domestic systemically important banks	6	6.2	20%
Small and medium-sized banks	18	0.5	57%
Credit unions	39	1.0	56%
Total	63	7.7	53%

prunteurs contractent des prêts garantis auprès de l'une des six banques nationales d'importance.⁸ Ces institutions financières ont tendance à moins se concentrer sur les prêts résidentiels que les autres banques ou coopératives de crédit. Cette diversification dans d'autres actifs et secteurs d'activité pourrait potentiellement atténuer les pertes associées aux événements à risque comme les inondations. À l'inverse, les institutions financières dont les portefeuilles sont concentrés sur les prêts résidentiels pourraient subir des pertes plus élevées en cas de tels événements.

3.3.3 Assurance de biens et de dommages

Au Canada, les propriétaires peuvent souscrire une assurance habitation auprès d'assureurs IARD privés pour protéger leurs biens et résidences et pour couvrir les frais de subsistance associés à la survenue d'un événement assurable. La plupart des prêteurs exigent d'ailleurs une preuve d'assurance habitation pour consentir un prêt.

Les assureurs IARD proposent une vaste gamme de produits d'assurance habitation qui varie selon les risques qu'ils couvrent. Par exemple, une police classique, couvrant les dégâts d'eau, peut exclure les inondations. Les propriétaires ne sont pas tenus de souscrire une assurance contre les inondations. C'est un choix qui élargit leur couverture de base. Ces polices varient en matière de prix, de couverture et de valeur assurable.

Pour connaître la proportion et le lieu de résidence des propriétaires bénéficiant d'une couverture contre les inondations, nous avons obtenu des données auprès de neuf assureurs IARD canadiens. Ces données anonymisées au code postal concernent les polices en vigueur au cours du troisième trimestre de 2022. Nous calculons que 58 % des propriétaires résidentiels au Canada choisissent de souscrire une assurance habitation auprès de l'un de ces assureurs et que 38 % des propriétaires choisissent de souscrire une police d'assurance inondation supplémentaire.⁹

Étant donné qu'il n'est pas possible de relier la couverture contre les inondations d'un assureur à une propriété spécifique, nous générons un assureur représentatif qui propose des polices variant selon les codes postaux. La figure 3.5 donne un aperçu de cet assureur représentatif. Les graphiques montrent la part des ménages qui souscrivent une couverture supplémentaire contre les inondations ainsi que l'étendue de cette couverture, mesurée par la sous-limite de la police contre les inondations en tant que part de la valeur totale assurable.

3.3.4 Estimer l'impact financier des inondations

Pour traduire les inondations en impacts financiers, nous mesurons la perte à laquelle un prêteur est confronté en cas de défaut de paiement d'un emprunteur. Pour calculer cette perte en cas de défaut (PCD), nous prenons en compte les dommages non réparés causés aux structures résidentielles, après avoir contrôlé l'assurance IARD contre les inondations. Pour les prêteurs, ces dommages non réparés se traduisent par des pertes que nous comptabilisons dans la PCD tout en contrôlant à la fois l'assurance prêt hypothécaire et l'assurance IARD. La figure 3.6 illustre la manière dont nous appliquons les dommages causés par les inondations et l'assureur représentatif aux propriétés individuelles.

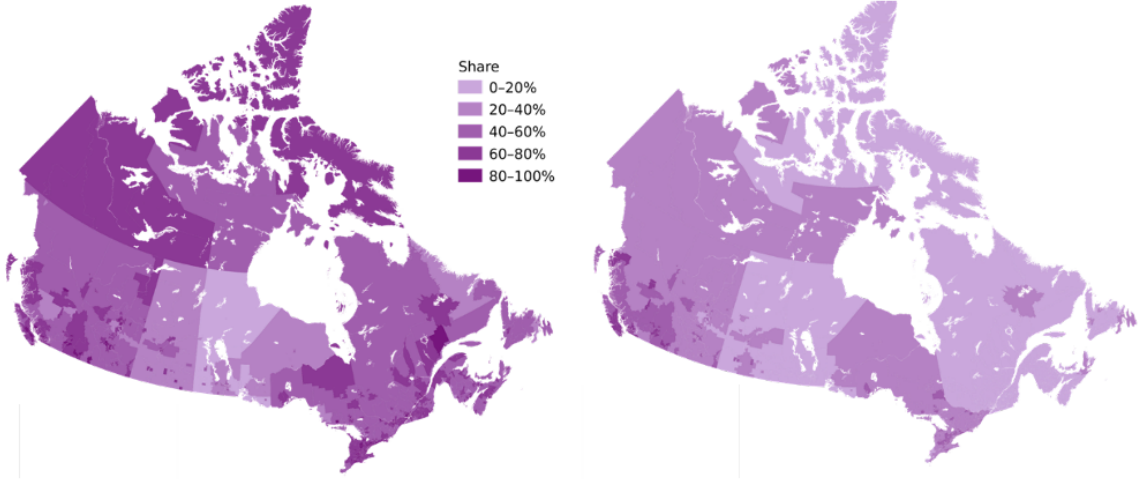
⁸Banque de Montréal, Banque de Nouvelle-Écosse, Banque Canadienne Impériale de Commerce, Banque Nationale du Canada, Banque Royale du Canada et Banque Toronto-Dominion.

⁹Nous effectuons l'analyse au niveau du code postal afin d'établir une cartographie précise du risque d'inondation pour les propriétés résidentielles. Les graphiques présentent des données et des résultats agrégés au niveau de la région de tri

Figure 3.4: Assurance contre les inondations

(Gauche: Ménages disposant d'une couverture complémentaire à l'assurance de base)

(Droit: Montant de l'assurance inondation en pourcentage de la valeur totale assurable, par RTA)



Remarque : Une région de tri d'acheminement (RTA) délimite une partie spécifique d'une zone géographique donnée. Elle est représentée par les trois premiers caractères du code postal canadien. Sources : Assureurs de biens et de dommages participants et calculs de la Banque du Canada.

3.3.5 Dommages-intérêts récupérables et irrécupérables

Après une inondation, les propriétaires choisissent de faire une réclamation d'assurance et de recevoir un paiement (pay_i) si les dommages causés à leur propriété dépassent leur franchise d'assurance ($deduct_i$). Étant donné que nous ne pouvons pas vérifier si une propriété est couverte par une assurance IARD, nous divisons les dommages (d_i) en un montant recouvrable et un montant irrécupérable (équation 3.1 et équation 3.2), respectivement, où d_i^r représente la partie recouvrable et d_i^u représente la partie irrécupérable. Ces deux montants varient selon les codes postaux et sont fonction du taux de souscription à l'assurance inondation. Ainsi, nous obtenons la part observable des propriétaires d'un code postal qui choisissent de souscrire une police d'assurance supplémentaire contre les inondations ($\sum_{i=1}^1 (n_i | \text{assurance inondation} = 1)$) par rapport au nombre total de propriétés ($\sum_{i=1}^1 n_i$).¹⁰ ¹¹ Bien que nous ne soyons peut-être pas en mesure de saisir adéquatement la couverture d'assurance propre à chaque propriété, notre méthode de division des dommages nous permet de saisir le rôle de l'assurance au niveau du code postal. Nous calculons les dommages appliqués à la propriété individuelle i ainsi que la condition d'assurance en utilisant l'équation 3.

$$d_i^r = d_i \times \frac{\sum_{i=1}^1 (n_i | \text{flood insurance} = 1)}{\sum_{i=1}^1 n_i} \quad (3.1)$$

$$d_i^u = d_i - d_i^r \quad (3.2)$$

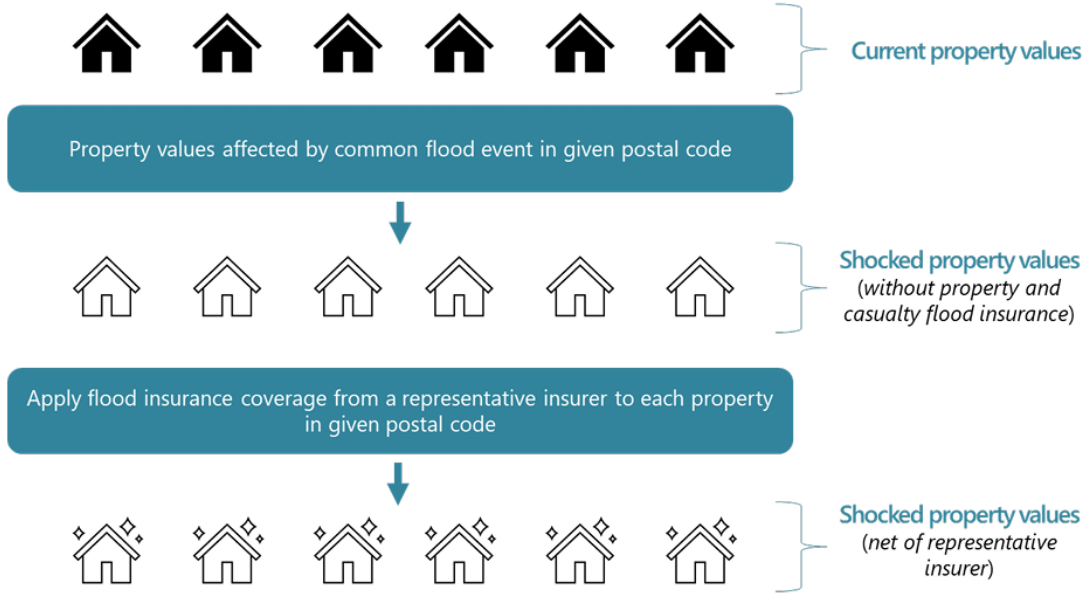
$$d_i^{\text{unrepaired}} = \begin{cases} ccd_i^u + (d_i^r - pau_i + deduct_i), & \text{if } d_i^u + d_i^r > deduct_i \\ d_i, & \text{else} \end{cases} \quad (3.3)$$

d'acheminement (RTA), comme convenu avec les fournisseurs de données.

¹⁰Au Canada, certains risques comme les inondations obligent les assurés à souscrire une couverture supplémentaire à leur assurance habitation de base afin d'assurer leur propriété contre les risques qui ne sont pas couverts.

¹¹Nous calculons le taux de souscription à une assurance supplémentaire en utilisant toutes les propriétés résidentielles, à l'exclusion des propriétés non hypothéquées, dans un code postal. Nous suivons cette approche pour éviter le biais de sélection qui pourrait se produire si nous ne considérons que les habitudes d'assurance des propriétés hypothéquées.

Figure 3.5: Calcul des dommages aux biens et de la couverture de l'assurance IARD



Nous partons du principe que tout dommage dépassant le montant assurable (ou non couvert par l'assurance) n'est pas réparé après le versement du dédommagement par l'assurance. Ces dommages non réparés ($d_i^{unrepaired}$) altèrent la valeur du bien du même montant.

3.3.6 Perte en cas de défaut

Nous adoptons une approche simplifiée pour calculer la PCD et l'appliquons à tous les prêteurs. Cela s'explique en partie par le fait que nous n'avons pas accès aux nombreuses méthodologies de PCD qu'utilisent les prêteurs. Cette approche nous permet également d'isoler les impacts des inondations sur les résultats financiers sans confondre davantage les résultats avec diverses méthodologies de PCD. Pour commencer, nous divisons la perte nette en deux composantes (équation 3.4) : le montant des pertes brutes (PB) et le montant des recouvrables nets (RN). La composante PB (équation 3.5) capture toutes les pertes auxquelles le prêteur est confronté lorsqu'il détient un bien en défaut. Cela comprend le solde restant et impayé du prêt (b_i), les intérêts courus et le délai de règlement (r_i et t) et divers coûts associés à la détention du bien, tels que les taxes foncières (tax), les frais d'entretien ($maint.$) et l'assurance immobilière ($insure$), qui sont une fonction de la valeur du bien (v_i), ainsi que les frais juridiques ($legal$) et les dommages non réparés causés par les inondations ($d_i^{unrepaired}$). La composante RN (équation 6) de la perte nette en cas de sinistre comprend tout montant que le prêteur peut récupérer de la vente du bien, net des frais. Enfin, nous supposons qu'il n'y a aucune perte pour les propriétés dont le RN dépasse la PB ; en d'autres termes, lorsque la vente de la propriété nette de frais est supérieure aux pertes associées au défaut.¹²

$$LGD_i = \begin{cases} GLA_i - NRA_i, & \text{if } GLA_i > NRA_i \\ 0, & \text{if } GLA_i \leq NRA_i \end{cases} \quad (3.4)$$

$$GLA_i = b_i + b_i \left(\left(1 + \frac{r_i}{12} \right) - 1 \right) + v_i \times \frac{t}{12} \times (tax + mrate + insure) + legal + maint. + d_i^{unrepaired} \quad (3.5)$$

¹²Cette hypothèse est cohérente avec la réalité car un prêteur ne subirait pas de pertes sur un prêt après le défaut d'un propriétaire si la valeur de la propriété était suffisamment élevée pour couvrir le remboursement du ou des prêts en cours et couvrir tous les frais accessoires et coûts associés au défaut.

Table 3.2: Sommaire des paramètres et des valeurs supposées dans les calculs de perte en cas de défaut

Parameter	Variable	Assumed value
Interest rate (%)	r_i	<i>Observed loan rate</i>
Time to settlement (months)	t	12
Property tax (%)	tax	2
Insurance rate (%)	$insure$	3
Fixed maintenance cost (\$)	$maint.$	2,000
Legal (\$)	$legal$	5,000
Real estate commission (%)	$realestatecommission$	5
Appraisal fee (\$)	$appraisal fee$	500
Property value depreciation post severe flood (%)	$depreciation$	0

$$NRA_i = v_i \times (1 - depreciation) \times (1 - real estate commission) - appraisal fee \quad (3.6)$$

Nous contrôlons également le rôle de l'assurance prêt hypothécaire. Contrairement à l'assurance IARD, l'assurance prêt hypothécaire protège les prêteurs contre les pertes en cas de défaut de paiement d'un emprunteur. Au Canada, les emprunteurs sont généralement tenus de souscrire une assurance prêt hypothécaire si le ratio prêt/valeur (RPV) est supérieur à 80 % à l'origine. Les prêteurs hypothécaires peuvent également souscrire une assurance prêt hypothécaire pour les portefeuilles de prêts hypothécaires dont le RPV est égal ou inférieur à 80 %. Nous supposons que l'assurance prêt hypothécaire couvre les pertes liées aux intérêts courus et aux soldes impayés et qu'elle exclut les dommages non réparés causés par les inondations.¹³

Ainsi, l'Équation 3.7 définit la GLA pour les propriétés avec assurance de prêt hypothécaire :

$$GLA_i^{mortgage insured} = d_i^{unrepaired} \quad (3.7)$$

Dans cette analyse, les impacts des inondations sur les portefeuilles résidentiels des prêteurs sont présentés comme la variation de la perte en cas d'inondation par rapport à la perte en cas d'inondation sous l'effet de la perte annuelle moyenne actuelle (équation 3.8). En d'autres termes, nous supposons que la perte annuelle moyenne (PAM) actuelle reflète le paysage actuel des risques d'inondation et est déjà intégrée dans les chiffres de perte en cas de défaut (PCD) existants pour chaque prêt.

$$\Delta LGD_i = LGD_i^{shock} - LGD_i^{AAL} \quad (3.8)$$

Le temps de règlement et, en particulier, la dépréciation de la valeur de la propriété après une inondation influencent les calculs de PCD dans notre analyse, mais ils s'avèrent très incertains.¹⁴ Nous explorons la sensibilité des résultats à une paramétrisation alternative dans la section. 3.4.2.

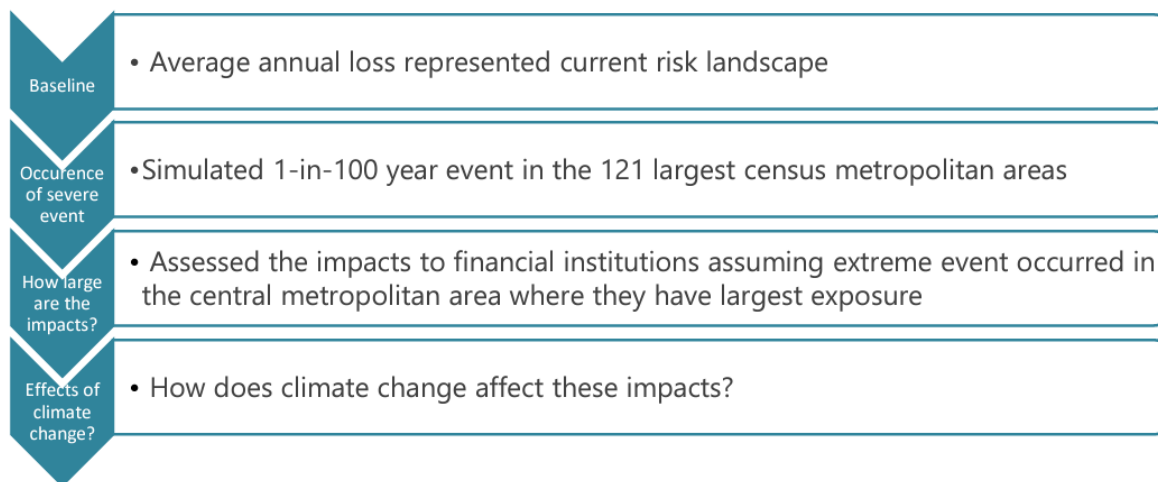
3.3.7 Étude de cas d'événement grave

Nous évaluons les risques financiers potentiels liés aux inondations au Canada à l'aide de deux types d'événements d'inondation. Le premier concerne un événement qui pourrait survenir en moyenne au cours d'une année donnée, comme nous l'avons présenté précédemment, avec la perte annuelle moyenne (PAM) comme mesure correspondante des dommages. La PAM nous permet de saisir les dommages

¹³ Cette hypothèse est conforme à la pratique suivie par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) — le plus grand fournisseur d'assurance prêt hypothécaire au Canada. La SCHL ne couvre pas les pertes liées aux dommages causés par les catastrophes naturelles (SCHL 2016).

¹⁴ Pour simplifier, nous supposons un délai de règlement commun de 12 mois. Cependant, dans le cas d'un événement météorologique extrême avec plusieurs défauts de paiement, le délai moyen de règlement pourrait être plus long. Nous notons aussi que le processus de saisie n'est pas uniforme au Canada. Certaines provinces utilisent un processus de saisie judiciaire, tandis que d'autres utilisent un pouvoir de vente par lequel le prêteur peut revendre une propriété en souffrance au nom de l'emprunteur. Les processus varient considérablement selon la province, la propriété et la situation de l'emprunteur. Ainsi, le délai entre un premier paiement manqué et la vente de la propriété peut être aussi court que trois mois ou dépasser un an.

Figure 3.6: Aperçu d'une étude de cas d'un événement météorologique extrême



prévus d'une inondation spécifique chaque année et d'estimer le niveau actuel de risque d'inondation. Ce type d'événement sert de base à l'évaluation des risques financiers.

Nous évaluons la résilience des prêteurs aux inondations en simulant une inondation grave affectant les propriétés utilisées comme garantie dans leurs portefeuilles de prêts résidentiels. L'événement simulé est une inondation plausible, mais grave, se produisant une fois tous les 100 ans. Ce type d'événement se produit chaque année avec une probabilité de 1 %, ce qui équivaut à se produire une fois tous les 100 ans.

Étant donné que les événements météorologiques ont tendance à être localisés, nous considérons la survenue d'événements météorologiques violents localisés plutôt qu'à l'échelle nationale. Pour ce faire, nous simulons des événements graves propres à une ville pour chaque prêteur, en examinant les événements catastrophiques qui se produisent dans 121 régions métropolitaines de recensement au Canada. Nous identifions la ville où les emprunteurs subissent les plus gros dommages, car cela représenterait l'événement potentiellement le plus stressant pour le portefeuille d'un prêteur. Nous évaluons ensuite les impacts financiers uniquement sur la partie affectée du portefeuille de prêts immobiliers résidentiels du prêteur en utilisant la PCD. Cela nous permet de déterminer les expositions spécifiques du prêteur, ainsi que sa résilience, à un risque d'inondation particulier. Nos résultats montrent les impacts sur tous les prêteurs pour chaque région métropolitaine de recensement. Dans la section 4.2.2., nous examinons l'effet supplémentaire que le changement climatique peut avoir sur les PCD des prêteurs. Nous y parvenons en anticipant les événements climatiques futurs sur les portefeuilles d'aujourd'hui. (Figure 3.7).

3.4 Résultats

3.4.1 Risque annuel anticipé pour les prêteurs en matière d'inondation

Près de la moitié des dommages annuels moyens prévus aux biens immobiliers résidentiels liés aux inondations au Canada ont touché des propriétés utilisées comme garantie de prêt immobilier. Le tableau 3.3 met en évidence l'ampleur des dommages annuels moyens prévus aux propriétés résidentielles selon deux scénarios de changements climatiques, à savoir RCP 4,5 et 8,5, d'ici 2100. Les dommages structurels actuels prévus en raison des inondations pour toutes les propriétés résidentielles au Canada totalisent 1,9 milliard de dollars au cours d'une année donnée.¹⁵ De ces dommages, environ 940 millions de dollars entrent dans le champ de notre analyse et devraient toucher des propriétés qui détiennent au moins un produit de prêt immobilier. Le risque pour les prêteurs lié aux inondations dépend de plusieurs facteurs et inclut la valeur des prêts résidentiels garantis dans leurs portefeuilles, la concentration de ces prêts dans

¹⁵Lorsque les dommages au contenu des résidences sont inclus, Sécurité publique Canada estime les pertes à 2,92 milliards de dollars (encadré 1)

Table 3.3: Description des données sur les risques d'inondation : PAM

	Total damages in Canada (millions)	Total damages to properties in scope (millions)
Current	\$1,930	\$940
By the year 2100 with 2 warming (RCP 4.5)	\$2,060 (+6.7%)	\$1,004 (+6.8%)
By the year 2100 with 2 warming (RCP 8.5)	\$2,160 (+11.9%)	\$1,055 (+12.2%)

Remarque : RCP signifie trajectoires de concentration représentatives. « Dommages » ne fait référence qu'aux dommages structurels. Les chiffres entre parenthèses indiquent le pourcentage de changement par rapport aux niveaux actuels.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de dommages et calculs de la Banque du Canada.

les zones inondables et le niveau de fonds propres de l'emprunteur (tableau 3.4).¹⁶ Les zones inondables sont définies comme des codes postaux où les pertes annuelles moyennes (PAM) en pourcentage de la valeur des propriétés se situent dans le 90e percentile. Une partie des prêteurs ayant un niveau élevé de prêts RESL résidentiels continue d'offrir des prêts dans des zones plus exposées aux inondations. Cela dit,

Table 3.4: Concentration et part des prêts accordés dans les zones inondables

			Average	Maximum	
	$\geq 80\%$	9	4%	8%	39 %
Concentration of lending	60%-80%	16	8%	62%	38 %
in residential real estate	40%-60%	18	13%	65%	38 %
secured lending	20%-40%	15	15%	97%	31 %
	<20%	5	5%	7%	29 %

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral et calculs de la Banque du Canada.

presque toutes les institutions financières de notre échantillon avaient des prêts immobiliers résidentiels actifs dans des zones inondables (tableau 3.4). Cela signifie que presque tous les prêteurs ont un segment de leur portefeuille résidentiel exposé au risque d'inondation. Pour de nombreux prêteurs, cela représente moins de 30 % de leurs portefeuilles de prêts immobiliers. Cependant, certains prêteurs accordent plus de 50 % de leurs prêts à des emprunteurs possédant des biens situés en zones inondables. Pour ces prêteurs, la probabilité d'avoir des emprunteurs en difficulté augmente, surtout si beaucoup d'entre eux se trouvent dans la même zone inondable.

Les propriétés situées en zones inondables sont susceptibles de subir, en moyenne, quatre fois plus de dommages. Étant donné la taille géographique du Canada, la diversité topologique et hydrologique du territoire suppose de larges écarts d'impacts potentiels des inondations, d'une région à l'autre. Le graphique 3.8 présente la répartition des pertes annuels moyens (PAM) entre les propriétés résidentielles ayant au moins un produit de prêt résidentiel. Ce graphique montre la nature très inégale des inondations au Canada. Il met en évidence les dommages annuels élevés qui devraient s'accumuler, en moyenne, sur les propriétés situées dans des zones inondables. Dans l'ensemble, le ratio prêt/valeur moyen de tous les emprunteurs reste relativement faible (tableau 3.4). Un ratio prêt/valeur inférieur à 50% implique que

¹⁶Nous évaluons les fonds propres de l'emprunteur en utilisant le ratio prêt/valeur, une mesure courante pour déterminer le niveau d'endettement par rapport à la valeur de la garantie. Le ratio prêt/valeur d'une propriété est calculé en additionnant tous les soldes hypothécaires, en ajoutant 75% de la limite des lignes de crédit sur valeur domiciliaire et en divisant par la valeur de la propriété.

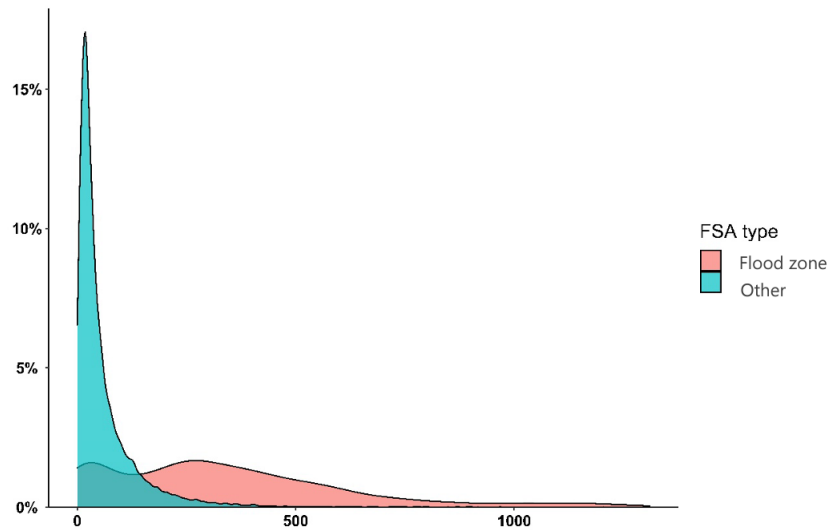
l'emprunteur possède 50% des capitaux propres dans son logement. Ces capitaux propres sont importants, car ils peuvent aider les emprunteurs à amortir certains chocs, notamment ceux causés par des événements météorologiques extrêmes. En outre, l'exposition d'un prêteur aux pertes dues à un défaut de paiement est plus faible lorsque les emprunteurs ont plus de capitaux propres.

Nous constatons que le risque couru par les prêteurs en raison de PAM semble gérable. En moyenne, les impacts financiers pour les prêteurs en cas d'inondation sont faibles, représentant une perte annuelle attendue égale à 0,07 % de leurs soldes impayés de prêts immobiliers résidentiels (graphique 3.9). Même pour les 10 % de prêteurs les plus importants, les impacts attendus représentent moins de 0,25 % de leur solde impayé au cours d'une année donnée. Les niveaux relativement faibles de dommages causés par les inondations au cours d'une année semblent gérables car de nombreux prêteurs :

- Ne comptent pas uniquement sur l'immobilier résidentiel;
- Ont moins de 30 % de leur portefeuille de prêts résidentiels dans les zones inondables;
- Ont des emprunteurs qui, en moyenne, ont de solides positions en capitaux propres.

Les prêteurs doivent néanmoins évaluer et gérer leurs risques liés aux inondations en tenant compte des pertes potentielles en cas d'événements extrêmes.

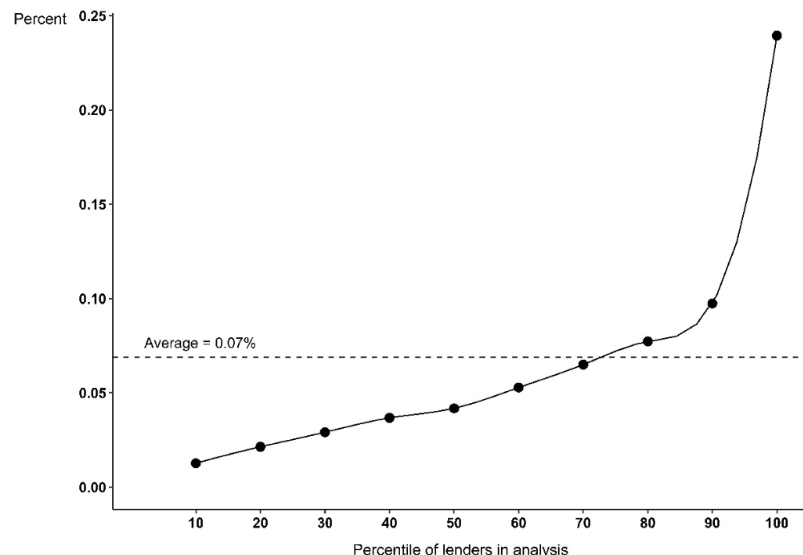
Figure 3.7: Répartition des dommages par propriété selon la perte annuelle moyenne actuelle



Remarque : la queue de la distribution des zones inondables s'étend au-delà de ce qui est observé dans le graphique. Les « dommages » ne concernent que les dommages structurels. Nous calculons les résultats nets des assurances représentatives des biens et des dommages.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral et calculs de la Banque du Canada.

Figure 3.8: Répartition de la perte annuelle moyenne totale des prêteurs en pourcentage du solde impayé total des prêts immobiliers résidentiels garantis



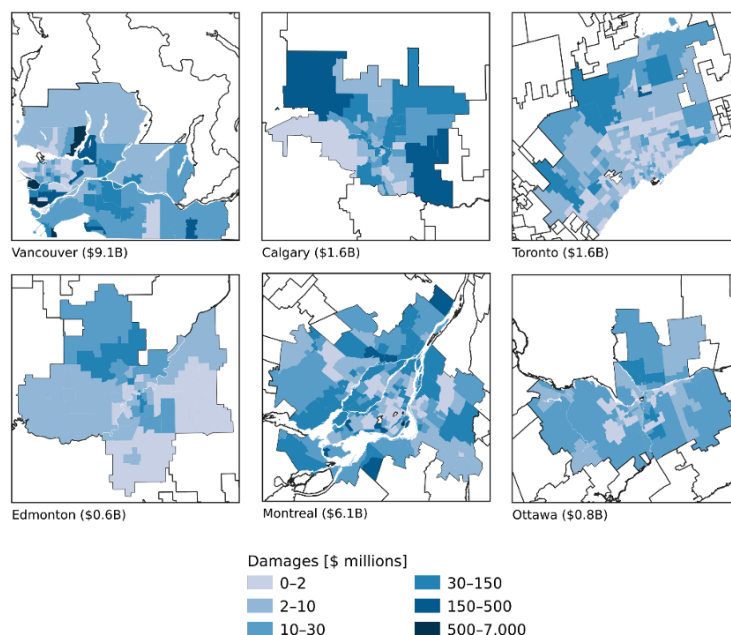
Remarque : Les résultats sont calculés nets des assurances représentatives des biens et des dommages.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

3.4.2 Étude de cas d'un événement grave : simulation d'une crue centennale

Pour mieux comprendre les impacts des inondations extrêmes sur les prêteurs, nous développons des études de cas spécifiques à chaque prêteur. Nous simulons une inondation grave affectant le segment le plus à risque du portefeuille de chaque prêteur.

Figure 3.9: Exemple de simulations d'inondations centennales dans six zones métropolitaines de recensement



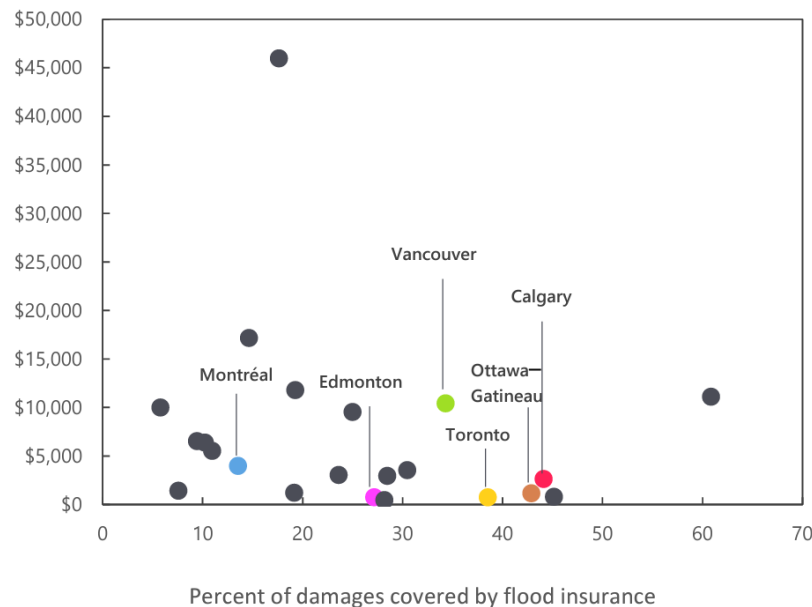
Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

3.4.3 Occurrence actuelle

Une inondation grave et localisée peut entraîner des milliards de dollars de dommages aux propriétés résidentielles. Par exemple, nous estimons qu'un tel événement causerait environ 9,1 milliards \$ de dommages résidentiels à Vancouver, 6,1 milliards \$ à Montréal et 1,6 milliard \$ à Calgary (Figure 3.10). Pour les propriétaires, l'ampleur des dommages varie selon que la résidence se situe en zone inondable ou non. En moyenne, les propriétés que nous incluons dans l'étude de cas grave ont subi environ 4 800 \$ de dommages à la suite d'une inondation centennale. Pour les propriétés situées dans des zones inondables, cette moyenne a atteint environ 29 000 \$. En revanche, les dommages annuels prévus calculés à partir de la perte annuelle moyenne (PAM) sont d'environ 230 \$ pour les mêmes propriétés. L'ampleur d'une inondation grave a mis en évidence la nécessité de prendre en compte plusieurs événements lors de la réalisation d'évaluations des risques climatiques. La capacité des ménages à faire face à une inondation grave dépend également de la disponibilité et du niveau de couverture d'assurance. La couverture et la souscription à une assurance contre les inondations varient d'un bout à l'autre du Canada. Nous démontrons qu'en général, dans les villes touchées par une inondation grave, moins de 50 % des dommages sont couverts par une assurance inondation. (graphique 3.11). Dans certaines villes, cette couverture est inférieure à 20 % des dommages, ce qui laisse entrevoir une détresse financière potentielle pour certains ménages, en cas de couverture insuffisante ou inabordable. L'assurance contre les inondations peut jouer un rôle important dans la réduction du risque de défaut de paiement lorsque les ménages sont confrontés à des dommages de grande ampleur. Dans l'ensemble, nous constatons que de nombreux prêteurs sont fortement exposés à une seule inondation grave. Pour plus de la moitié des prêteurs, une seule inondation

Figure 3.10: Pourcentage moyen des dommages matériels couverts par l'assurance par région métropolitaine de recensement

Pour les propriétés sélectionnées dans l'étude de cas sévère



Remarque : À des fins d'illustration, nous mettons en évidence la couverture d'assurance moyenne pour les régions métropolitaines de recensement de Calgary, Edmonton, Montréal, Ottawa–Gatineau, Toronto et Vancouver, telles qu'elles sont identifiées dans le graphique 3.10.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs sous réglementation provinciale et fédérale, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

Dernière observation: 2022T3

grave et de grande ampleur a touché plus d'un tiers de leur portefeuille de prêts immobiliers résidentiels (graphique 3.12). Pour certains prêteurs, cette exposition était encore plus grande. En fait, pour 10 % des prêteurs, 80 % de leurs portefeuilles de prêts immobiliers résidentiels seraient touchés par un seul événement. Malgré l'exposition élevée des prêteurs à une seule inondation grave, pour eux, ces événements produisent des changements modestes dans leurs pertes en cas de défaut de paiement. Par rapport à la perte annuelle moyenne prévue en cas d'inondation, nous avons constaté, comme décrit dans l'équation, 3.8 que les dommages matériels résultant d'une inondation grave augmentaient la perte en cas de défaut des prêteurs, en pourcentage de leur solde impayé, d'environ 0,24 %, en moyenne (graphique 3.13).¹⁷ Ces effets modestes sur les pertes des prêteurs en cas de défaut de paiement sont en partie dus à la valeur nette des propriétaires et à la récente hausse rapide des prix de l'immobilier. D'une part, la plupart des emprunteurs remboursent leurs prêts hypothécaires depuis plusieurs années et ils ont constitué une valeur nette dans leur maison. Cela les a aidés à se protéger des chocs et a conduit à des variations plus faibles de la perte en cas de défaut par rapport aux emprunteurs dont le ratio prêt/valeur total actuel est supérieur à 80 % et qui ont moins de valeur nette (tableau 3.5).¹⁸ D'autre part, la hausse rapide des prix de l'immobilier a fourni un tampon aux prêteurs, qui pourraient récupérer leurs pertes en cas de défaut de paiement si le bien avait suffisamment pris de la valeur.¹⁹ Toutefois, un segment des prêts immobiliers reste plus sensible aux inondations graves. Les ménages très endettés représentent depuis longtemps une vulnérabilité accrue pour le système financier (Cateau, Roberts et Zhou 2015).

¹⁷Par exemple, un prêteur dont la perte en cas de défaut de paiement moyenne du portefeuille avant l'inondation était de 30% passerait à 30,24%

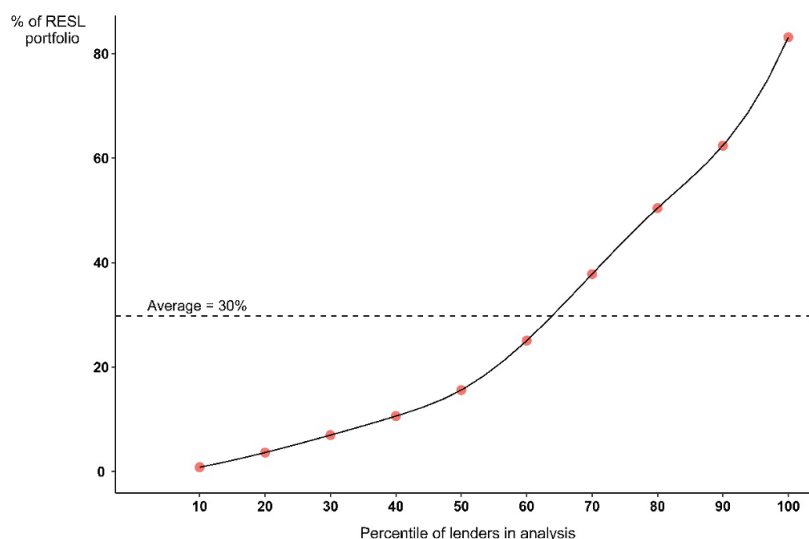
¹⁸Le ratio prêt/valeur total actuel fait référence à la valeur totale actuelle des soldes impayés de tous les produits de prêt garantis par un bien immobilier, divisée par la valeur actuelle du bien immobilier.

¹⁹Les prix nationaux de l'immobilier résidentiel ont augmenté rapidement de 2020 au début de 2022.

Ces ménages ont moins de fonds propres pour se protéger en cas de choc. Les inondations graves en sont un exemple. Pour les prêteurs, les pertes les plus importantes proviennent d'emprunteurs dont le ratio prêt/valeur total est supérieur à 80 %. (tableau 3.5). De plus, lorsque les ménages très endettés se trouvent dans des zones inondables, les pertes sont amplifiées. Environ 13 % des propriétés touchées par la simulation d'inondation grave se trouvent dans des zones inondables.²⁰ Les dommages dans ces zones induisent des pertes plus élevées pour les prêteurs, les faisant passer de 0,2 % à 2,1 % pour les propriétés avec des prêts qui ont un ratio prêt-valeur élevé (tableau 3.6).

²⁰Au Canada, 10 % des propriétés résidentielles se trouvent dans des zones inondables. Cependant, l'étude de cas simulée d'inondation grave s'est concentrée sur un sous-ensemble de propriétés situées dans des zones où les prêteurs seraient confrontés à des pertes potentielles plus importantes. Par conséquent, une part légèrement plus élevée de propriétés situées spécifiquement dans des zones inondables sont touchées.

Figure 3.11: Répartition de la proportion de portefeuilles de prêts garantis par des biens immobiliers résidentiels affectés par une étude de cas simulée sur 100 ans



Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

Table 3.5: Impact moyen des inondations centennales sur les pertes en cas de défaut en pourcentage des soldes impayés

	Change in LGD (pps)	Proportion of balances in severe case study
Total current LTV ratio $\leq 80\%$	0.2	94%
Total current LTV ratio $> 80\%$	0.4	6%

Remarque : Dans le tableau, LDG signifie perte en cas de défaut (PCD). PPS signifie points de pourcentage. Le ratio prêt/valeur actuel total fait référence au total des soldes impayés de tous les produits de prêt garantis par un bien immobilier, divisé par la valeur du bien immobilier. Nous calculons les résultats nets de l'assureur immobilier représentatif et de l'assureur de la responsabilité civile.

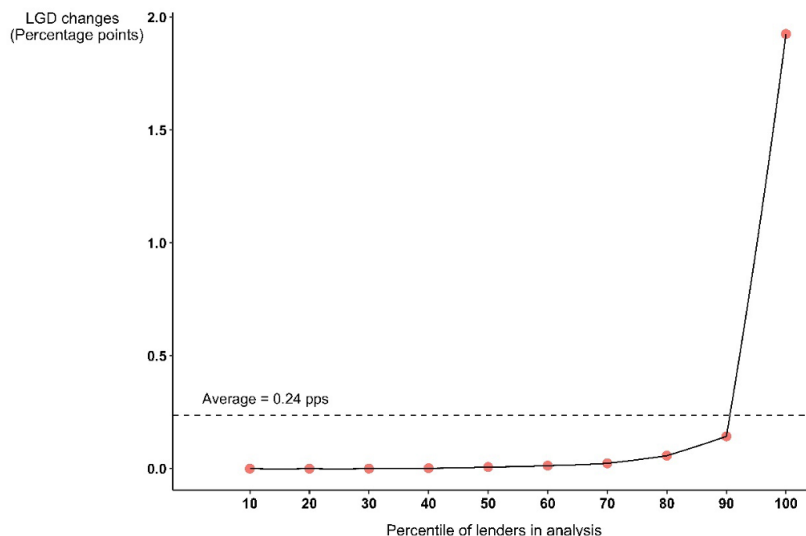
Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

3.4.4 Rôle des changements climatiques futurs

Les dommages résultant d'une inondation grave dans le scénario de changement climatique RCP 8.5 ont augmenté la PCD des prêteurs en pourcentage du solde impayé d'environ 0,6 % en moyenne, contre 0,24 % dans les conditions actuelles (graphique 3.14). Les prêteurs sont confrontés à des risques physiques plus élevés dans la queue de la distribution. Autrement dit, l'évolution de la PCD des prêteurs, due aux événements graves dans le scénario RCP, est la plus importante pour ceux actuellement exposés aux dommages causés par de tels événements. Avec l'accélération du changement climatique, davantage de personnes et de biens seront exposés (GIEC 2023). Dans notre analyse, le changement climatique étend les zones

Figure 3.12: Répartition de la variation des pertes en cas de défaut entre les prêteurs pour la partie du portefeuille de prêts garantis par des biens immobiliers résidentiels affectée dans l'étude de cas d'événement grave

Perte en cas de défaut en pourcentage du solde impayé pour les propriétés touchées par une inondation centennale



Remarque : les pertes ne concernent que celles subies en raison de dommages structurels. La variation des pertes en cas de défaut (PCD) est calculée comme la différence entre la PCD sur 100 ans et la PCD de référence, qui suppose un environnement avec des pertes annuelles moyennes (équation 8). Nous calculons les résultats nets de l'assureur représentatif des biens et de la responsabilité civile.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

Table 3.6: Impact sur les pertes en cas de défaut en pourcentage des soldes impayés pour les inondations centennales

Pourcentage de changement par rapport à la référence (Proportion des soldes dans les études de cas graves)

	Other	Flood zone
Total current LTV ratio $\leq 80\%$	0.05 (81.5%)	0.8 (12.6%)
Total current LTV ratio $> 80\%$	0.2 (5.2%)	2.1 (0.7%)

Remarque : Le ratio prêt/valeur total actuel correspond au total des soldes impayés de tous les produits de prêt garantis par un bien immobilier, divisé par la valeur du bien immobilier. Nous calculons les résultats nets de l'assureur immobilier représentatif et de l'assureur de dommages.

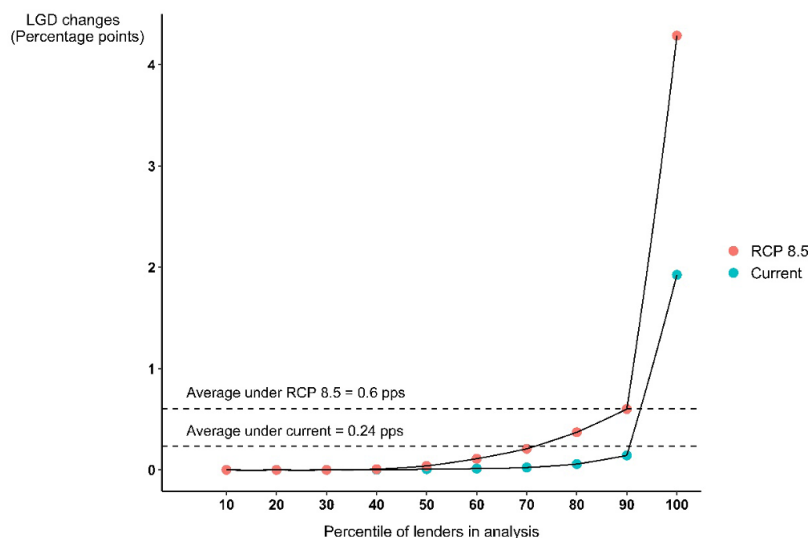
Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

inondables à de nouvelles zones, augmentant de 16 % le nombre de résidences dans les zones inondables.

Ces nouvelles zones inondables représentent une augmentation de 27 % du nombre de propriétés exposées à des niveaux élevés de dommages causés par les inondations. Ces propriétés nouvellement exposées augmentent les dommages totaux de 7 %. En outre, le changement climatique pourrait intensifier la gravité des inondations. L'augmentation des dommages totaux dus à l'intensification des inondations auxquelles sont confrontées les propriétés situées dans les zones à haut risque est d'environ 33 % (Tableau 3.7).

Répartition de la variation des pertes en cas de défaut entre les prêteurs pour la partie des portefeuilles de prêts immobiliers résidentiels qui seraient touchés en cas d'inondation (présente ou future), selon le scénario de changement climatique RCP 8.5

PCD en pourcentage du solde impayé pour les propriétés touchées par une inondation centennale



Remarque : PCD signifie perte en cas de défaut. RCP signifie trajectoires de concentration représentatives. « Pertes » désigne uniquement celles subies en raison de dommages structurels. Nous calculons les résultats nets de l'assureur représentatif des biens et de la responsabilité civile. Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

Table 3.7: Impact du changement climatique d'ici la fin du siècle (RCP 8,5) par rapport à aujourd'hui dans les zones inondables

Increase in flood zone forward sortation arears	+16%
Increase in properties in flood zones	+27%
Increase in damages from properties moving into flood zones	+7%
Increase in damages to properties already in flood zones	+33%

Remarque : RCP signifie « trajectoires de concentration représentatives ». Nous calculons les résultats nets de l'assureur représentatif des biens et de la responsabilité civile.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

3.4.5 Sensibilité des paramètres

D'autres facteurs peuvent aggraver les conséquences financières des inondations, notamment pour les biens immobiliers dont les prêts ont un ratio prêt/valeur élevé. Nous nous concentrons sur deux éléments liés aux changements du marché immobilier :

- Une dépréciation des prix de l'immobilier;
- Un délai de règlement plus long dû aux défauts de paiement des prêts hypothécaires.

Premièrement, une dépréciation des prix des maisons pourrait affecter la valeur nette des ménages et augmenter les pertes des prêteurs. Comme indiqué ci-dessus, les ménages dont la valeur nette de la maison est plus faible ont tendance à transmettre des pertes plus importantes aux prêteurs (tableau 5), surtout si cette maison se trouve en zone inondable (tableau 6). De plus, une réduction de la valeur de la propriété diminue la part des pertes récupérables pour les prêteurs (équation 6). En supposant une dépréciation de 10 % du prix des maisons, nous constatons qu'une inondation augmente les PCD des emprunteurs très endettés de 3,8 %, ce qui porte les impacts de la PCD de 0,4 à 4,2 %. ²¹ Deuxièmement, un délai de règlement plus long après un défaut de paiement augmente les pertes pour les prêteurs. Cela est dû aux coûts plus élevés associés à la détention du bien en défaut, tels que les taxes foncières, les frais d'entretien et les intérêts courus (équation 5). En augmentant le délai de règlement de 12 à 18 mois, nous constatons que la transmission des dommages d'une inondation grave aux PCD augmente de 4,2 % pour les prêts avec un ratio prêt/valeur élevé (tableau 3.8).

Table 3.8: Impact moyen sur les pertes en cas de défaut à la suite d'une inondation grave selon différents modèles

	Total current LTV ratio $\leq 80\%$	Total current LTV ratio $> 80\%$
House price depreciation of 10%	+0.1	+3.8
Increase in time to settlement by 6 months	+0.2%	+4.2%
Simultaneous 10% house price depreciation and increase in time to settlement by 6 months	+0.5	+13.0

Remarque : RCP signifie « trajectoires de concentration représentatives ». Nous calculons les résultats nets de l'assureur représentatif des biens et de la responsabilité civile.

Sources : Division de la résilience et de l'intégration économique (DRIE) de Sécurité publique Canada et leurs partenaires de données externes (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management et Fathom), données des prêteurs réglementés par les provinces et le gouvernement fédéral, assureurs de biens et de responsabilité civile et calculs de la Banque du Canada

Prises ensemble, ces modestes changements du marché résidentiel peuvent amplifier les pertes des prêteurs en cas d'inondation grave. Cela est particulièrement évident pour les ménages très endettés. Dans les conditions économiques actuelles, une inondation grave affectant des propriétés dont le ratio prêt/valeur actuel est supérieur à 80 % entraîne une augmentation de 0,4 % des pertes pour les prêteurs (tableau 3.5). Cependant, dans un marché immobilier plus faible, la transmission des pertes dues aux inondations augmente de 13 % (tableau 3.8). Il est donc impératif que les prêteurs continuent de gérer activement leurs risques liés au changement climatique.

3.5 Conclusion

Notre analyse représente une étape importante vers une meilleure compréhension des impacts financiers des événements météorologiques extrêmes sur les portefeuilles canadiens de prêts immobiliers résidentiels.

²¹Au Canada, peu de recherches ont été menées pour analyser les variations des prix des maisons après des catastrophes naturelles, à l'exception du rapport du Centre Intact d'adaptation au climat. Bakos et al. 2022, constatent des baisses comprises entre 1,1 % et 17,1 % (moyenne : 8,2 %) par rapport à la communauté témoin ; d'où notre choix d'une dépréciation de prix de 10 %.

Les risques physiques englobent un large éventail d'événements, tels que feux de forêt, ouragans et sécheresses. Nous nous concentrons toutefois sur les inondations en raison de leurs coûts annuels substantiels. Nous étudions ce risque à l'aide de deux scénarios d'inondation, soit les événements à récurrence annuelle moyenne, qui mettent en évidence l'exposition potentielle, et les événements d'inondation centennale, qui déterminent la résilience des prêteurs. Dans l'ensemble, nous constatons que les pertes potentielles résultant des dommages directs causés par les inondations sur les portefeuilles de RESL résidentiels des prêteurs semblent générer des impacts modestes sur les pertes en cas de sinistres graves. Cela est en partie dû à l'accélération récente et rapide des prix de l'immobilier, qui contribue à renforcer la position financière des propriétaires. Cette position financière solide constitue un tampon important qui réduit le montant des pertes liées aux inondations transmises aux prêteurs. Néanmoins, des changements dans la dynamique du marché immobilier, comme une réduction des prix de l'immobilier, pourraient accroître considérablement le risque financier des prêteurs en cas d'inondations extrêmes. Cependant, malgré les impacts modestes de la perte en cas de défaut, nous constatons que les prêteurs continuent de faire face à des risques importants. Plus précisément, l'influence de l'endettement des ménages combiné à la concentration des prêts dans les zones inondables peut exacerber le risque des prêteurs en cas d'événements météorologiques extrêmes. En fait, nous montrons que les emprunteurs ayant des niveaux élevés de dette garantie par un bien immobilier transmettent des pertes plus importantes aux prêteurs, en particulier si les biens garantis se trouvent dans des zones inondables.

Le changement climatique peut également accroître les risques liés aux inondations pour les prêteurs, en particulier dans la queue de la distribution. L'un de ces risques est que l'impact du changement climatique sur la perte en cas de défaut des prêteurs soit encore plus important pour ceux qui étaient déjà exposés aux dommages causés par des événements graves. En outre, nous montrons que le changement climatique :

- Accroît l'étendue des zones inondables;
- Accroît le nombre de propriétés exposées à des dommages causés par les inondations;
- Accroît les dommages totaux causés par les inondations.

Les institutions financières doivent gérer activement leur exposition aux risques liés aux conditions climatiques. En fait, la queue de la distribution des dommages causés par les inondations est probablement la principale source de risque associée aux événements météorologiques extrêmes. Les préoccupations liées à la confidentialité et à la protection de la vie privée liées à l'utilisation de données granulaires restreignent la portée de notre analyse. Plus important encore, nous supposons que les informations moyennes des codes postaux sur les inondations et la couverture d'assurance IARD ne reflètent pas les informations spécifiques à la propriété. Les prêteurs qui ont accès à des informations sur les garanties sous-jacentes à leurs prêts peuvent mieux évaluer le risque associé à leur propre portefeuille.

Remarques finales

Cette thèse rassemble trois travaux qui visent à mettre en lumière la propagation des chocs liés aux catastrophes naturelles sur le système financier canadien. Chaque chapitre se concentre sur les effets sur un segment particulier de l'économie, à savoir les marchés du travail, les propriétaires et enfin les prêteurs.

Dans l'ensemble, cette thèse montre que les portefeuilles immobiliers résidentiels des prêteurs subissent des effets modérés lors de catastrophes naturelles. Bien que nous montrions, au chapitre 3, que les prêteurs ayant un niveau élevé de concentration géographique sont plus vulnérables aux effets des catastrophes graves, la plupart des prêteurs au Canada sont relativement à l'abri des effets des catastrophes naturelles sur leurs portefeuilles de prêts résidentiels. Cela indique que les ménages supportent une grande partie du risque associé aux chocs des catastrophes naturelles.

En fait, cette thèse montre que les ménages sont affectés par un important canal de revenu. Dans le chapitre 1, nous montrons que si les heures travaillées sont affectées négativement dans le sillage immédiat d'une catastrophe, l'effet le plus important se traduit par une réduction significative de la croissance des salaires. En outre, le chapitre 3 souligne que les ménages qui ont des prêts hypothécaires peuvent également être affectés si la destruction de leurs biens est importante. Combinés, ces impacts peuvent conduire à une détresse financière importante pour les ménages, car des niveaux d'endettement élevés peuvent amplifier les pertes subies.

Les résultats de ces travaux mettent en lumière les implications politiques potentielles dont les décideurs doivent tenir compte face au risque que posent les catastrophes naturelles au système financier. Tout d'abord, le chapitre 1 montre que lors de catastrophes naturelles, l'état de l'économie entraîne des effets asymétriques sur les marchés du travail. En fait, les catastrophes naturelles ont tendance à avoir des effets beaucoup plus graves lorsque l'économie se trouve dans une situation de ralentissement du marché du travail. Par conséquent, la réponse du gouvernement aux catastrophes devrait tenir compte de l'état de l'économie lors de l'élaboration des stratégies de redressement post-catastrophe.

Deuxièmement, outre la perte de revenus, le chapitre 2 démontre que les ménages qui subissent une destruction importante ou totale de leur logement sont beaucoup plus susceptibles de connaître une détresse financière importante. Bien que ce chapitre n'ait pas été en mesure d'identifier l'effet de l'assurance P&C sur cette détresse financière, nous pouvons supposer que les longs délais d'attente avant de recevoir les indemnités d'assurance y ont probablement contribué. En outre, au chapitre 3, nous montrons que les assurances multirisques contre les inondations peuvent ne pas couvrir de manière adéquate les pertes subies par les ménages. Par conséquent, les décideurs politiques devraient se demander s'il existe d'importantes lacunes dans les marchés de l'assurance et les contrôler à la suite d'une catastrophe.

Deux limites majeures à cette thèse apparaissent. Premièrement, nous nous sommes concentrés sur l'effet des catastrophes sur les ménages. Cependant, les entreprises peuvent également être touchées et la compréhension de l'impact des catastrophes naturelles sur elles pourrait contribuer à éclairer les mécanismes qui affectent la croissance des salaires. En outre, ces effets peuvent également se propager aux banques qui accordent des prêts commerciaux. Comprendre comment les entreprises sont affectées pourrait nous aider à mieux comprendre comment les portefeuilles des prêteurs, au-delà des seuls prêts résidentiels, sont affectés.

Deuxièmement, l'assurance P&C joue un rôle important dans l'atténuation des risques. Bien que cette thèse ait tenté d'examiner son rôle au Canada, d'autres travaux devraient être menés pour mieux comprendre s'il existe des lacunes importantes et comment les assureurs eux-mêmes gèrent ces risques.

Part II

Full Thesis

Preamble

The focus of this thesis is to explore the implications of the physical risk of climate change on the Canadian financial system and economy. As climate change accelerates, physical risks increase bringing about more frequent and severe natural disasters. Hence, it's important to understand which economic agents bare the greatest risks from natural disaster shocks, and how these may manifest. As such, each chapter of this thesis presents a research paper which focuses in on the impacts to different agents or segments of the economy.

Chapter 1 presents a paper exploring the labour market disruptions from natural disasters.²² As such, this chapter identifies an important income channel through which households are affected by disaster shocks. This is evidence by the negative effect to income growth that occurs in the year following a disaster. While hours worked is the primary channel through which labour supply is affected immediately following the disaster, in the medium-run wage growth is the labour market measure that is most affected. What's more, these negative effects are amplified when the economy is in a state of high employment slack. However, the effect isn't as pronounced when the economy is in a state of low employment slack. This points to an asymmetric state-dependence of labour markets to natural disasters, with periods of slack leading to much worse outcomes than in those where slack is low.

In Canada, high household indebtedness has long been a source of financial system vulnerability (Cateau et al. [20]). Therefore, Chapters 2 and 3 focus on the nexus of the Canadian financial system that exists between households and lenders, namely residential mortgage lending. Mortgage lending is particularly exposed to physical risk, given that mortgages are secured by immobile assets and amortized over decades. For households, this represents their largest financial liability. For banks, mortgage lending makes up an important share of the asset side of their balance sheets.

Given that households are affected by natural disasters through an important income channel, the paper presented in Chapter 2 considers the effect on their financial health.²³ Specifically, it presents an empirical case study of wildfire on mortgage delinquencies and finds households are at a significant risk from this type of physical risk. In fact, we document a doubling of mortgage delinquencies approximately a year and a half following the event. The timing aligns with the negative effect on wage growth found in labour markets, as well as insurance payouts.

The final paper presented in Chapter 3 considers the implications of flooding on the providers of residential real estate lending in Canada. Here, we investigate the effects from current and projected future flood risk on the portfolios of mortgage lenders.²⁴ While we find some lenders are more exposed, the implications on lenders are minimal. Notably, we find that the equity position of homeowners, as well as the heightened level of house prices in Canada, provide an important buffer for lenders, effectively insulating them from natural disaster shocks.

Chapters 1 and 3 also explore the consequences of climate change. Specifically, Chapter 1 highlights the slow adaptation of labour markets to the physical risks of climate change which is slightly more optimistic than Kim et al. [70]. We also show in Chapter 3 that banks exposures to future flood risk is rising, as climate change increases both the number of properties that will be exposed to flooding as well as the damages these will face. Adaptation plays a crucial role in preventing worsening effects on labour markets, especially if more households are likely to be exposed to more frequent and severe effects

²²Published as Bank of Canada Staff Working Paper in September 2024 and co-author with Thibaut Duprey and Soojin Jo ([35]).

²³Published in *Journal of Environmental Economic and Management* in May 2023 and co-author with Anson T.Y. Ho, Kim P. Huynh, and David T. Jacho-Chávez. ([52]).

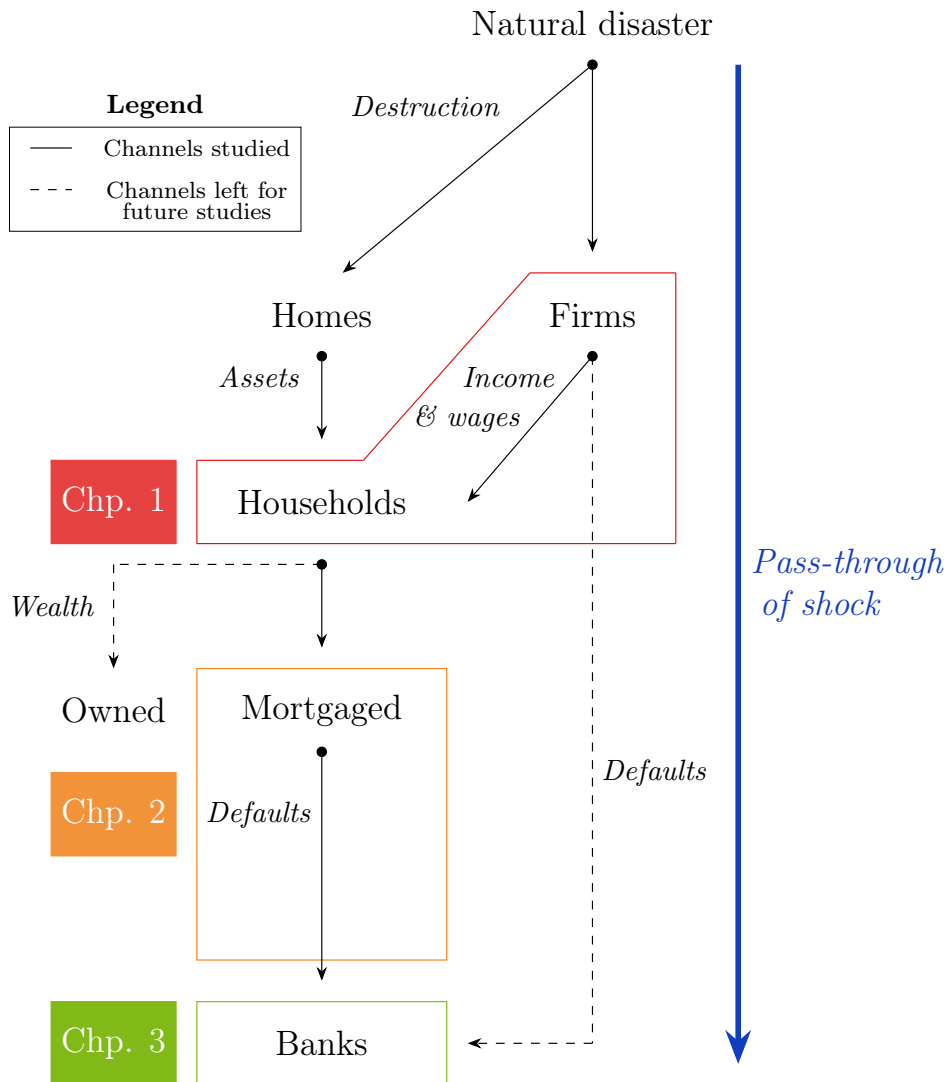
²⁴Published as *Bank of Canada Discussion Paper 2023-33* in December 2023 and co-authored with Craig Johnston, Hossein Hosseini, Brett Lindsay, Miguel Molico, Marie-Christine Tremblay, and Aidan Witts. Lead authors Craig Johnston and Geneviève C. Vallée ([65]).

of disasters.

Overall, this thesis sheds light on the propagation of natural disaster shocks through the financial system and how different segments are impacted (Figure 13). At the top, households bare the highest risks from natural disaster shocks. This can come through labour markets, where income is negatively impacted. Additionally, natural disaster can destroy homes which make up an important part of households assets. For those households with mortgages, income shocks combined with the destruction of collateralize assets can engender mortgage defaults. This can then propagate to the suppliers of mortgage financing, namely banks. However, the risks to banks are lessen due to built-up equity and in periods of house price growth.

Finally, while this thesis primarily explores the propagation of natural disaster shocks through the financial system, these shocks can have much wider impacts. For one, this thesis doesn't focus on households who've paid off their mortgages. In this instance, the destruction of their homes likely leads to important consequences on their wealth. What's more, capital destruction to firms likely also has consequences on their ability to repay loans. Firm defaults is another way through which natural disasters could affect banks. We leave these for future research.

Figure 13: Propagation of natural disaster shocks and the pass-through to varying segments of the economy and financial system



Chapter 1

Let's Get Physical: Impacts of climate change physical risks on provincial employment

This chapter was published as a Bank of Canada Staff Working Paper in September 2024 and was co-authored with Thibaut Duprey, Soojin Jo.

1.1 Introduction

The frequency and severity of natural disasters is increasing (Imada et al. [59], Walsh et al. [105], Knutson et al. [73]), a trend likely to continue due to anthropogenic climate change (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [61, 62]). Hence, against the backdrop of accelerating climate change, it is crucial to enhance our understanding of how natural disasters affect the macroeconomy.

In Canada, 2023 showcased the potential impact of physical risks of climate change due to the significant number of devastating natural disasters. Most notably, the record-breaking wildfire season burned an area more than twice the previous record, leading to the evacuation of approximately 200,000 people.¹ It also resulted in a significant deterioration in air quality, even in northern US cities. Not long after, Nova Scotia experienced severe flash floods due to extreme rainfall, which brought an amount of rain equivalent to three months' worth in under 24 hours.² Out west, Hurricane Hilary maintained tropical storm status while tracking across Southern California generating flash floods. The remnants of the tropical storm then moved across the Prairies in Canada, a nearly unprecedented occurrence. A year like 2023 underscores the urgency to better understand the consequences of such events on the macroeconomy, beyond the economic loss arising from the destruction of physical assets.

In this paper, we build a panel of natural disasters (wildfires, floods, winter storms and other storms) in Canada over 1980–2019 to study the labour market impact on the intensive margin, the extensive margin and real wage growth. In a panel local projection (Jordá [67]) and smooth local projection (Auerbach and Gorodnichenko [7], Choi et al. [23]), we investigate the dynamic impacts and state-dependent responses, for horizons as short as 1 week up to 30 months after the disasters. Our approach has several advantages. First, the use of disaster-level data allows us to draw causal inference, as provincial macroeconomic conditions in the short run are unlikely to impact the frequency and location of extreme weather events. Mitigating actions by government authorities may reduce the odds and duration of some events, like floods (new dams) or wildfires (construction zoning), but the occurrence of an extreme disaster in a given month and province is largely exogenous. A significant impact on the labour market would suggest that the possible adaptation of local economies over time does not fully compensate for the increased severity and frequency of disasters. Second, weekly or monthly impulse responses over a panel of provinces allows for a clearer quantification of economic impacts as opposed to either country-level or annual analyses (e.g., Tran and Wilson [102] and Zeenat Fouzia et al. [108] use U.S. county data but at the annual frequency).

¹See CBC article, September 4, 2023.

²See CBC article, July 22, 2023.

Most natural disasters are localized in terms of space and time: in our sample, natural disasters last on average 7 days and mostly affect a single province.³

We summarize our main findings as follows. First, disasters affect the local labour market negatively, mainly through changes in hours worked and wage growth, rather than employment rate. Following a shock, hours worked decrease temporarily, while wage growth tends to decline for up to a year afterward. This decline could be attributed to factors such as migration outflows (as observed in Coulombe and Rao [28] for wildfires in the US) or sectoral adjustments during the recovery phase post-disaster. Furthermore, focusing on the immediate aftermath, we analyze weekly responses of employment and hours worked by exploiting the unique timing of the labour survey. Our findings reveal that weekly hours worked decrease sharply by up to 45 minutes immediately after the shock. This is in line with Graff Zivin and Neidell [48], who find that daily maximum temperatures above 85°F (29°C) induce a reduction of hours worked by as much as an hour.

Second, the negative impact on hours worked and real wage growth is mostly concentrated in periods with high employment slack. That is, in regions where the labour market is already weak and the economy is sluggish, disasters can exacerbate these conditions: natural disasters act as a catalyst for a painful adjustment of the labour market. However, provincial economic recovery efforts supported by the federal government effectively attenuate part of the longer-term negative labour market impacts. This is in line with the companion work of Dahlhaus et al. [30], who find that disaster financial assistance from the federal government dampens the negative drag on GDP growth associated with a large provincial debt burden.

Third, we find that over time the response of employment has worsen, supporting Kim et al. [70] conclusion which finds limited evidence of adaptation to extreme events in the US. Since the 1980s, we see a worsening on the immediate effect on hours worked, and an overall increase in unemployment due to disasters. However, the strongest effect is once again seen on real wage growth, where we find worsening effects over time.

Finally, our findings indicate substantial heterogeneity in the impacts across disasters. The largest disasters in Canadian history have a severe and persistent impact on the labour market. Hours worked typically increase in response to wildfires, whereas storms show the least pronounced effects. Severe winter storms, however, are associated with an increase in the employment rate. Floods have an immediate negative impact on the labour market, with both employment and hours worked decreasing within the first week and throughout the subsequent month. Real wage growth consistently shows a negative response across all disaster types, especially in the absence of federal government assistance. Furthermore, most disaster-specific responses are amplified by periods of labour market slack. The heterogeneous responses across disaster types is partly explained by sectoral shifts in employment, as explored by Meier et al. [84] for wildfires in Southern Europe.

Our findings have the following important policy implications. First, when assessing the overall impacts of natural disasters, the effect on local labour markets should not be overlooked. Natural disasters can detrimentally affect vulnerable workers through the income channel, especially when it materializes at the same time as other shocks that had already weakened the economy. Income losses, in turn, can be one of the main drivers of households' defaults, possibly further amplifying losses for the overall financial system. Thus (climate) stress-tests should also consider the impact on job losses and disrupted income streams, as well as the joint occurrence of negative macroeconomic shocks and natural disasters. Second, disaster relief funding and its design is important for policy makers. Federal funding is most needed when provinces face an already weak provincial labour market. On the one hand, federal funding can alleviate some of the longer-term effects of disasters on wage growth. However, it may hide a sectoral reallocation. For instance, those living in wildfire-prone areas working in retail industries are more likely to lose their jobs, while part-time workers in the construction sector are more likely to benefit from the recovery phase after a wildfire. Third, policy makers have reasons to remain concerned about the macroeconomic impact of natural disasters, given the risk of increased frequency and magnitude, even as mitigation policies may provide some partial offset. The disruptive effect we quantify for the largest disasters in Canadian history is a cautionary tale for the decades to come, should Canada continue to experience record-breaking disasters.

The rest of the paper is organized as the follows. Section 1.2 reviews related studies and highlights our contribution. Section 1.3 describes the natural disaster dataset derived from the Canadian Disaster

³One could also look at the impact at the finer 3-digit Forward Sortation Area (about 1600 of them) like Duprey et al. [36], but employment data are not available at this local level.

Database. Section 1.4 presents the panel local projection model. Section 1.5 shows the results for the extensive and intensive margins of employment, explores the possible state-dependence and discusses possible evidence of adaptation over time. Finally, section 1.6 concludes.

1.2 Related literature

The literature on the economic effects of climate change focuses a lot on the impact of abnormal temperatures, often in cross-country studies (e.g., Dell et al. [32], Burke et al. [18], Cipollini et al. [24]). For instance, Kiley [69] uses a panel quantile regression on 125 countries and finds that temperature anomalies increase the possibility of severe per capita GDP contractions. Berg et al. [11] use a local projection framework that allows heterogeneity across countries and find that higher temperatures damage the growth of high-income countries while their impacts on low- and middle-income countries vary. Colacito et al. [27] find a negative impact of extreme temperatures on output in a panel of US states. Other papers take a broader view of extreme weather events beyond temperatures by looking at precipitation (e.g. Damania et al. [31]) or composite weather indices capturing other dimensions like wind and precipitation in addition to heat (e.g., Kim et al. [70]).

Extreme heat can also be related to employment. Kim et al. [70] use a smooth transition vector autoregressive model to highlight the time-varying effects over several decades. The macroeconomic impacts of extreme weather data become significant over time, with lower industrial production and consumption growth and higher unemployment and inflation rates. Wilson [107] uses local weather data and finds that it can nowcast the surprise component of monthly employment reports. Graff Zivin and Neidell [48] use within-county temperature variations and estimate the time allocation between labour and leisure when temperature is high. They find that daily maximum temperatures above 85°F (29°C) induce workers to reduce labour time as much as an hour, but this effect is limited by persistent labour demand. Our work complements these papers by looking at the effect of natural disasters (instead of weather data) on hours worked, employment and wages over time for horizons as short as 1 week after a disaster. For instance, we find that weekly hours worked can decrease by 45 minutes on impact.

Another strand of the literature focuses more on the economic effect of natural disasters, for instance droughts (Gallic and Vermandel [44]) or storms (Groen et al. [49]). Several studies focus on the most extreme disasters, for instance Hurricane Katrina in 2005 on business establishments (Jarmin and Miranda [64]), systemic banking risks (Raykov and Silva-Buston [96]), household finances (Gallagher and Hartley [43]), employment and income of affected individuals (Deryugina et al. [33]). Billings et al. [12] focus on Hurricane Harvey to understand the implications of flood losses for households with differing access to insurance and credit. Ho et al. [52] look at mortgage arrears after the impact of the 2016 wildfire that destroyed most of the Fort McMurray city. In our paper, we also estimate the labour market impact for the largest disasters in our dataset, although this is not the main focus of our paper as we cover a total of 558 individual disasters.

We contribute to the literature on natural disasters by focusing specifically on the labour market impact of a wide range of natural disasters (wildfires, floods and summer and winter storms). So far, few mostly contemporaneous papers explore the impact on regional labour market dynamics. Tran and Wilson [102] and Zeenat Fouzia et al. [108] study the effect of US natural disasters on county-level labour market data at the annual frequency. Tran and Wilson [102] find that total and per capita income increase over the long run, driven by a boost first in employment followed by wages. Zeenat Fouzia et al. [108] further analyze the heterogeneous impact of disasters on local employment and wages depending on the demand and supply channels. Coulombe and Rao [28] use a local projection framework combined with data derived from satellite imagery to study the effect of wildfires on monthly employment across US counties. They find fire exposure causes lower employment in the short to medium run, with medium-run effects driven by migration. They also find that the labour market effects of wildfires are amplified during periods of high labour market slack. Meier et al. [84] use satellite imagery for Southern Europe since 2011 to explore the impact of wildfires on annual GDP and employment growth. They find a sectoral shift in employment, with tourism-related jobs declining and jobs in construction and real estate-related services increasing. In the case of Puerto Rico, Barattieri et al. [8] find an average employment drop of 0.5% for up to 12 months following a hurricane.

We differ from those natural disaster and employment papers in at least three broad ways. First, our paper has the best combined coverage of disaster types, time horizon (starting in 1980) and granularity

by relying on data up to the weekly frequency of labour, with possible splits by sectors. Second, we also distinguish the intensive and extensive margins of employment by adding the impact of natural disasters on hours worked, which can vary significantly (as suggested by Graff Zivin and Neidell [48] in the case of extreme heat), especially within a week of a disaster occurrence. Third, we further explore the state-dependence of the labour market response during periods of slack across a broad range of disaster types, suggesting that disasters are a catalyst for already weak local economies. Fourth, the long time series allows us to explore changes in the employment impact over time to discuss the possible role of adaptation (in the spirit of Kim et al. [70]) despite the increasing frequency of disasters.

Our work is also the first one to focus on the employment impact of a broad range of natural disasters affecting Canada. It complements Ho et al. [52], who focus on the impact of the largest Canadian wildfire on households' mortgage arrears. Similar data and methods are also used in companion work to assess the impact of natural disasters on sectoral Canadian inflation (Duprey and Fernandes [34]) as well as Canadian GDP as a function of provincial fiscal space (Dahlhaus et al. [30]).

1.3 Data

1.3.1 Natural disaster series

To study the effect of natural disasters on labour markets, we leverage 558 unique disaster events that occurred between 1980 and 2019 recorded in the Canadian Disaster Database (CDD) maintained by Public Safety Canada.⁴ The CDD selectively includes only particularly severe disasters, defined as events that cause devastation in a community "in a way that exceeds or overwhelms that community's ability to cope" (Ministers Responsible For Emergency Management [85]). This level of devastation is reached when a disaster meets at least one of the following criteria:

- the death of 10 or more people,
- the injuring of 100 or more people,
- the community's evacuation or homelessness,
- an appeal for national or international assistance,
- significant damage or interruptions that affect the community's ability to recover, or
- historical significance.

This dataset also provides information on the type of disaster, which we use to classify events into four categories:

- wildfires,
- floods (which include storm surges and other flooding events),
- storms (which include severe storms, thunderstorms, hurricanes, and tornadoes), and
- winter storms.

We construct a monthly panel dataset for 10 Canadian provinces spanning 1980 to 2019, using the CDD.⁵ Since the CDD identifies the region affected by the disaster and not the province, we first map each event to its affected province. Where a disaster spans multiple provinces, we assume that each province is affected, and thus we create two explanatory variables.

The first is a binary dummy variable indicating a disaster occurrence in a region each month (Figure 1.1). In some rare cases, multiple disasters may affect the same province in 1 month; however, our binary dummy does not indicate the number of disasters.⁶ From 558 unique disasters events, we generate 659 month–province observations (Table 1.1).

⁴Version downloaded on September 9, 2023.

⁵We exclude the Northwest Territories, Yukon and Nunavut from our analysis as too few disasters that meet the criteria of the CDD are observed in the territories.

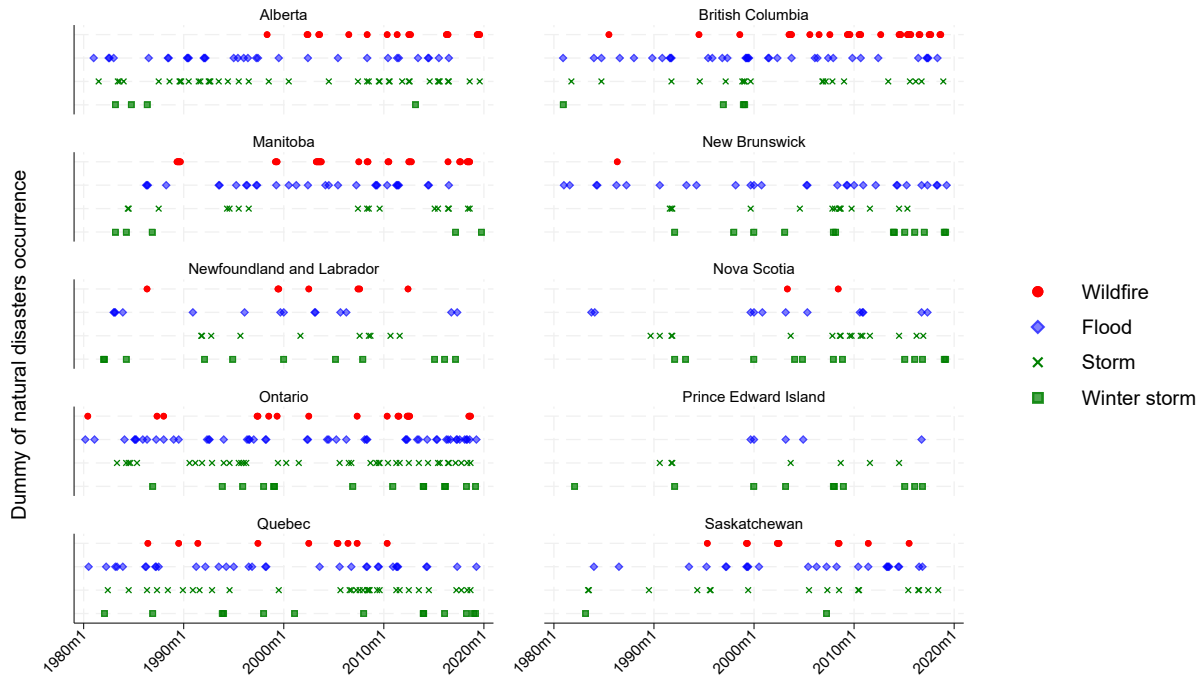
⁶We do not attempt to exploit the number of disasters occurring in a month as a proxy for disaster intensity, as these events are infrequent. In fact, there are only 29 (respectively 6) instances of two (respectively three) disasters of the same type recorded in the same month and province over the 40-year period under study. Only 10 events have two simultaneous disasters of different types within the same month and province, mostly floods and storms occurring alongside each other.

Table 1.1: Distribution of panel observations across months, 1980–2019

	Wildfire			Flood			Storm			Winter Storm		
	Dummy	Cost		Dummy	Cost		Dummy	Cost		Dummy	Cost	
	<i>N</i>	<i>N</i>	Mean	<i>N</i>	<i>N</i>	Mean	<i>N</i>	<i>N</i>	Mean	<i>N</i>	<i>N</i>	Mean
Jan	0	0		9	7	\$9	6	3	\$23	12	5	\$163
Feb	1	0		19	10	\$1	4	1	\$7	23	12	\$416
Mar	1	0		11	6	\$4	4	1	\$111	22	8	\$26
Apr	0	0		36	22	\$15	5	4	\$38	11	6	\$54
May	18	6	\$100	43	26	\$52	9	6	\$47	3	1	\$3
Jun	25	8	\$493	33	25	\$88	21	17	\$72	0	0	
Jul	27	9	\$38	33	26	\$212	34	25	\$60	0	0	
Aug	23	11	\$50	17	13	\$65	44	37	\$85	0	0	
Sep	18	10	\$30	9	7	\$30	33	27	\$58	0	0	
Oct	6	5	\$21	14	11	\$6	22	11	\$46	2	0	
Nov	1	1	\$1	8	4	\$33	16	7	\$45	4	0	
Dec	0	0		10	7	\$13	8	5	\$39	14	0	
Total	120	50	\$117	242	164	\$66	206	144	\$63	91	32	\$198

Notes: *N* denotes the total number of shock observations in our panel. If a disaster is spread over multiple months or across provinces, it will count as multiple observations. For events with available data on cost, we report the average cost in millions of Canadian dollars (2012 constant price). Cost refers to total cost from insurance and government assistance programs. Total cost in the last row is the weighted average across months. Storms include thunderstorms, hurricanes, and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category. Floods include storm surges and other flooding events.

Figure 1.1: Time series of natural disaster dummy variable by province, 1980–2019

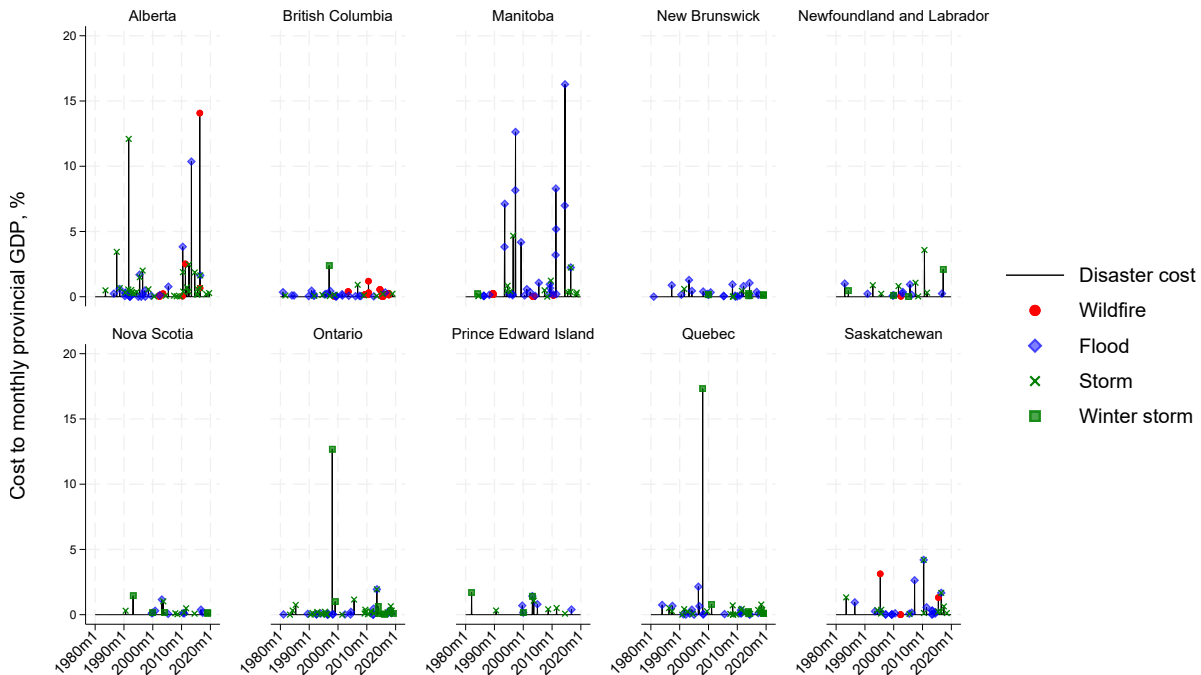


Notes: Month and province with at least one natural disaster per category. The same disaster may be counted as occurring in multiple months and provinces if it lasts longer than a month and affects multiple provinces. Storms include thunderstorms, hurricanes and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category. Floods include storm surges and other flooding events.

The second variable we construct is a continuous cost variable (Figure 1.2). This provides a proxy of the disaster intensity to evaluate the effect of disaster size on labour markets. Disaster costs comprise of the insurance payouts, costs associated with damages incurred by municipalities and provinces, as well as financial assistance provided through provincial and federal Disaster Financial Assistance Arrangements (DFAA) and non-governmental organizations.⁷ We normalize the disaster costs by monthly provincial GDP.⁸ When a disaster affects multiple provinces, we allocate costs based on the population size of each affected province.⁹ Similarly, if a disaster spans multiple months, we split the cost proportionally to the number of days the disaster was ongoing within each month. Since only 331 of the 558 disasters in the CDD recorded a cost, our second cost variable yields 390 dummy shocks (Table 1.1).

Our provincial dummy and cost variables in Figures 1.1 and 1.2 illustrate the heterogeneous exposure of Canadian provinces to various disaster types. This heterogeneity arises from Canada's vast geography, which encompasses diverse climate zones. For instance, provinces such as British Columbia, Alberta, Manitoba, Saskatchewan, Ontario, Quebec and Newfoundland and Labrador are located in the boreal forest (Figure 1.3). The occurrence of wildfires is common in the boreal forest, which happens more frequently in these provinces. While flood affects all provinces to some extent, some, like Manitoba, face significant exposure to large and costly floods due to the relatively flat landscape of the Prairies (Figure 1.2).

Figure 1.2: Time series of natural disaster cost variable by province, 1980–2019



Notes: Time series of natural disaster cost as a percentage of monthly provincial GDP per province. The cost of a disaster impacting different provinces and over multiple months is allocated based on the population in each affected province and on the number of days within each month. Symbols indicate the type of disaster in each month/province with cost reported. Storms include thunderstorms, hurricanes and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category. Floods include storm surges and other flooding events.

Several stylized facts emerge from our data. First, perhaps unsurprisingly, we note the seasonal

⁷In the event of a large-scale natural disaster, the Government of Canada provides financial assistance to provincial and territorial governments through the Disaster Financial Assistance Arrangements (DFAA). When response and recovery costs exceed what individual provinces or territories could reasonably be expected to bear on their own, the DFAA provides the Government of Canada with a fair and equitable means of assisting provincial and territorial governments. See the DFAA webpage.

⁸We construct monthly provincial GDP by interpolating quarterly provincial GDP that is sourced from the Conference Board of Canada. For the interpolation, we use monthly aggregate industrial production for the period prior to 1997 and national monthly GDP thereafter. The industrial production index is from FRED (CANPROINDMISMEI series). National monthly GDP is taken from Statistics Canada Table 36-10-0434-02.

⁹Provincial population data are from Statistics Canada Table 17-10-0009-01.

patterns associated with each type of disaster. Wildfires, floods, and storms predominately occur during the spring and summer months, while winter storms are isolated to the winter months. Second, floods and storms emerge as the most frequent types of disasters in our dataset.¹⁰ Nonetheless, when examining the average cost, wildfires and winter storms are the costliest events (in absolute terms). For instance, the top two disasters during this period were the 2016 Fort McMurray wildfires, costing approximately \$4.4 billion in damages, and the 1998 ice storm in eastern Canada, with an approximate cost of \$2.6 billion (Insurance Bureau of Canada [60], in 2021 dollar terms). Third, when plotting the average frequency and cost of damages across the different disaster types between 1980 and 2019, we observe that the frequency and severity of disasters have been increasing over the 40-year period under study, as shown in Figure 1.4. This is likely attributable to climate change, which raises temperatures thereby increasing the frequency and severity of extreme weather events (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [61, 62]).

Figure 1.3: Location of the boreal forest across Canadian provinces



Source: Boreal forest map produced by the Canadian Forest Service. Image and shapefiles available on Natural Resource Canada's (NRCan) website:

<https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/boreal-forest/13071>.

Additional summary statistics of our provincial disaster data by type are provided in Table 1.2. When expressed in terms of provincial GDP, winter storms and floods tend to be costlier on average. Moreover, floods tend to trigger the most government assistance as a percent of GDP. In terms of evacuations, wildfires displace the most people. Finally, winter storms cause the most disruption to critical infrastructure, such as utilities.

1.3.2 Labour market data

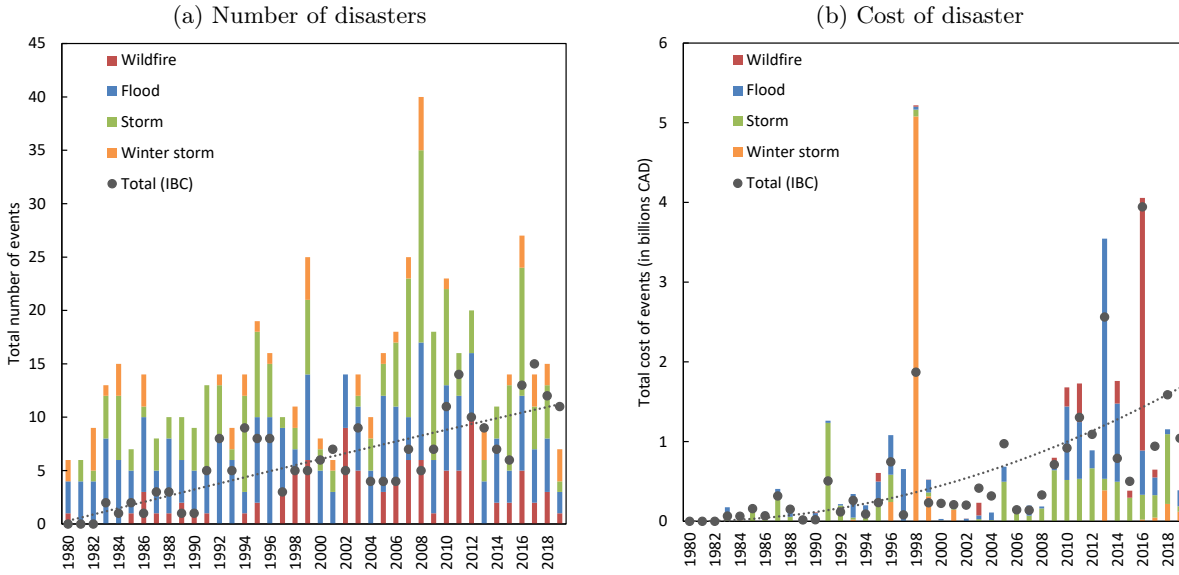
To evaluate how provincial employment reacts to natural disasters, we rely on two surveys conducted by Statistics Canada: the Labour Force Survey (LFS) and the Survey of Employment, Payrolls and Hours (SEPH).¹¹

LFS offers monthly provincial employment rates and average weekly hours worked, starting in 1980 and

¹⁰Public Safety Canada identifies floods as the most common natural disaster in Canada. See Backgrounder: Floods (2023).

¹¹When needed, data are seasonally adjusted using the X12 seasonal adjustment procedure.

Figure 1.4: Annual number and cost of disaster events in Canada since 1980



Notes: Cost includes insurance costs and federal assistance programs (e.g., DFAA). Storms include thunderstorms, hurricanes, and tornadoes; floods includes storm surges. IBC data do not include federal government emergency funding.

Source: Canadian Disaster Database (CDD) as defined by the Ministers Responsible For Emergency Management [85] and Insurance Bureau of Canada [60].

1986, respectively.^{12,13} This survey is administered to a representative sample of working-age Canadians who are not institutionalized. Survey respondents provide detailed information on their employment status and hours worked for the week containing the 15th in a month, i.e., the reference week. The timing of the survey brings a challenge and an opportunity. On one hand, if a disaster occurs after the reference week in a given month, the labour market variable in that month's observation will not reflect any changes caused by the disaster by construction. To address this timing challenge, we rearrange our disaster data such that a month is defined as starting after the reference week in a month and ending after that in the next month. On the other hand, the timing of the survey during a specific reference week allows for a more detailed assessment of the weekly impact of natural disasters because we have information on the start day of the disaster.

From this survey, we also construct a continuous measure of monthly provincial employment gap, defined as the percentage difference between the actual monthly provincial employment rate and the Hodrick-Prescott filtered trend of provincial employment (using a smoothing parameter of 14,400 for monthly data). Figure 1.5 shows the employment gap series for each province. We use this as an indicator of labour market slack when investigating state-dependent labour market responses to natural disasters.

The other source of our labour data is the SEPH, which provides data on monthly provincial wage growth since 2001.¹⁴ This survey collects administrative employment data on a monthly basis across a set of establishments. We transform the nominal data into real wages using monthly provincial CPI.¹⁵

Note that we can also leverage both surveys' breakdown between the production and service sectors

¹²The employment rate is sourced from Table 14-10-0022-01, and hours worked are from Table 14-10-0036-01 of Statistics Canada's LFS.

¹³Hours worked in the survey data has outliers, possibly due to holidays occasionally falling in the reference week or other factors (Cociuba et al. [26]). We hence trim the hours worked series as follows. When hours worked for a given week deviate by more than two hours above or below the average of the previous and subsequent observation, we replace it with the value of the previous observation. This is equivalent to trimming about 5% of the observations. However, we do not trim if a spike that occurs in the same province/month as a natural disaster, to account for the possibility that unusual changes in hours worked might indeed be driven by natural disasters.

¹⁴The monthly average of weekly nominal earnings (including overtime) is sourced from Table 14-10-0223-01 of Statistics Canada's SEPH. More details on the survey design can be found on Statistics Canada's website dedicated to the SEPH: <https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvey&SDDS=2612>.

¹⁵Monthly provincial CPI is sourced from Statistics Canada Table 18-10-0004-01.

to investigate the sectoral impacts of natural disasters.¹⁶ Results using sectoral labour market data are presented in Appendix A.1.

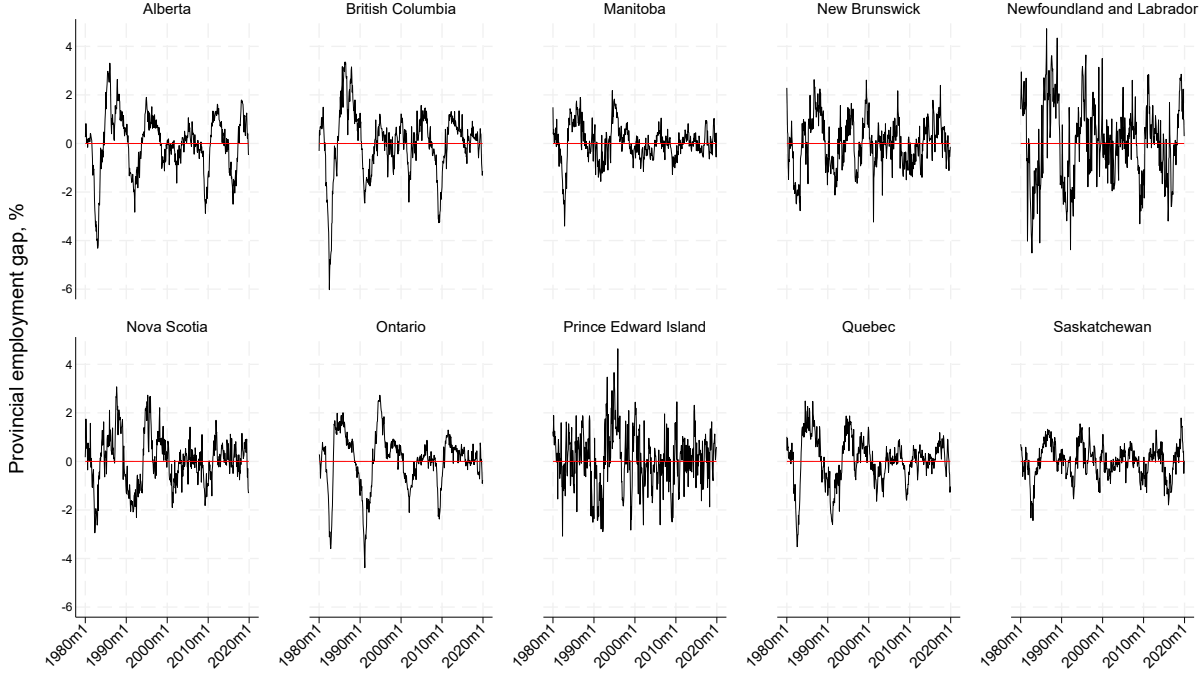
Table 1.2: Summary statistics of variables used to proxy for natural disaster intensity

	<i>N</i>	Mean	SD	P50	P75	P95	Max
<i>Cost per monthly provincial GDP, percent</i>							
Wildfire	50	0.58	1.98	0.16	0.27	2.52	13.67
Flood	164	0.86	2.82	0.14	0.46	3.83	23.25
Storm	144	0.51	1.17	0.25	0.52	1.33	12.10
Winter storm	34	1.68	3.31	0.29	1.45	11.82	12.86
<i>Disaster Financial Assistance Arrangements payments per monthly provincial GDP, percent</i>							
Wildfire	35	0.20	0.33	0.16	0.23	1.32	1.57
Flood	123	0.54	1.37	0.14	0.37	2.15	9.05
Storm	44	0.24	0.57	0.05	0.13	1.02	3.57
Winter storm	15	0.61	0.72	0.18	1.49	1.96	1.96
<i>Number of evacuated persons</i>							
Wildfire	78	5,026	13,229	1,075	3,200	25,000	90,000
Flood	126	2,073	9,251	494	1,333	4,000	100,000
Storm	33	1,192	5,186	180	600	1,700	30,000
Winter storm	24	1,126	2,664	50	369	6,764	10,342
<i>Number of persons affected by utilities disruptions</i>							
Wildfire	4	1,799	1,116	1,948	2,500	3,000	3,000
Flood	15	383,842	1,048,268	115,994	154,197	4,150,761	4,150,761
Storm	57	308,132	665,308	75,000	261,919	1,560,000	3,684,211
Winter storm	35	1,110,464	3,333,538	47,237	286,000	7,615,063	18,300,000

Notes: *N* report the total number of disaster shock observations across months and provinces in each category for which data are available. “SD” is the standard deviation. “P50”, “P75” and “P95” refer to percentiles.

¹⁶Sectoral breakdown in Table 14-10-0022-01 and Table 14-10-0036-01 of the LFS, and Table 14-10-0223-01 of the SEPH. The most granular sectoral breakdown has missing entries or high volatility and is thus used only to confirm the narrative of our findings for each disaster type.

Figure 1.5: Provincial employment gap



Notes: Provincial employment gap is defined as the percentage difference between the actual monthly provincial employment rate and the Hodrick-Prescott filtered trend with smoothing parameter 14,400 for monthly data.

Finally, to assess the channels driving the response in our main labour market measures, we also include data on firm exits and cross-province migration. These data are also sourced from Statistics Canada.

We use quarterly firm exit data starting in 2000 from the Longitudinal Employment Analysis Program (LEAP).¹⁷ We calculate the permanent (temporary) exit rate by dividing the number of firms permanently (temporarily) exiting in a given quarter over the total stock of firms in the previous quarter. This allows to better assess the effect on labour demand from the disasters.

We also leverage quarterly data on cross-province migration from 1980 onward from Statistics Canada Quarterly Demographic Estimates.¹⁸ These data allow us to shed light on the effect of disasters on labour supply by computing the percent of population migrating out of province for a given quarter since 1980.

1.4 Methodology

We assess the impact of natural disasters using the local projection framework of Jordá [67]. This framework has been extended to apply to a panel setting (see Tran and Wilson [102] and Miyamoto et al. [86], for instance). We first present our baseline specification before highlighting various extensions to explore alternative sources of heterogeneity.

In all our models, the dependent variable is either the change of the monthly provincial employment rate, average weekly hours worked, or real wage growth between a month h of interest and the month prior to the start of a disaster ($\Delta Y_{i,t+h:t-1} \equiv Y_{i,t+h} - Y_{i,t-1}$).

¹⁷Business entry and exit data is sourced from Table 33-10-0165-01 Longitudinal Employment Analysis Program (LEAP).

¹⁸We source quarterly cross-province migration from Table 17-10-0045-01 Of the Quarterly Demographic Estimates.

1.4.1 Baseline models

Monthly effects of natural disasters

In our baseline setup, the main variable of interest is a binary dummy $\mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}$ that denotes an occurrence of a disaster of any type in a given month and province (Figure 1.1):

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} = & c + \alpha_h \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t} + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Equation (1.1) is estimated using a monthly panel of 10 Canadian provinces (indexed by i) for each horizon $h=0, \dots, 30$. Hence, the coefficient α_h quantifies the average dynamic impact of a disaster on one of our three labour market variables over time. If multiple disasters occur back to back in a short period of time, they may bias the effect. Therefore, we control for the possibility that other disasters may have occurred several months prior to the disaster of interest ($p=-12, \dots, -1$) or in between a month after the impact and the investigated horizon (i.e., $p=1, \dots, h$).¹⁹ We also include three lags of the dependent variable and provincial GDP growth to capture past provincial economic conditions. We include province (η_i), month (η_m) and province/month fixed effects ($\eta_{i,m}$) to remove province-specific effects and any remaining seasonality in the labour market. We also add a year fixed effect (η_y) to control for any common changes in employment volatility over time or possible effects of slow-moving temperature changes.²⁰ The provincial monthly error term for horizon h is denoted as $\epsilon_{i,t+h}$. We use heteroskedastic robust standard errors.²¹

Our identification strategy hinges on the assumption that the occurrence of a significant natural disaster in a given month is mostly unpredictable conditional on available information such as provincial economic states and seasonal patterns. As seen from Table 1.1, one expects winter storms in the winter and wildfires, storms and floods in the spring and summer, such that the provincial economy is likely prepared to some degree to face a potential disaster. Such seasonal preparations would be captured by months fixed effects. Our results capture the effect of the occurrence of a more severe than usual disaster in a given month and province, which can be considered as exogenous. Indeed, our dataset covers only natural disasters that are significant enough to meet the CDD criterion.

Weekly effects of natural disasters

We can gain additional insights about the response of employment rates and hours worked within the first month (i.e., $h = 0$) by exploiting the design of the LFS. Although the LFS is a monthly survey, it is conducted during the reference week that includes the 15th of a month. As illustrated in Figure 1.6, we can sort disaster occurrences by their proximity to the reference week. Using this information, we investigate the weekly effects of a disaster.

We estimate one equation per week $w = 0, \dots, 4$:

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t:t-1} = & c + \alpha_w \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^w + \sum_{p=-12}^{-1} \alpha_w^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_w^\tau \Delta Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_w^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

where $\mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^w$ is a dummy variable that takes 1 if a disaster occurs w weeks prior to the reference week of month t for province i . Thus $\alpha_{w=0}$ captures the effect of a disaster happening within the

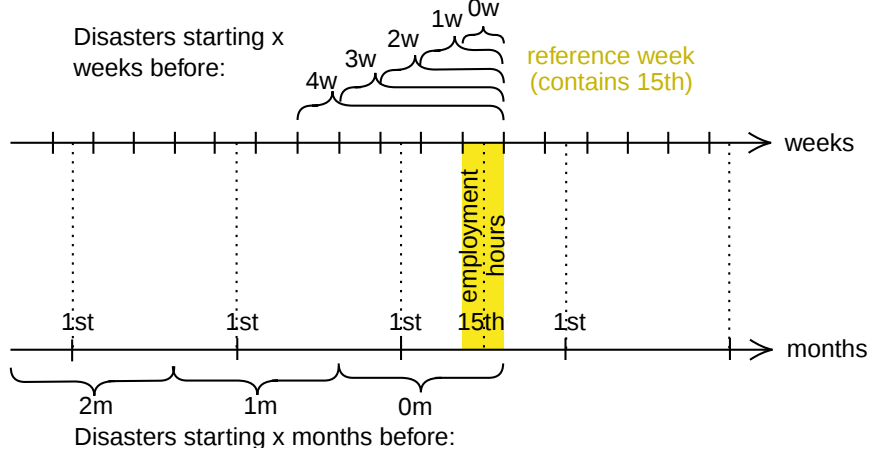
¹⁹Disasters that happened more than 12 months prior to the disasters of interest are not controlled, since our main results do not show much effect lingering beyond 12 months on labour markets. Excluding those controls has little impact on our results.

²⁰We can also control for provincial temperatures by using data from Vincent et al. [104] on daily maximal temperatures averaged over the month and over the weather stations in each province. Controlling for the deviation from the pre-1990 provincial monthly average temperatures did not change any results.

²¹The lagged dependent variables used as a control already correct for possible autocorrelation in the residuals. Thus heteroskedastic and autocorrelation robust standard errors (Newey-West HAC) lead to similar results.

reference week, $\alpha_{w=1}$ that of a disaster happening one week prior to the reference week, etc. Hence, $\{\alpha_w\}_{w=0}^4$ represents weekly impulse responses after a disaster.

Figure 1.6: Weekly versus monthly impulse response functions



Note: This diagram demonstrates how the Labour Force Survey (LFS) design is exploited to estimate weekly responses of employment rate and hours worked to a disaster. We identify how many weeks before the reference week (i.e., the week including the 15th of a month) a disaster happened, noted as “0w” – “4w” above.

1.4.2 Heterogeneity by economic states

We explore possible state-dependent effects of disasters on the labour market using a smooth-transition panel local projection model (Auerbach and Gorodnichenko [7], Choi et al. [23]). Suppose $z_{i,t}$ denotes a variable determining the state of the provincial economy. We construct a logistic function F as follows:

$$F(z_{i,t}) \equiv \frac{\exp(-\gamma[\frac{z_{i,t}-c_z}{\sigma_z}])}{1 + \exp(-\gamma[\frac{z_{i,t}-c_z}{\sigma_z}])}, \quad (1.3)$$

where c_z and σ_z denote the sample average and standard deviation of $z_{i,t}$. The transition parameter γ determines the speed of transition between states. This function can be understood as representing the probability of being in a high or low $z_{i,t}$ state, with the smooth-transition local projection model represented as follows:

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} &= F(z_{i,t-1}) \{c^P + \alpha_h^P \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}\} + (1 - F(z_{i,t-1})) \{c^N + \alpha_h^N \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}\} \\ &+ \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} \\ &+ \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

We use the provincial employment gap as a proxy for labour market slack to capture transitions between different states of the economy. We set $c_z = 0$ as the mean employment gap, which is theoretically zero. Note that this model can be understood as a generalization of a model that interacts a dummy variable for positive or negative output gap with the natural disaster dummy. If $\gamma \rightarrow \infty$, then $F \rightarrow 0$ when $z_{i,t} > c_z$ or $F \rightarrow 1$ when $z_{i,t} < c_z$: with $c_z = 0$, this is equivalent to having a dummy variable that is 0 when the labour market slack is positive and 1 when it is negative. The benefit of using the smooth transition is to ensure that our state-dependence results are not driven by observations that have a marginally positive or negative labour market slack. Those very similar states would otherwise be arbitrarily classified into a binary state when using a dummy variable. Still, our results are quantitatively similar when using a

dummy variable for positive or negative labour market slack instead of the smooth transition. As we use monthly data, we set $\gamma = 3$, but alternative $\gamma \gg 0$ parameters also yield similar results. If $\gamma \rightarrow 0$, then $F \rightarrow 1/2$ irrespective of the value of $z_{i,t}$ and the model is uninformative about the state dependence and collapses to Equation (1.1).

1.4.3 Heterogeneity by disaster intensity

We extend Equation (1.1), which uses a binary disaster dummy, to also capture disaster intensity. As in Figure 1.2, disaster severity is proxied by total incurred cost normalized by the level of monthly provincial GDP, $cost_{i,t}^d$.²²

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} = & c + \alpha_h \mathbb{1}(disaster)_{i,t} + \beta_h cost_{i,t} + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(disaster)_{i,t+p} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h} \end{aligned} \quad (1.5)$$

The combination of fitted parameters $\{\hat{\alpha}_h, \hat{\beta}_h\}$ across horizons in Equation (1.5) allows for the computation of marginal impacts of disasters with total costs of various magnitudes. For instance, the effect of a disaster with a median cost $p50$ or a cost in the ninety-fifth percentile $p95$ at a given horizon h can be written as $\hat{\alpha}_h + \hat{\beta}_h \cdot p50$ and $\hat{\alpha}_h + \hat{\beta}_h \cdot p95$, respectively.

Alternatively, we employ another measure of disaster intensity based on the use of Disaster Financial Assistance Arrangements (DFAA) after a disaster. The DFAA is a federal program established in 1970 to provide financial assistance to provincial and territorial governments. It is triggered in the event of large-scale natural disasters when response and recovery costs exceed what individual provinces or territories could reasonably be expected to bear on their own. Therefore, we divide natural disasters into those with or without DFAA subsidies ($\mathbb{1}(disaster)_{i,t}^P$ and $\mathbb{1}(disaster)_{i,t}^{NP}$) and estimate the following model:

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} = & \alpha_h^P \mathbb{1}(disaster)_{i,t}^P + \alpha_h^{NP} \mathbb{1}(disaster)_{i,t}^{NP} + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(disaster)_{i,t+p} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

As a robustness check in Appendix A.3 and A.4, we use another alternative measures of disaster intensity such as the number of evacuated persons and the number of persons affected by utility disruptions, and investigate if disasters have non-linear effects by their intensity for different types of disasters.

1.4.4 Heterogeneity over time

Adaptation to past natural disasters as well as worsening anthropogenic climate change can raise challenges to empirical studies of natural disaster shocks. Both can lead to structural changes, which may affect the response of economic variables to shocks over time.²³ On the one hand, adaptation may reduce the effect of disaster shocks. For instance, lakeside residents may choose to adopt sump pumps to mitigate flooding, firms may relocate factories out of floodplains, and governments may build dams and reservoirs to prevent damage. Such actions would reduce the economic impact of a flood. On the other hand, climate change can potentially increase the severity of natural disasters. Essentially, rising temperatures affect extreme weather patterns over time (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [62]), which could further complicate a possibly non-linear effect of disasters. While the effects of adaption

²²Not all reported disasters have an estimated cost. Our specification implicitly assumes that the cost of those disasters without a reported cost is small and thus was not systematically recorded. Similar results are obtained if we control for this missing information by splitting the disaster dummy variables with or without recorded costs.

²³Similarly, economists have highlighted time variations in the monetary policy transmission mechanism that resulted in observed changes in the Phillips Curve (Korobilis [74] and references therein), or more generally found strong empirical support for parameter instability after a large shock (Aastveit et al. [1] and Strachan and Van Dijk [99]).

and climate change move in opposite directions and may have offsetting impacts, it is not clear, a priori, which effect would dominate.

While disentangling the source of time variations in response to disasters is not feasible, we consider the net effect of these structural influences on labour markets over time. To do so, we leverage our smooth local projection equation with some modification to assess the effect of temporal heterogeneity. Similar to [70], we replace the logistic function used to smooth with a linear one over time (i.e. t/T), which allows us to assign different weights as a function of time. That is:

$$\begin{aligned}\Delta Y_{i,t+h:t-1} &= \frac{t}{T} \{c^P + \alpha_h^P \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}\} + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \{c^N + \alpha_h^N \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}\} \\ &+ \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^p \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p} + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} \\ &+ \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}.\end{aligned}\tag{1.7}$$

1.4.5 Heterogeneity by disaster type

Lastly, we extend our baseline Equation (1.1) to explore the heterogeneity across disaster types of Figure 1.1. We include separate dummy variables for each disaster type such that $\mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^d$ is now also indexed by $d=1, \dots, 4$ for each of the four types of disasters: wildfire, flood, storm and winter storm.

$$\begin{aligned}\Delta Y_{i,t+h:t-1} &= c + \sum_{d=1}^4 \left\{ \alpha_h^d \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^d + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^{d,p} \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p}^d \right\} \\ &+ \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}.\end{aligned}\tag{1.8}$$

1.5 Results

Table 1.3 provides a brief summary of our key results; hours worked, and to a lesser extent the employment rate, may decrease within a few weeks, but real wages persistently decrease over a year. Those impacts are mostly concentrated in the periods of labour market slack, such that disasters may work as a catalyst for already weak provincial labour markets. Reassuringly, we find some evidence of adaptation to natural disasters over time.

Table 1.3: Summary of key results

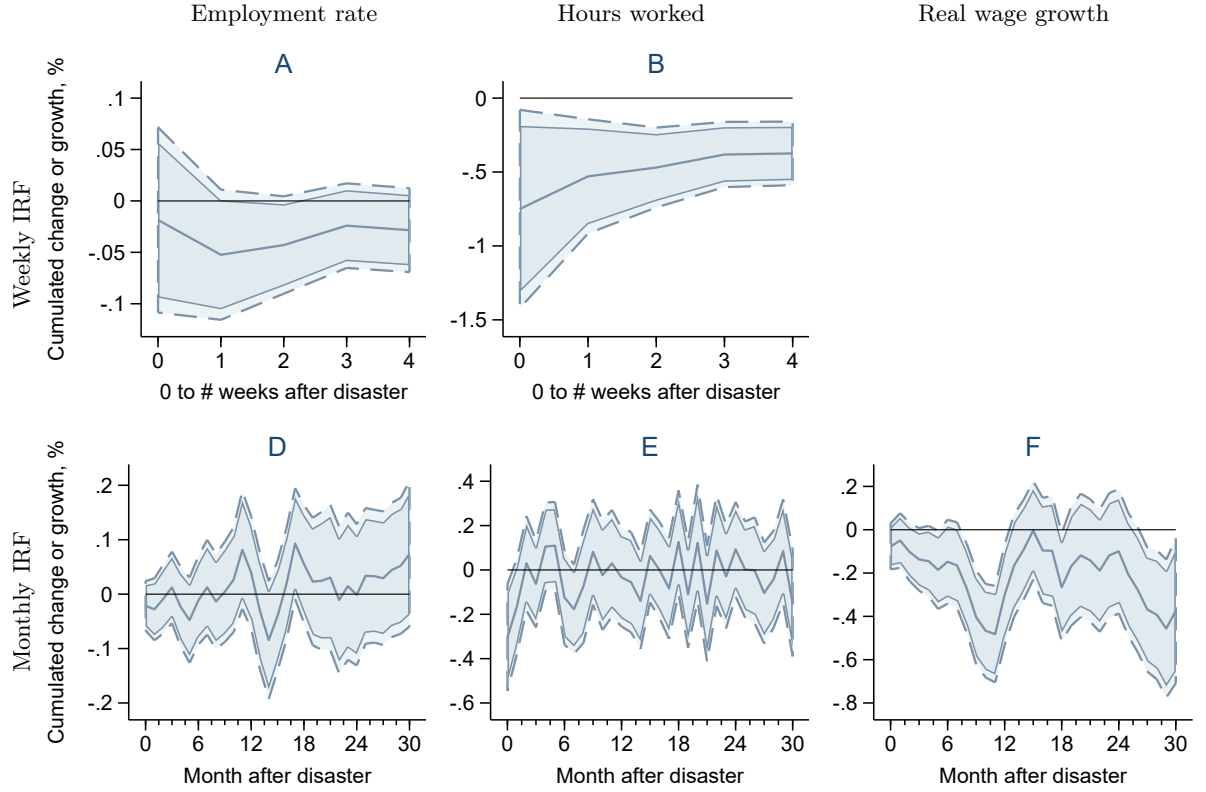
	Employment rate	Hours worked	Real wages	Adaptation?
Overall		↓ 4w	↓ 1y	Yes
Wildfire		↑ 3m	↓ 1y	Yes
Flood	↓ 4w	↓ 4w	↓ 3y	No
Storm	(h)	↓ 3-6m	(h)	Yes
Winter storm	↓ 13m	(h)	↓ 6m, ↑ 1y	Yes

Notes: The cells for the first three columns display the direction of the average effect with an arrow and the relevant horizon for significance in weeks, months or years. A red cell indicates that the effect is mostly concentrated in periods of high labour market slack. A red cell with “(h)” means that the effect is significant only during states of high labour market slack but not when estimating an average effect. The last column indicates if there is some evidence of adaptation over time to make the labour markets more resilient.

1.5.1 Results from the baseline model

Figure 1.7 presents estimated impulse responses of the provincial employment rate, average weekly hours worked and real wage growth after a natural disaster. We plot both weekly and monthly responses obtained from Equations (1.1) and (1.2).

Figure 1.7: Impacts of natural disasters on labour markets



The initial effect of a disaster is felt on hours worked, which on impact drops by over half an hour, remaining noticeably depressed for the first 4 weeks (Figure 1.7-B). This effect is unsurprising and likely due to expected interruptions to work from damages to properties and infrastructure.

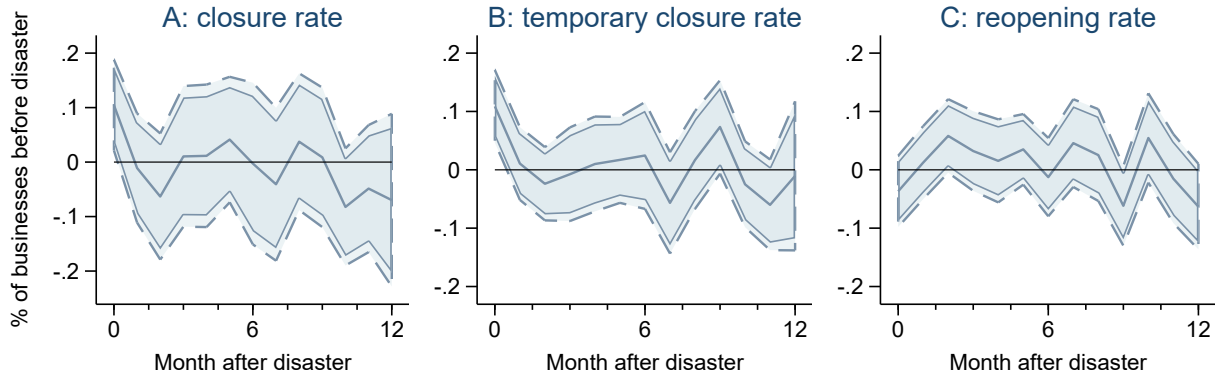
Over the next few months, the effect on hours worked disappears (Figure 1.7-E). Interestingly, we find no statistically significant effect on employment rate (Figure 1.7-D). However, we do note a significant reduction in wage growth starting around the 6 month mark (Figure 1.7-F).²⁴ To better understand the mechanism driving this overall reduction on the equilibrium level of wage growth, we investigate two channels which can explain the post-disaster response, namely: changes to labour demand through firm exit rates, and changes to labour supply through the percent of population migrating out of province.

As such, when looking at labour demand, we find an immediate small and temporary drop due to firm closures (Figure 1.8), consistent with the dropped in hours worked seen in the first 4 weeks after a disaster. This effect is mostly driven by temporary closures (Panel B) possibility due to property, capital, or infrastructure damage sustain from the event. However, temporary closures do not necessarily translate into permanent exits. Therefore, firms closures (i.e. labour demand channel) alone cannot explain the reduction in wage growth.

In fact, in the medium term the channel influencing wage dynamics moves from labour demand to labour supply. We plot the impulse response of cross-province migration to a natural disaster in Figure 1.9 (grey line) and find a positive effect on net outflow, implying an increase in migration out of province,

²⁴The decline in real wage growth is not driven by changes in inflation. Duprey and Fernandes [34] show that natural disasters in Canada impact inflation for some disasters, when the economy is particularly weak, and through specific components like shelter and energy. However, the overall effect of inflation is insignificant, suggesting that inflation may not be the main driver of the real wage decline.

Figure 1.8: Impulse response of firms following a natural disaster



consistent with Leduc and Wilson [80]. This effect appears to be persistent over time since the cumulated effect captured by the IRF in Figure 1.8 is increasing, likely reflecting a subsequent adjustment by labour supply to the reduction in job opportunities, possibly from firm closures directly in the aftermath. Unsurprisingly, this effect on labour supply is amplified under periods of labour market slack, primarily driven by a statistically significant reduction of immigration into the province after the disaster (Figure 1.9 (red line)).²⁵ Intuitively, workers are unlikely to incur the cost of migrating into provinces after a disaster has caused destruction and firm closures, reducing job opportunities, especially if labour market conditions were already unfavourable.

However, if labour demand is initially reduced due to temporary closures, and labour supply falls in the following months, then the overall effect on wages should be neutral. This is in fact what we see when estimating the disaster effect on the production sector (Figure 1.10-A). Intuitively, firms in the production sector might reduce labour demand by temporarily exiting following the disaster due to costs associated with destruction or interruptions in production. This could then be met with a subsequent reduction in labour supply as would-be workers opt to migrate to other provinces where job opportunities have not been reduced by disasters.²⁶

Yet, similarly to the response seen when using the full sample (Figure 1.7-F), we find a substantial reduction in wage growth for the service sector (Figure A.1-B). This elastic response of wages in this sector could be due to other factors:

1. Workers in the service sector are more mobile and therefore responsible for most of the post-disaster cross-province migration. This could lead to compositional changes in the labour force, especially if this effect is concentrated among high-income earners.
2. The reduction in labour demand dominates the reduction in labour supply leading to downward pressure on wages. This could be the case if temporary closures translate to permanent exits in the service sector. This effect is documented in [57] which shows that wage growth is negatively affected for workers who are employed in sectors with many firm exits.
3. Workers are relocating to smaller firms following the disaster which is reducing wage growth. [57] also documents the change in probability distributions of workers who are laid off, across both men and women. They find that workers moving to a smaller firm following a layoff experience a negative shift in the probability distribution of wage growth, while men moving to a larger firm experience a positive shift. Hence, if disasters force workers to shift to smaller firms, then this could help explain lower wage growth.

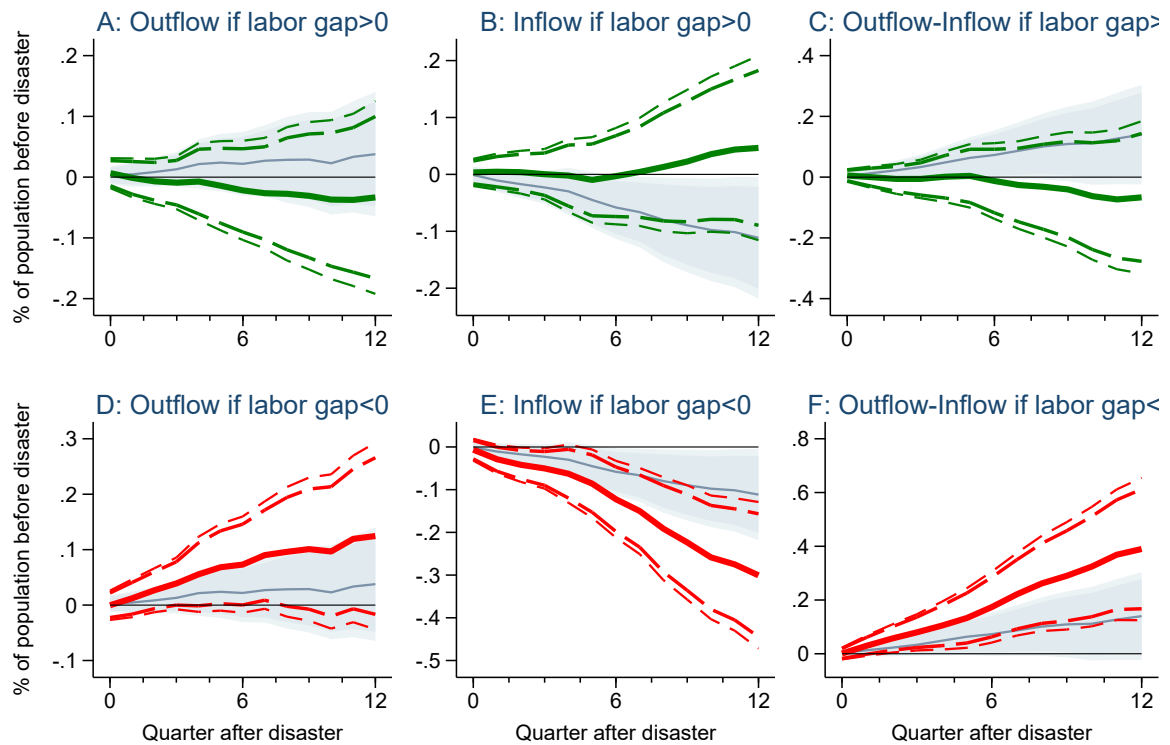
1.5.2 State dependence of labour market response to disasters

Based on the state-dependent model (Equation (1.7)), we find that natural disasters disproportionately affect the labour market during periods of high employment slack, likely catalyzing painful economic

²⁵We explore the effect of periods of tightness and slack in the labour market in Section 1.5.5.

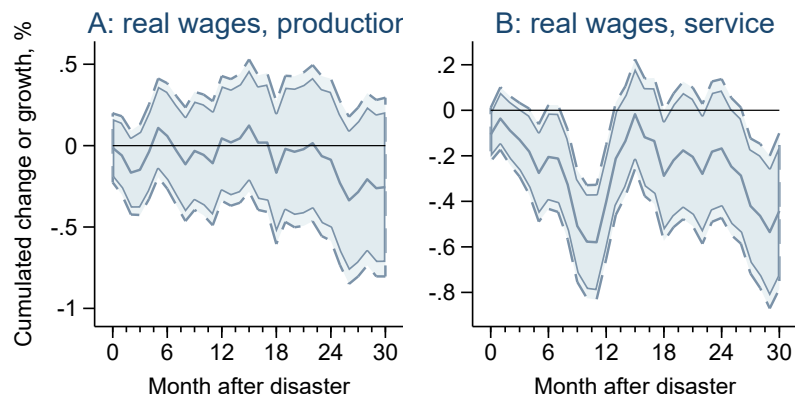
²⁶Note that we are unable to estimate cross-province migration across sectors.

Figure 1.9: Impulse response of cross-province migration following a natural disaster



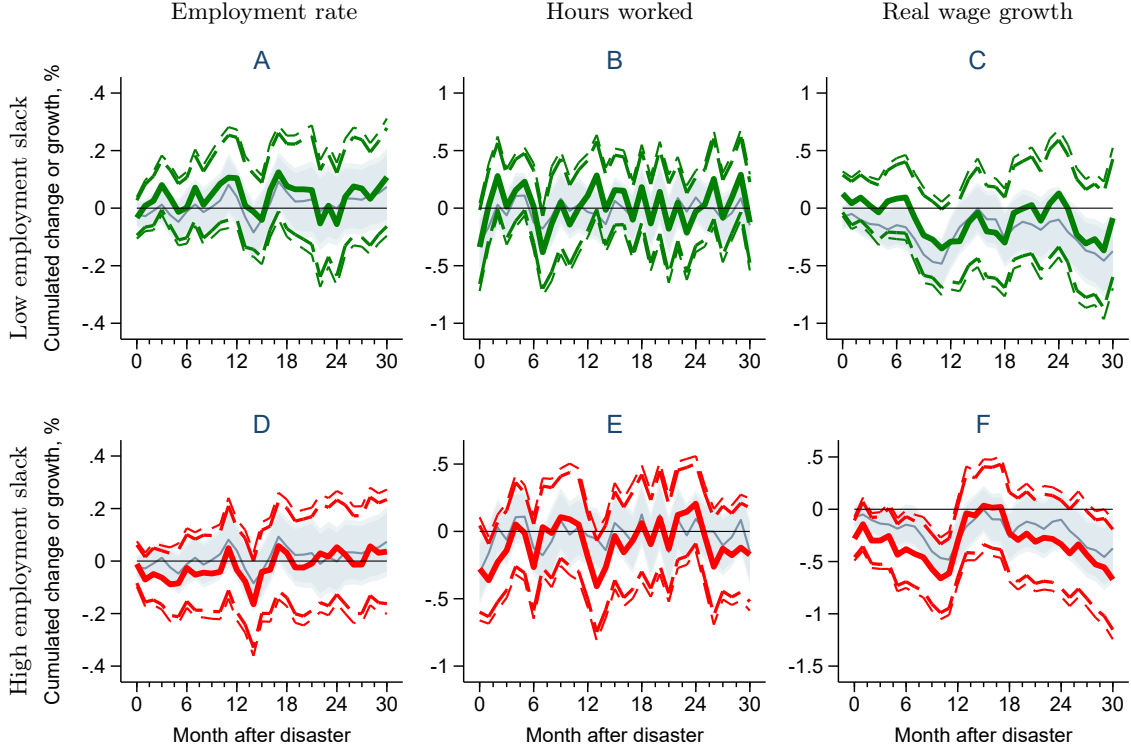
Notes: Grey line represents the average impulse response on cross-province migration as a percent of population prior to the disaster for the entire sample period. Green line is for periods of labour market tightness, while the red line is for periods of periods of labour market slack.

Figure 1.10: Impulse response of firms following a natural disaster



adjustments during downturns. Conversely, tight labour markets demonstrate greater resilience to natural disasters overall.

Figure 1.11: State-dependent adjustment of labour markets: monthly responses



Notes: State-dependent impacts of a natural disaster on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals using Equation (1.7).

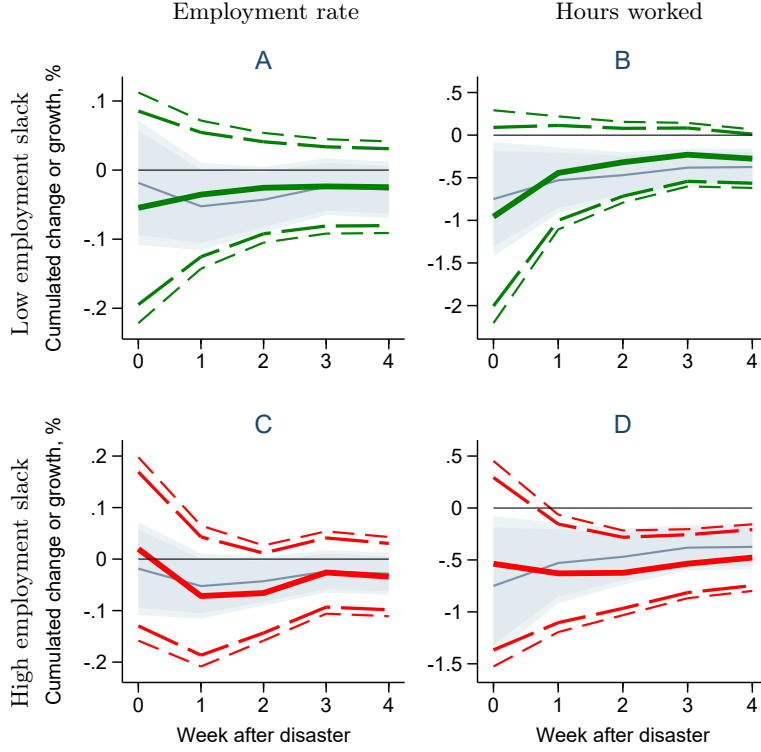
Figure 1.11 shows state-dependent impulse responses, which contrasts to the baseline results from Section 1.5.1 where state dependence was not considered (grey line). Notably, the lower wage growth as well as lower hours worked observed in the baseline is driven by the responses in the high employment slack state (Figure 1.11-F, -E). Similarly, we observe a decline in hours worked one to four weeks after a natural disaster, particularly in the high employment slack state (Figure 1.12). Finally, we find that the insignificant impact on overall employment in the baseline is due to counteracting forces in both states; during periods of low employment slack, full-time employment may increase while part-time employment may decrease; in contrast, during periods of high employment slack, full-time employment may decrease while part-time employment may increase (Figure A.7).

1.5.3 Size-dependence of labour market response to disasters

Figure 1.13 depicts the marginal effects of a disaster shock across different disaster severity, leveraging Equation (1.5). Specifically, Panels D to F plot the marginal effect for a median cost disaster, and Panels G to I for disaster with costs in the 95th percentile.

One important finding that stands out is that larger disasters produce stronger and more persistent effects on wage growth (Figure 1.13-F). For disasters of median costs, real wage growth decreases by 50 basis points in the year following the event, while it decreases by 80 basis points for disasters with the largest costs. Interestingly, the effect on hours worked is no longer significant for the largest disasters (Figure 1.13-H) while we observe a positive and temporary increase of about 20 basis points in the employment rate about a year after the event (Figure 1.13-G). This could reflect some re-hiring to replace workers who were displaced following the disaster. However, despite a small rebound in employment, the

Figure 1.12: State-dependent adjustment of labour markets in the first four weeks



Notes: Weekly state-dependent responses of employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) to a natural disaster, with the 90 and 95% confidence intervals. Responses are obtained from an extended version of Equation (1.2) to incorporate state dependence as in Equation (1.7).

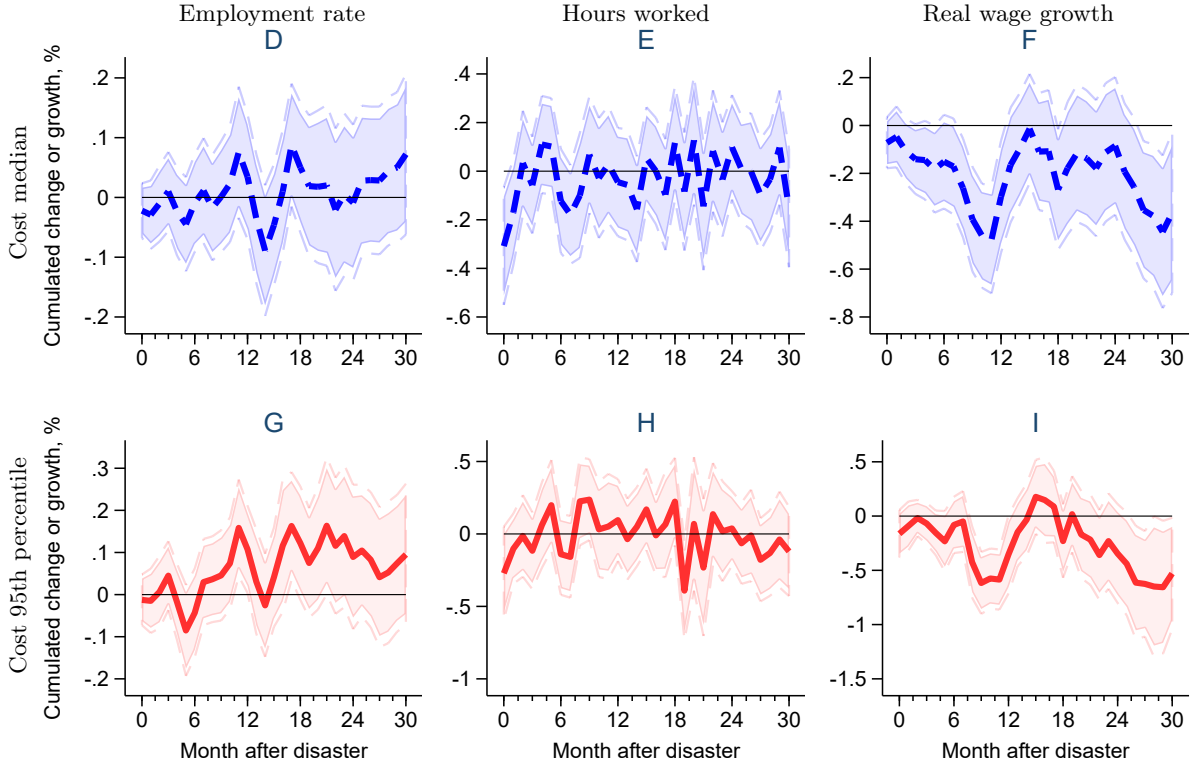
downward pressure on wages persists even three years later, with wage growth being reduced by more than 100 basis points. Reallocation and/or migration may be a likely driver of this decrease; for instance, [28] document the migration out of US counties after wildfires, potentially resulting in changes to the composition of the local labour market.

Next, we examine another measure of disaster intensity by grouping disasters into those with or without federal assistance (i.e., DF AA) and split the binary disaster dummy into two subgroups (Equation (1.6)). Figure 1.14 reports the resulting impulse responses. On one hand, natural disasters that qualify for the DF AA tend to be more extreme and result in a larger reduction in employment by 20 basis points within the first six months (Figure 1.14-D) and a larger reduction in hours worked on impact (Figure 1.14-E). On the other hand, natural disasters that qualify for the DF AA may benefit from additional resources for the recovery and reconstruction and avoid any decrease in real wages in the medium run (Figure 1.14-F). This is in line with Dahlhaus et al. [30], who find that large provincial debt may weaken the economic recovery following a disaster unless federal funding assistance is available. Putting this result together with our findings from Section 1.5.2, the availability of federal DF AA program funds may substantially dampen the effect of natural disasters even during a period of high employment slack.

We further explore the size-dependent impacts of disasters by focusing individually on the three most severe disasters that happened during our sample period: the 2016 Fort McMurray wildfire, the 2013 Alberta floods, and the 1998 ice storm in Appendix A.5. Absent adaptation to natural disasters, this analysis can also provide insights on how future disasters will affect the labour market as climate change intensifies.²⁷

²⁷While our findings demonstrate that disasters may have asymmetric impacts on the labour market depending on their severity, it is also important to verify that our baseline findings are not driven by one extremely large disaster. Therefore, we check the robustness of our findings in Appendix A.6 by re-estimating our baseline model while removing one disaster

Figure 1.13: Size-dependent adjustment of labour markets to a disaster



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Effects of a disaster with a recorded cost at the median (top row) or at the 95th percentile of the distribution (bottom row) based on Equation (1.5).

1.5.4 Time dependence of labour market responses to disasters

Over time, two opposing forces may shape the labour market impact of natural disasters. On one hand, climate change may increase the frequency and severity of natural disasters, exacerbating their impact. On the other hand, provincial economies may adapt by increasing government spending and enhancing resilience. While we cannot definitively separate the effects of these opposing forces over time, we can infer which factor predominates in different periods by weighting different point-in-time of our sample.

Figure 1.15 presents the IRF from the earliest period in our sample (green line)²⁸ and the latest period (red line), overlaid against the average effect over the entire time period (i.e. the baseline estimation represented by the grey line). Again, the most significant effect is seen on wage growth. Here, we note that the negative effect on wages has been worsening, going from statistically insignificant in 2000 to worse than the average effect estimated by 2019. This suggests that adaptation of labour markets hasn't adequately matched the worsening natural disasters.

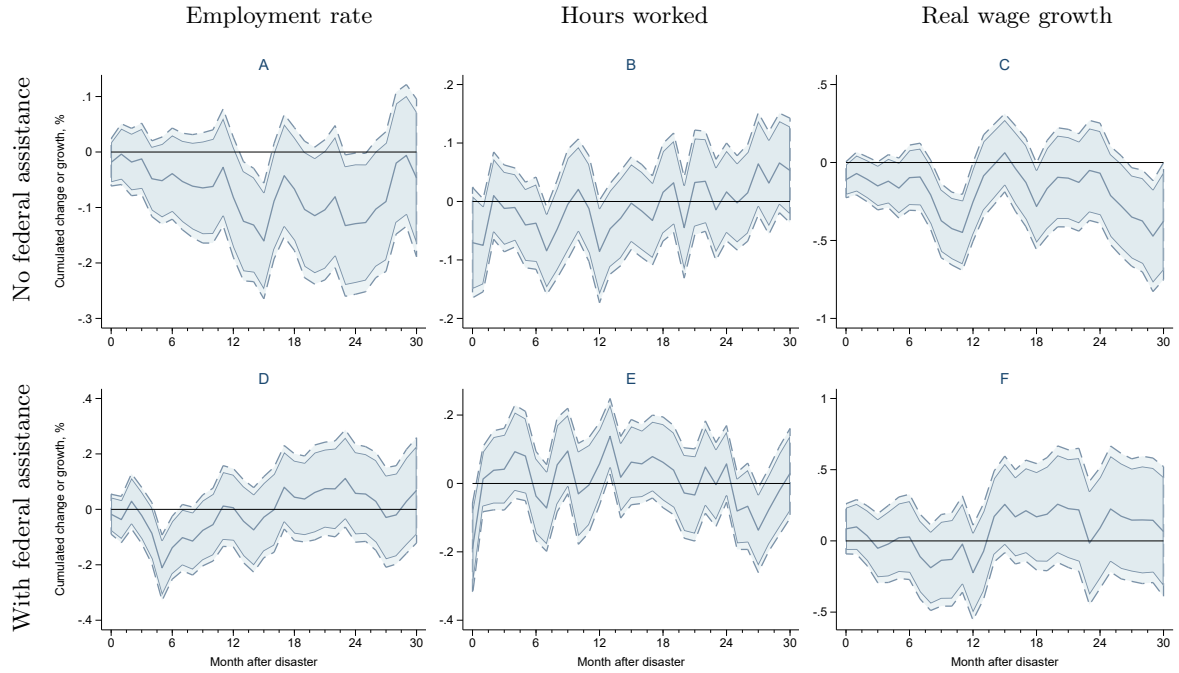
1.5.5 Type dependence of labour market response to disasters

Lastly, we display effects across disaster types in Figures 1.17, 1.18, 1.19 and 1.20. Panels A to C show the results from the model with only the natural disaster dummy variables estimated with Equation (1.1). The remaining panels depict the marginal effects of the disaster across different disaster severity, leveraging Equation (1.5) and disaster cost percentiles from Table 1.2. Appendix A.1 reports impacts disaggregated further by the production and service sectors.

at a time from our dataset.

²⁸For employment rate and hours worked the earliest period is 1980 and for real wage growth this is 2000.

Figure 1.14: Impact of federal government support after a natural disaster



Notes: State-dependent impacts of a natural disaster on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Responses from the model with natural disaster dummy variables split between disasters that led to federal government funding via the DFAA program (bottom row) or not (top row), Equation (1.6).

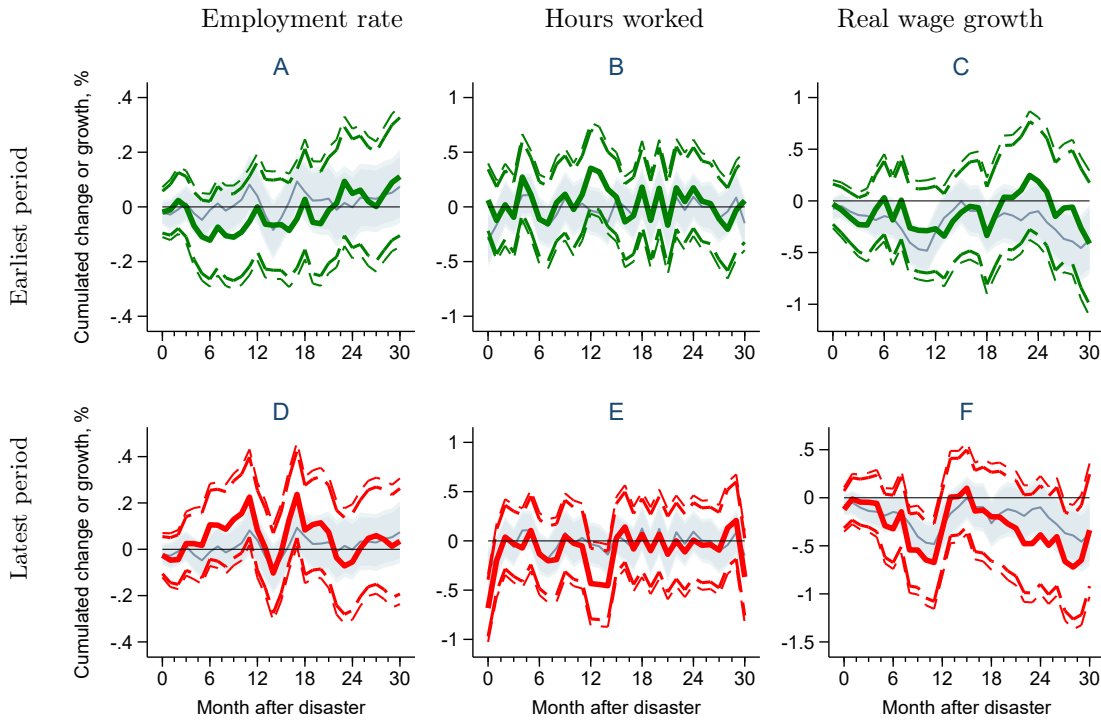
We find important divergences in labour market response across disaster types. For instance, wildfires and floods appear to follow the general patterns from Sections 1.5.1 and 1.5.3. However, storms have more muted effects, suggesting more localized impacts, while large winter storms lead to positive effects on employment.

Effect of wildfires

Wildfires lead to an increase in hours worked within six months and a 50 basis point reduction on wage growth within 12 months (Figure 1.17-B, -C). The increase in hours worked is driven by periods of high employment slack (Figure A.3-E). This is primarily because of an increase in hours worked in the goods sector due to the forestry/mining/oil sector that tends to be the critical industries for provinces most exposed to wildfires. Conversely, the impact on real wage growth is driven more by periods of low employment slack (Figures A.3-C). This is likely a specific sectoral reallocation of jobs in provinces specialized in resource extraction that are most exposed to wildfires (see Figure 1.3 for the overlap between boreal forests and provinces relying on resource extraction). When the local labour market is slack, we observe relatively more jobs in less attractive (but better paying) sectors like forestry/mining/oil and transportation in isolated areas that are physically demanding. When the local labour market is tight, we observe relatively more jobs in the business support sector that may be easier office jobs in cities with relatively lower salary compensations.

The employment effect for the largest wildfires is further amplified, although government support may partly ease the labour market impact. Employment decreases by 25 basis points within six months (Figure 1.17-G). The initial decrease in employment is compensated by a persistent increase in hours worked up to two years after the largest disasters (Figure 1.17-H). This pattern of lower employment rate but higher hours worked is observed only for wildfires that require federal assistance (Figure A.11-D and -E). Interestingly, wildfires that are severe enough to require federal assistance are associated with a short run increase in real wages (Figure A.11-F) while real wages decrease in the absence of federal assistance

Figure 1.15: The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to natural disasters



Note: We contrast the IRF for the earliest cross-section (in grey) and the latest (2019) cross-section (in red) to an effect averaged over the entire time period (in grey). For employment rate and hours worked, the earliest cross-section is in 1980 while for real wage growth it is in 2001.

(Figure A.11-C). This suggests that recovery efforts supported by the federal government effectively attenuate part of the negative labour market impact. This is in line with Dahlhaus et al. [30], who find that large provincial debt may weaken the economic recovery after wildfires unless federal funding assistance is available. Similarly, for the most severe wildfires associated with the 95th percentile of evacuations, although the overall employment rate does not vary (Figure A.12-F), the short-run decrease in full-time employment is compensated by a short-run increase in part-time employment.

These effects are mostly driven by the service sector (Figure A.2-A, -B, -C) with positive pressure on hours worked in the transportation sector partly compensated by a decrease in hours worked in the business support, wholesale and retail category. Although we observe no significant response on the production sector overall (Figure A.1-A, -B, -C), further sectoral decomposition suggests positive pressure on employment in the forestry/mining/oil, utilities and construction sectors, positive pressure on hours worked in the forestry/mining/oil sector, compensated by a sharp decrease in hours worked in the agricultural sector. This sectoral effect is consistent with provinces most exposed to wildfires being located in the boreal forests with industries heavily focused on resource extraction relying on labour input at the intensive margin despite possible migration outflows after wildfires.

Lastly, our analysis shows that the degree of adaptation over time also varies by disaster type, as shown in Appendix A.7. In the case of wildfires, evidence supports adaptation over time; particularly for wage growth (Figure A.22-C and -F). In other words, wildfires occurring in 2019 have generally had less pronounced impacts on the labour market compared to those which occurred twenty years ago.

Effect of floods

In the first few weeks after a flood, the employment rate is immediately reduced by 10 basis points (Figure 1.16-A) while hours worked decrease by up to one hour (Figure 1.16-B). Both of those effects on the intensive and extensive margins of employment dissipate a month after the flood (Figure 1.18-A, -B). After six months, real wage growth is persistently negative with a 60 basis point decrease recovering only after three years (Figure 1.18-C).

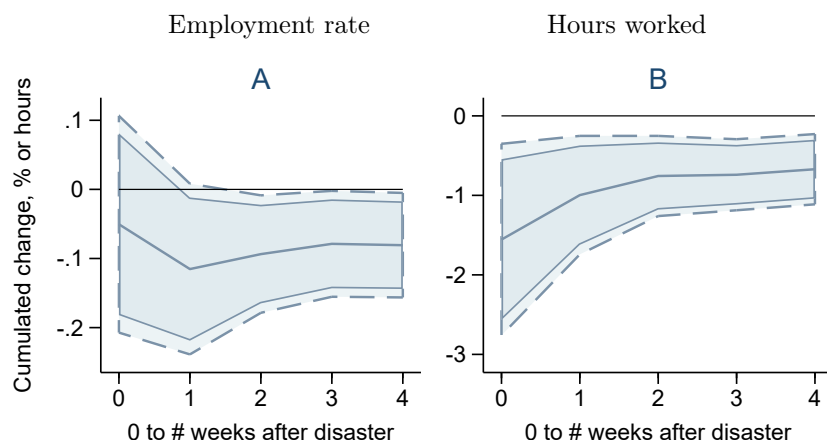
Those effects are primarily driven by periods of high provincial employment slack. Hours worked and real wages are persistently reduced (up to one year and three years, respectively) when floods occur during periods of employment slack (Figure A.4-E and -F).

For the largest disasters, the negative effect on the employment rate may persist up to six months (Figure 1.18-G). The effect is also amplified for alternative measures of severity like the number of evacuations (Figure A.13). The effect on wage growth is amplified only when there is no call for federal assistance (Figure A.9-C and -F). In general, floods receive more federal assistance funding than other disasters (Table 1.2). This suggests that recovery efforts supported by the federal government effectively attenuate part of the longer-term negative labour market impacts. This is also in line with Dahlhaus et al. [30], who find that large provincial debt may weaken the economic recovery after floods unless federal funding assistance is available.

The short-run decrease in hours worked is mainly observed in the production sector (Figure A.1-D), mainly driven by the agricultural, forestry/mining, construction and manufacturing sectors, while hours worked increase on impact in the utilities sector. Conversely, the short-run decrease in the employment rate and decrease in wages is mainly observed in the service sector (Figure A.2-E, -F), with a lower employment rate in the food/accommodation sector that recovers within a year. The impact on the service sector may be related to flooding being more likely to occur in more densely populated areas, as most Canadian urban centres are along rivers. The employment rate also decreases on impact in the agricultural sector, with an increase in the construction sector after three months to support repairs.

Unlike other wildfires, the effect of floods on wage growth since 2000 have shown less adaptation (Figures A.23-C and -F). Despite their higher frequency compared to other disasters, the relatively minor impacts of floods on average may have limited efforts and government support for adaptation.

Figure 1.16: Weekly impacts of a flood



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30months ahead with the 90 and 95% confidence intervals using Equation (1.2).

Effect of storms

Storms, excluding winter storms, are the least intense type of disaster among all our measures of disaster intensity (i.e., cost as a percent of provincial GDP, DFAA payments as a percent of provincial GDP, number of evacuees and number of people affected by utilities disruption; see Table 1.2 for more details). Hence, it comes as no surprise that the overall effect of storms is relatively insignificant (Figure 1.19).

As such, any significant effect of storms on the labour market should be concentrated in some specific dimensions. First, the effect is more specific to some sectors. The slight decrease in hours worked a few months after the storm (Figure 1.19-E) is mostly observed in the utilities, forestry/mining/oil and service sectors (Figure A.2-H). Only for the accommodation/food sector do we observe an increase in hours worked within a month, possibly driven by power cuts and temporary accommodation. Second, larger

storms appear to have a significant impact when their intensity is ranked using the number of affected persons rather than monetary cost. Storms have the smallest average cost as a percentage of provincial GDP and the smallest associated variance (Table 1.2), and thus no significant effects are observed using the disaster cost (Figure 1.19-G to I). However, when the number of affected persons is used instead, a large negative response of hours worked is estimated (Figure A.14). Third, their effect becomes significant when conditioned on labour market slack: both the employment rate and real wages decrease briefly when storms occur during periods of high employment slack (Figures A.5-D and -F). Conversely, real wages tend to temporarily increase during periods of low employment slack (Figure A.5-C).

In terms of its impacts over time, storms show worsening adaptation of wage growth post-2000 similar to the case of floods. (Figures A.24-C and -F).

Effect of winter storms

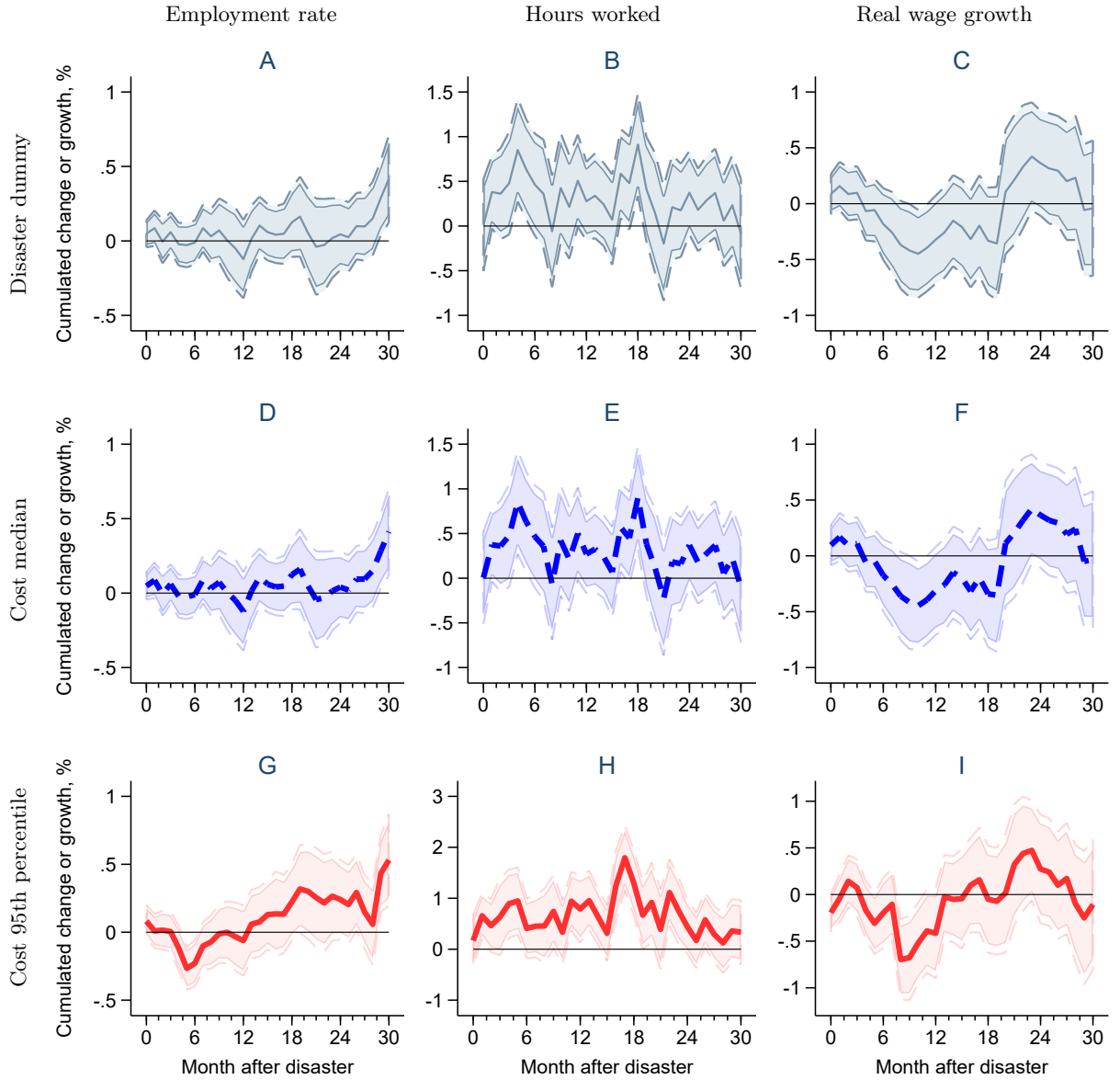
Winter storms may marginally decrease real wages within a year before being more than offset by stronger growth one year after (Figure 1.20-C and -F). This pattern is more noticeable in the service sector (Figure A.2-L) for winter storms with the median recorded number of affected persons (Figure A.15) and for those that do not require federal-level assistance (Figure ??).

State dependence in the responses of the labour market tends to be strong for winter storms. The change in real wages occurs only in periods of employment slack (Figure A.6-F) during which hours worked also decrease (Figure A.6-E), driven by persistently lower hours worked in the agricultural sector and the wholesale/retail sectors.

The effect of winter storms also depends on disaster size. Similar to the effect observed for the largest winter storm, i.e., the 1998 ice storm (Figure A.16), winter storms with larger costs drive up the employment rate (Figure 1.20-G). The higher employment rate is due mainly to the service sector, especially for transportation, possibly due to government spending for repairs to damaged infrastructure. As expected, hours worked also spike in the utilities sector, which may be particularly strained by severe winter storms.

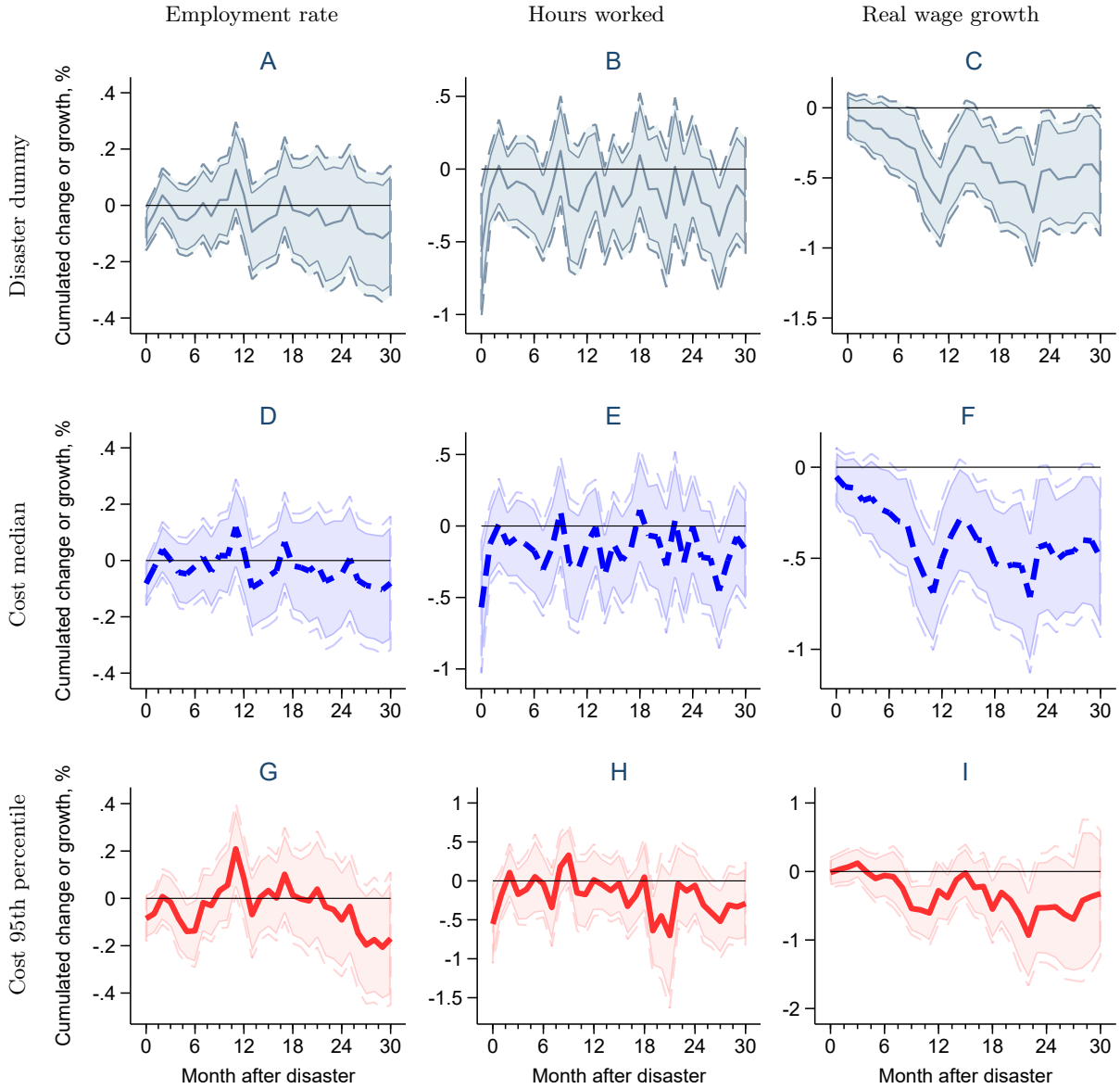
Winter storms also demonstrate significant worsening adaptation of wage growth over time, like floods and storms (Figure A.25-C and -F).

Figure 1.17: Impact of a wildfire on the provincial labour market



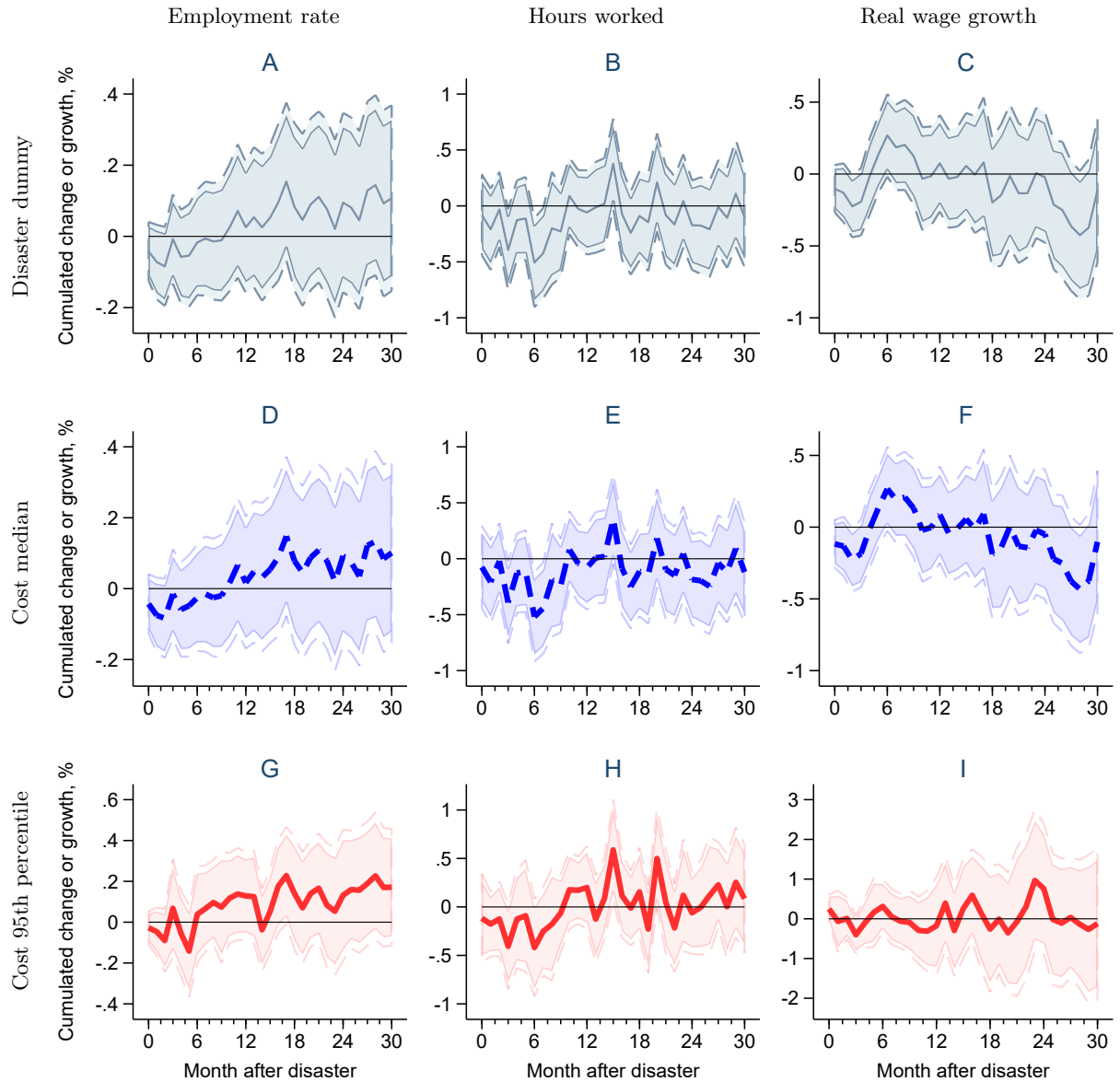
Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. The first row displays responses from the model with the natural disaster dummy variables, using Equation (1.1). The second row displays the effects of a disaster with the recorded cost at the median level, and the third row shows the effects with the recorded cost at the 95th percentile, using Equation (1.5).

Figure 1.18: Impact of a flood on the provincial labour market



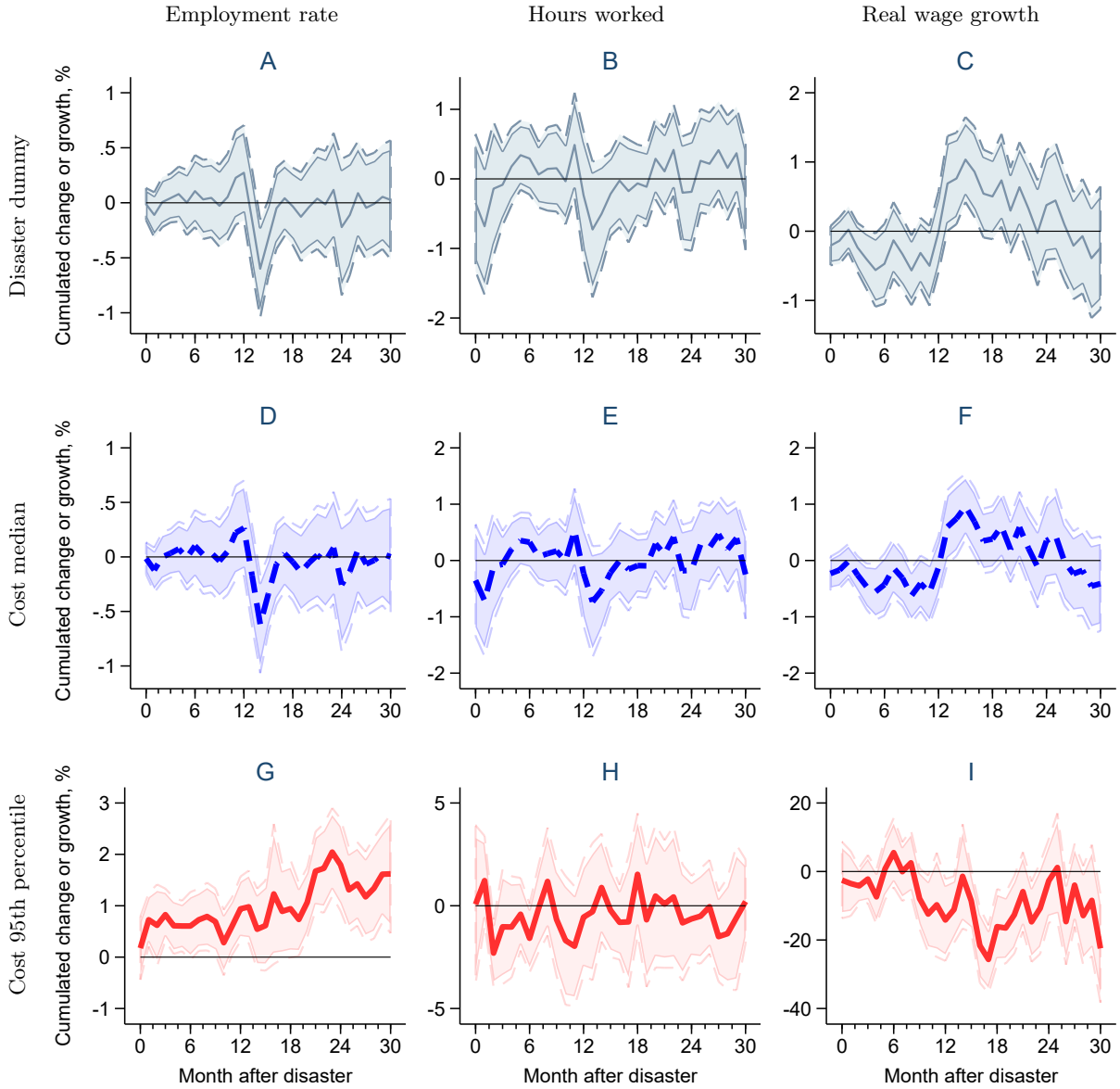
Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. The first row displays responses from the model with the natural disaster dummy variables, using Equation (1.1). The second row displays the effects of a disaster with the recorded cost at the median level, and the third row shows the effects with the recorded cost at the 95th percentile, using Equation (1.5).

Figure 1.19: Impact of a storm on the provincial labour market



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. The first row displays responses from the model with the natural disaster dummy variables, using Equation (1.1). The second row displays the effects of a disaster with the recorded cost at the median level, and the third row shows the effects with the recorded cost at the 95th percentile, using Equation (1.5). Storms include thunderstorms, hurricanes and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category.

Figure 1.20: Impact of a winter storm on the provincial labour market



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. The first row displays responses from the model with the natural disaster dummy variables, using Equation (1.1). The second row displays the effects of a disaster with the recorded cost at the median level, and the third row shows the effects with the recorded cost at the 95th percentile, using Equation (1.5).

1.6 Conclusion

This paper investigates how natural disasters affect the local labour market in 10 Canadian provinces, focusing on employment, hours worked and real wage growth. We construct a monthly provincial panel of disasters spanning the period from 1980 to 2019 by exploiting the Canadian disaster database, which records weather events causing significant damages. We use a panel local projection setup extended to account for the heterogeneity across economic states, disaster intensity, disaster type and changes over time.

We find the following. First, disasters initially reduce hours worked within a week, with effects fading quickly, while wage growth declines half a year later. Second, most of the effects occur during periods of high employment slack. This suggests that natural disasters act as a catalyst for painful labour market readjustments in already weak labour markets, although federal assistance can dampen some of this effect. Third, in the second half of our sample, the labour market displays a more muted response to disasters, possibly indicating either an adaptation to more frequent and severe events over time or a stronger impact of government support. Finally, we observe substantial heterogeneity across disaster intensity and disaster types, although wage growth tends to be weaker across all disasters.

Our findings have two main policy implications. First, when assessing the overall impact of natural disasters, the effect on local labour markets should not be overlooked: natural disasters can detrimentally affect vulnerable workers through the income channel, especially when it materializes at the same time as other shocks that had already weakened the economy. In addition, income losses can be one of the main drivers of household defaults, possibly further amplifying losses for the overall economy. Second, disaster relief funding and its design is important for policy makers. On the one hand, federal funding can alleviate some of the longer-term effects of disasters on wage growth. However it may hide a sectoral reallocation. For instance, those living in wildfire-prone areas working in retail industries are more likely to lose their job, while part-time workers in the construction sector likely benefit from the recovery phase after a wildfire. Finally, policy makers have reasons to remain concerned about the macroeconomic impact of natural disasters given the risk of increased frequency and magnitude, even as mitigation policies may provide some partial offset. The disruptive effect we quantify for the largest disasters in Canadian history is a cautionary tale for the decades to come should Canada continue to experience record-breaking disasters.

We use a panel of extreme events to explore the labour market impacts of natural disasters. While our method offers broadly applicable results compared to case studies, it relies on a historical dataset and cannot accurately project future labour market responses, especially given accelerating climate change. Therefore, interpretations of our findings should consider uncertainties surrounding potential structural changes in the economy due to climate change.

Chapter 2

We Didn't Start the Fire: Effects of a natural disaster on consumers' financial distress

This chapter was published in the Journal of Environmental Economics and Management in May 2023. and co-authored with Anson T.Y. Ho, Kim P. Huynh, David T. Jacho-Chávez.

2.1 Introduction

Global climate change is increasing the frequency and severity of natural disasters. The OECD [90] highlighted this as an emerging risk in the 21st century. These disasters destroy physical assets, such as homes, which have detrimental financial implications for the affected individuals. A recent report by The Insurance Institute of Canada [101] highlights that extreme weather will impact every area of insurance with the following risks: more people and assets are in the path of weather-related losses, which results in *physical risks*; climate change accountability leads to *liability risks*; and changes needed in response to climate change create *transitional risks*.

The aforementioned climate-related risks also affect the stability of the financial system. The Network for Greening the Financial System, an international network of 87 central banks, recommends that central banks and supervisors integrate climate-related risks into financial stability monitoring and microsupervision (NGFS [89]).¹ Uncertainty related to the climate also increases the difficulty of assessing its potential economic impacts (Burke et al. [17]). Understanding the potential effects of natural disasters, which have become more frequent and severe due to climate change, on household finance is particularly important in Canada because elevated household indebtedness has already been identified as a vulnerability in the financial system (Cateau et al. [20]).

We conducted an empirical case study of the impact of the 2016 Fort McMurray Wildfire, the costliest wildfire disaster in Canadian history. According to Statistics Canada [98], 5,890 km² of land and approximately 8% of all private dwellings were destroyed by the fire, making this the largest insured loss for insurance providers. This disaster also created substantial indirect costs as the evacuation temporarily halted oil sand production near Fort McMurray. The estimated output loss was 0.4% of real GDP in the second quarter of 2016. The wildfire's total cost is estimated at \$9.9 billion Canadian dollars, with about \$3.7 billion in insured losses.²

Wildfires offer a unique opportunity for an in-depth analysis of the economic consequences of natural disasters. This incident resulted in uneven destruction within Fort McMurray. The wildfires severely burned some areas, while evacuated residents residing in less damaged areas were able to return home the following month. This differential impact allows us to identify the severity of the direct impact on individuals with property losses versus those with relatively indirect effects.

¹In Canada, the Bank of Canada and the Office of the Superintendent of Financial Institutions launched a pilot project on climate risk scenarios in 2020.

²All dollar figures are quoted in Canadian dollars – 1 Canadian dollar was about 0.75 US dollar in 2016, refer to <https://www.bankofcanada.ca/rates/exchange/>.

Using detailed monthly consumer credit data from 2014 to 2018, we categorized individuals into two groups based on whether they lived in (1) severely damaged areas or (2) less damaged areas and analyzed the economic effects of wildfires on these groups separately. We focus on financial distress in insured mortgages measured by loan delinquency for the following reasons. First, residential properties are immobile and vulnerable to damage from natural disasters. Second, mortgages are the single largest loan item for most individuals. Third, the effect of natural disasters on mortgage delinquency has strong implications for mortgage insurers, financial institutions, and policymakers providing explicit guarantees via mortgage insurance.³

The wildfire’s treatment effect is estimated using a synthetic control method (SCM). This method is often used for policy evaluations in finance, economics, and political science. It aims to create a hypothetical control unit that resembles Fort McMurray’s characteristics, yet never experiences wildfires. The treatment effect is measured as the difference in mortgage arrears between the actual and hypothetical control outcomes. We find that wildfires have a substantial impact on mortgage delinquencies. After controlling for confounding effects, such as oil price changes, we attribute the doubling of delinquencies in severely damaged areas almost entirely to the wildfire effect. However, this increase was temporary and quickly dissipated between 12 and 18 months after the event. In contrast, we find minor and statistically insignificant effects in areas with less damage, with these impacts dissipating after only three months.

Our findings highlight the need to account for climate risk in consumers’ lending decisions, as there may be spillovers to other finance and insurance industry stakeholders. Spillovers can appear in terms of an increase in the financial burden due to the loss of use, delay in insurance settlements, or disruption in income streams. It is incumbent on the finance and insurance to understand and manage their exposure to these risks. A potential reason for credit performance worsening is limited risk sharing (Favilukis et al. [38]), as households fail to insure against catastrophic risks due to prohibitively high insurance prices (Kousky and Cooke [76]) or whole market failure in equilibrium (Raykov [97]). Our findings support recent research that suggests the need to account for climate risk in the pricing of assets and bonds (Gollier [46], Pedersen et al. [94], Bolton and Kacperczyk [15], Flammer [41]).

Potential changes in pricing may have long-lasting effects on the Canadian housing finance system because the public securitization of insured mortgages provides a cost-effective supply of funding to lenders, supporting competition in the mortgage market (Mordel and Stephens [87]). This study also highlights the need for preparedness for natural disasters, which may be in the form of debt forbearance or debt-relief programs from the finance industry, or disaster relief from the public sector.

This study is closely related to the growing literature on the effects of natural disasters. Gallagher and Hartley [43] find a temporary and modest increase in mortgage delinquency after Hurricane Katrina in 2005. This outcome can be explained by a small and transitory effect on income (Deryugina et al. [33]), which can be attributed to wage gains from a weaker labor supply as residents migrate out of the affected areas (Groen et al. [50]). Regarding the distribution of federal flood assistance for Hurricane Harvey, Billings et al. [12] argue that fewer assistance loans are allocated to financially constrained homeowners, resulting in more insolvency. In the long run, Ratcliffe et al. [95] suggests that natural disasters lead to declines in credit scores and loan performance. Overall, the impacts of natural disasters vary significantly owing to differences in severity, disaster aid levels, media coverage, and political interest (Edmiston [37], Issler et al. [63]). Individuals can obtain sufficient liquidity from other channels (Morse [88]). Recently, Paudel [93] suggests that the coronavirus disease 2019 (COVID-19) reduced the number of human-induced forest fires and Bilyk et al. [13] examines how the COVID 19 shock affects Canadian households by comparing the pandemic and natural disasters. In addition to household finance, catastrophic disasters may also affect bank funding and reduce the supply of loans (Hosono et al. [54]) as well as firm survival (Basker and Miranda [10]). From a macroeconomic perspective, Cavallo et al. [21] utilized SCM to study the impact of catastrophic natural disasters on economic growth. The author did not find any significant effects.

Our work differs from the existing literature in several ways. Unlike floods and hurricanes, wildfires are arguably unpredictable in terms of geographical location. Households may be less prepared than those living in floodplains or coastal areas. Unlike Hurricane Katrina’s extensive damage to New Orleans’ oil-producing facilities, oil-sand production surrounding Fort McMurray was only temporarily halted, which prevented the effect from propagating through supply chains (Barrot and Sauvagnat [9], Hsu et al. [55]) and limited the loss of jobs to a transitory income shock. The distinct pattern of wildfire damage

³Refer to Appendix B.1 for details on Canadian mortgage insurance.

also enables us to better quantify the losses from the physical risks of a natural disaster. Namely, the heterogeneous impacts across different neighborhoods in Fort McMurray allow us to study the treatment effect based on the intensity level of the damage. This approach provides the advantage of using synthetic control over a difference-in-differences setup, which requires splitting the control and treatment groups at the boundary of the event. Finally, our focus on insured mortgages at a monthly frequency also offers new insights for risk management on the evolution of mortgage arrears compared to previous studies using quarterly or annual data.

The rest of the paper is organized as follows: Section 2.2 provides background information on the 2016 Fort McMurray Wildfire, Section 3.2 describes our data set and reports relevant stylized facts, Section 2.4 specifies the empirical methodology, Section 2.5 presents the results on loan defaults, and Section 2.6 concludes the study description.

2.2 2016 Fort McMurray Wildfire

Fort McMurray is a remote city in northeast Alberta, Canada. It is nestled in the boreal forest and is located near Athabasca oil sands, the world's third-largest proven oil reserve. Owing to its proximity to oil sands, the local economy depends heavily on petroleum production and the energy sector.

Anthropogenic activities have contributed to climate change [19]. In 2011, Alberta experienced two large fires, namely the 2011 Slave Lake Wildfire, which displaced the residents of Slave Lake, and the Richardson Fire, which burned nearly 1.7 million acres of the boreal forest. These events prompted the Alberta government to set up funding for mitigation and disaster response purposes. While this approach represents a pretreatment response that could bias our results, these actions were largely reversed with large budget cuts in 2015 [5]. In fact, 45% of the budget for the FireSmart preventative program, which aimed to prevent wildfires through tree thinning in vulnerable communities, was cut. Additionally, almost 17% of the funding set aside as part of the 2011 Slave Lake Wildfire recommendations was cut [106]. Hence, Fort McMurray and Alberta were largely unprepared to deal with the devastating impacts of the 2016 wildfire.

Anthropogenic climate change has also led to rising temperatures in northern Canada [6] and has increased the likelihood of wildfires [42, 45, 51]. In particular, anthropogenic forcing has caused extreme fire risk events in the Fort McMurray region to become 1.5 to 6 times more likely [72] and has also increased the area burned [71]. Figure 2.1 illustrates the unseasonably hot weather in the spring of 2016 that provided the perfect conditions for the rapid spread of a fire that started in a remote area approximately 15 kilometers outside of Fort McMurray. Igniting on May 1, several months before the typical start of the season, the rapid spread allowed little warning time for residents. By May 3, an emergency evacuation order was imposed, displacing all 88,000 residents. As the wildfire moved away from Fort McMurray, residents were allowed to re-enter Fort McMurray on a voluntary, phased basis between June 1 and June 15, subject to local safety conditions .

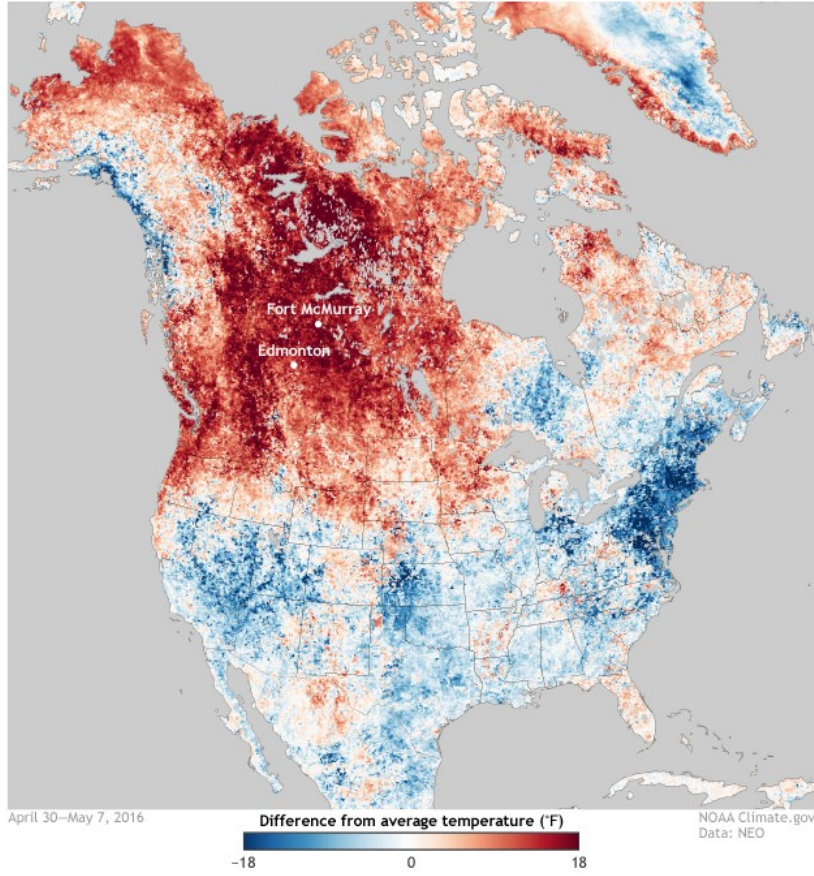
The wildfire damage in Fort McMurray was uneven. The neighborhoods of Abasand Heights, Beacon Hill, and Waterways were severely burned and declared unsafe for reoccupation. Significant damage was also reported in the neighborhood of Wood Buffalo Estate and Saprae Creek, according to the satellite imaging provided by [47]. The locations of severely damaged neighborhoods in Figure 2.2a. To illustrate the dramatic difference in the extent of wildfire damage, Figure 2.2b signifies the Abasand Heights area that was completely burned down (gray area in the lower half of the red-line bounded region) contrasted against the adjacent Lower Townsite neighborhood (top right corner), which remained intact.

The magnitude of wildfires and evacuations led to a slowdown in oil production in the third quarter of 2016, causing significant losses in oil extraction operations. However, given the minimal amount of damage sustained by oil sand facilities, the impact on production in the region was short-lived, with a rapid rebound in the number of barrels produced beginning in August [22]. Hence, for most people living in Fort McMurray, the disruption in employment income from oil extraction was only temporary.

The government of Alberta provided direct financial help to affected residents, with \$1,250 per adult and \$500 per child in the household. Similarly, the Canadian Red Cross provided affected individuals with \$600 per adult and \$300 per child financial support. Some energy companies extended lump-sum payments or interest-free loans to their employees, while banks offered payment deferrals on loans for up to four months, relief on fees, and flexible credit arrangements.⁴

⁴Refer to Government of Canada Fort McMurray disaster relief website and Government of Alberta's Fort McMurray

Figure 2.1: Deviation from the average temperature between April 30 and May 7, 2016



2.3 Data and Stylized Facts

We use consumer credit data spanning January 2014 to December 2017 provided by TransUnion®, a major consumer credit reporting agency in Canada.⁵ The dataset contains anonymized account-level information on a monthly frequency for various loan types, including outstanding balances, loan performance history, consumers' credit scores, their ages, and the encrypted postal code of their primary residence.⁶ It covers major loan types, including mortgages, home equity lines of credit (helocs), credit cards, auto loans, as well as other lines of credit and installment loans.

While constructing our sample, we drop accounts that have not been updated for 90 days (one quarter) or have missing information on the outstanding balance. The outcome variable of interest is the loan amount in arrears, defined as a loan that is 90 or more days past the payment due day. This definition is commonly employed in the finance industry to measure delinquency severity. Insured mortgages are covered under mortgage insurance.⁷ We use credit card utilization, defined as the outstanding balance as a percentage of the total credit limit, as a proxy measure for an individual's liquidity.

Outstanding loan balances are aggregated by geographic area. Fort McMurray is divided into two separate treated regions, *severely damaged areas* and *other areas*, based on the extent of wildfire damage

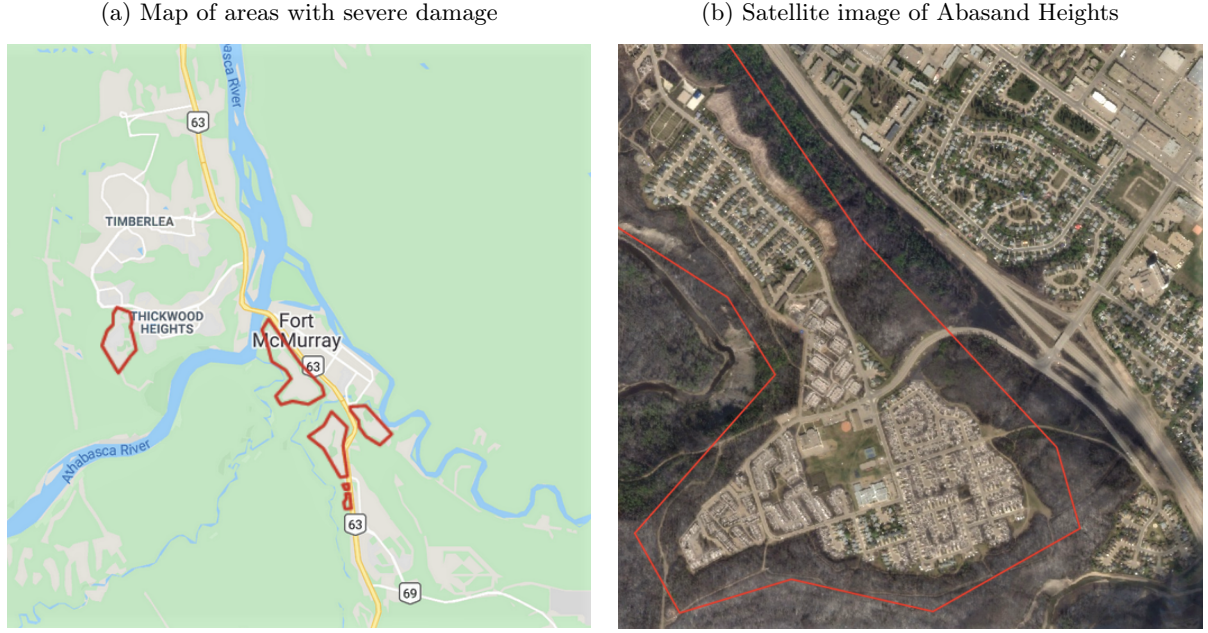
and the Wood Buffalo Region wildfire recovery website.

⁵TransUnion® and Equifax® are the two major credit bureaus in Canada. We acquired access to TransUnion® data through the Bank of Canada. Refer to Appendix A in [53] for TransUnion's data coverage.

⁶For privacy protection, postal codes are encrypted in a way that we only observe the first three digits, known as the Forward Sortation Area (FSA). The last three digits, known as the local delivery units, are encrypted and replaced by a unique identifier.

⁷The data set does not contain information on whether mortgage insurance is obtained through transactional insurance or portfolio insurance. Refer to Appendix B.1 for more details on mortgage insurance in Canada.

Figure 2.2: 2016 Fort McMurray Wildfires



Note: Severely damaged neighborhoods are marked by red boundaries in Panel 2.2a, which include Abasand Heights, Beacon Hill, Waterways, and Wood Buffalo Estate (Saprae Creek is excluded for scaling purpose). Panel 2.2b contains the extent of damages in Abasand Heights in the lower part of the red-line bounded area. Source: [47].

observed in Figure 2.2.⁸⁹ Potential control regions are divided by Forward Sortation Area (FSA), that is, the first three digits of the postal code.¹⁰ Our potential control units include all FSAs in the provinces of Alberta and Saskatchewan, which are located at least 100 km away from Fort McMurray to avoid any potential spillover effects to the surrounding areas. We also exclude FSAs in rural areas and FSAs with fewer than 5,000 credit-active residents from our sample.

The descriptive statistics for the dataset are presented in Table 2.1. On average, there were 60,082 credit-active individuals living in Fort McMurray, with 6,559 residing in areas with severe damage. The potential control set contained 126 FSAs with an average credit-active population of 21,949 individuals. Insured mortgages in Fort McMurray have, on average, \$450,000 in outstanding balance, which is higher than that of other control areas. The fraction of mortgages insured in Fort McMurray is also higher than that of other FSAs. However, the ratio of insured mortgages in Fort McMurray is generally consistent with a [25] report, which showed that 57% of outstanding mortgages were insured in the first quarter of 2015.¹¹ Moreover, our stylized facts also show that residents of Fort McMurray have higher credit card utilization, and a larger fraction of them have below-prime credit scores.

The arrears rate of mortgages in Fort McMurray is illustrated in Figure 2.3. Arrears in neighborhoods with severe damage stood at 0.59% in the month before the wildfire and increased to over 0.90% by October 2016, as shown in Panel 2.3a. The arrears peaked at 1.16% and began to fall in May 2017, reaching approximately 0.8%. This observation is in stark contrast to areas with limited damage (Panel 2.3b), where a spike in arrears was not observed. Here, the arrears rate was at a similar level to heavily

⁸⁹Neighborhoods severely damaged include Abasand Heights, Beacon Hill, Waterways, Wood Buffalo Estate, and Saprae Creek. We use *postal codes* to identify these neighborhoods as severely damaged areas. This granular geographical categorization alleviates the issue of the impacts' scale within the treated areas because an urban postal code in Canada is a very small area (usually a block on a street) that contains about 20 adult individuals on average.

⁹Alternatively, the intensity of damage caused by wildfires can be proxied by fire radiative power [16, 100, 92] because it is strongly correlated with fireline intensity [66], biomass burned [79], and the behavior of spreading flame [78].

¹⁰Notably, there are only three FSAs in Fort McMurray (T9H, T9J, T9K). As the damage caused by the wildfire, as shown in Figure 2.2, is not limited to, or evenly distributed across, specific FSAs, using them as geographic units for the treated regions cannot provide precise categorization for the severely damaged areas.

¹¹Refer to Appendix B.1 for details about the Canadian mortgage insurance market.

Table 2.1: Descriptive Statistics from January 2014 to December 2017

	Fort McMurray		Other control FSAs	
	Severely damaged	Other areas	Mean	SD
N_{ind}	6,559	53,523	21,949	11,051
Mortgage	\$ 448,559	\$ 457,434	\$ 251,391	\$ 43,923
% mortgage insured	73.7%	77.8%	65.2%	8.0%
Credit Card Utilization	34.8%	33.8%	29.5%	4.2%
% of near-prime	20.8%	20.5%	16.9%	3.7%
% of supprime	6.1%	6.0%	5.8%	1.9%

Note: The severely damaged areas in Fort McMurray are categorized by observed damages in Figure 2.2. Other areas in Fort McMurray contain the remaining areas within the city limit. For control units, there are 126 other FSAs in Alberta and Saskatchewan included in the sample.

damaged areas prior to the wildfires (0.67%) and remained roughly constant until the end of 2017.¹² Additionally, Figure 2.3 shows that the arrears of insured mortgages are only slightly above those of all mortgages, suggesting that the loan portfolios of insured and non-insured mortgages may not be very different.

Our empirical findings suggest that wildfires may have induced financial distress in individuals who suffered property damages, which can have important implications for the management practices of insurance companies and mortgage insurers. However, it is also crucial to note that the arrears rates illustrate significant upward pre-treatment trends due to 2014–15 oil price shock. The price of Western Canada Select (WCS) sharply plummeted from US\$ 86.56 per barrel in June 2014 to US\$ 17.88 in January 2016, before slowly recovering to US\$ 44.02/barrel in December 2017. For Fort McMurray, whose economy is dependent on oil sands, the price of oil can be an important confounding factor, modeled below through the introduction of a common factor model.¹³ In Section 2.4, we outline how the SCM is utilized to construct a data-driven control unit that accounts for confounding factors.

2.4 Empirical Method

We estimated the treatment effect of wildfires using the SCM developed by [3]. SCM provides a transparent and data-driven method for selecting control units for comparison, which is particularly useful for our analysis given the uniqueness of Fort McMurray’s geographical location and its dependence on the natural resource industry. Generally, SCM uses pretreatment observations to construct a hypothetical (synthetic) unit that jointly matches the treatment unit’s characteristics and the outcome of interest. The synthetic unit is then used as a control and compared with the actual outcome to estimate the treatment effect. For brevity, we only outline the general estimation model and our econometric application in this section; interested readers are referred to [3] for details.

Suppose we observe $j = 1, \dots, J+1$ regions for $t = 1, \dots, T$ time periods. We denote T_0 as the number of pretreatment periods, with $1 < T_0 \leq T$ and i as the region being treated. Let Y_{it} be the treatment outcome in region i at an observable time t , and let Y_{it}^N be the outcome in the absence of the treatment, which we can never observe. We define the treatment effect as $\alpha_{it} = Y_{it} - Y_{it}^N$ in the post-treatment period $t = T_0 + 1, \dots, T$. We estimate Y_{it}^N by assuming it is given by a factor model:

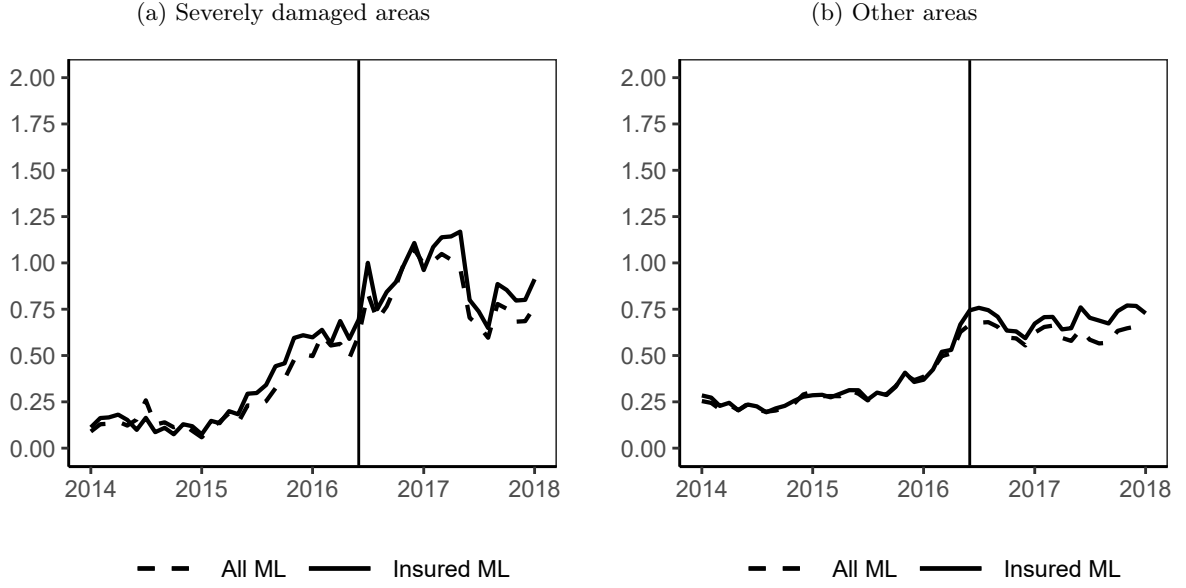
$$Y_{it}^N = \delta_t + \theta_t Z_i + \lambda_t \mu_i + \epsilon_{it}, \quad (2.1)$$

where δ_t is an unknown common factor, Z_i is a vector of observed exogenous covariates with parameter θ_t , λ_t is a vector of unobserved factors with unknown factor loading μ_i , and ϵ_{it} are unobserved shocks with zero mean.

¹²While new mortgage loans in Fort McMurray may have been delayed due to the wildfire, we do not have a separate treatment for new mortgage loans because mortgage origination is an infrequent event (see Appendix B.1). New mortgage loans originate when there is a property transaction or when mortgage holders refinance their loans. In either case, the mortgage inflow and outflow will offset each other; hence, the remaining net flow of loans will be small relative to the outstanding balances. Indeed, the total outstanding loan balances in Fort McMurray continued to shrink after the wildfires.

¹³The negative impact of oil price decline is discussed in [103].

Figure 2.3: Mortgage loan arrears in Fort McMurray



Note: The solid line refers to the arrears rate of insured mortgages (insured ML) while the dashed line represents the arrears rate of all mortgages (all ML). Arrears rates are reported in percentage points, and the vertical black line indicates the first period affected by the wildfire, i.e., May 2016.

We define a vector of weights $W = (w_1, \dots, w_{j \neq i}, \dots, w_J)'$ for the set of control units, such that $w_j \geq 0$ for all $j \neq i$ and $\sum_{j \neq i}^{J+1} w_j = 1$. This vector is utilized to compute the weighted average of the control units, which serves as a synthetic control for the treated region i . Hence, the outcome variable for synthetic control is

$$\sum_{i \neq j}^{J+1} w_j Y_{jt} = \delta_t + \theta_t \sum_{i \neq j}^{J+1} w_j Z_j + \lambda_t \sum_{i \neq j}^{J+1} w_j \mu_j + \sum_{i \neq j}^{J+1} w_j \epsilon_{jt}. \quad (2.2)$$

The optimal weights $W^* = (w_1^*, \dots, w_{j \neq i}^*, \dots, w_J^*)'$ are chosen such that:

$$\sum_{j \neq i}^{J+1} w_j^* Y_{jt} = Y_{it}, \quad \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j^* Z_j = Z_i, \quad \text{and} \quad \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j^* \mu_j = \mu_i \quad \text{for all } t = 1, \dots, T. \quad (2.3)$$

We show that a synthetic control that can fit the observed covariates (Z_i) and a long series of pretreatment outcomes (Y_{it}) is a sufficient condition for fitting the unobserved confounders (μ_i), providing an unbiased estimate of Y_{it}^N . The difference between the observed outcome and the synthetic control is specified as an estimator of the treatment effect α_{it} . We denote the estimator by $\hat{\alpha}_{it}$,

$$\hat{\alpha}_{it} = Y_{it} - \sum_{j \neq i}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \quad (2.4)$$

for treatment period $t = T_0 + 1, \dots, T$.

To account for the time-varying effect of unobserved factors, linear combinations of pretreatment outcomes, such as annual average values, can also be included in a region's characteristics. There can be at most $M \leq T_0$ linearly independent combinations of pretreatment outcomes, denoted by $\bar{Y}_i^1, \dots, \bar{Y}_i^M$. Let $X_i = (Z_i', \bar{Y}_i^{K_1}, \dots, \bar{Y}_i^{K_M})'$ be a vector of pretreatment characteristics of the treated region i , and X_0 be a matrix of the same characteristics in the control region with the j th row representing region j . The SCM estimator is implemented by choosing W^* that minimizes the distance between the observed and synthetic units, measured by

$$\|X_i - X_0 W\|_V = \sqrt{(X_i - X_0 W)' V (X_i - X_0 W)} \quad (2.5)$$

Table 2.2: Characteristics of Fort McMurray: observed vs. synthetic

Variables	FM – severely damaged		FM – other areas		Controls
	Observed	Synthetic	Observed	Synthetic	
log of insured ML	13.00	12.28	13.03	12.45	12.41
Utilization 60% – 80%	9.11	8.89	8.38	8.54	7.21
Utilization $\geq$ 80%	21.69	21.01	19.51	19.67	15.04
% near prime holders	22.27	21.31	20.53	20.76	17.10
% subprime holders	6.59	7.54	6.56	6.69	5.88
Arrears rate	0.63	0.61	0.49	0.48	0.32

Note: Log of insured ML refers to the averaged log values of the outstanding balances in insured mortgages from January 2014 and April 2016. All other values are the average in the first quarter of 2016, expressed in percentage points.

where V is a diagonal matrix of the parameters for the distance measure. The optimal V^* is chosen to minimize the mean squared prediction error (MSPE) of the outcome variable between the treated and synthetic controls over the pre-treatment periods. Put differently, we find V^* that solves

$$\min_V (Y_i - Y_0 W^*(V))' (Y_i - Y_0 W^*(V)), \quad (2.6)$$

where $W^*(V)$ is the optimal weight given V .

In our empirical application, the outcome of interest is the arrears rate of insured mortgages in Fort McMurray and the rest of Alberta and Saskatchewan. Our predictors (Z_i) of loan arrears include the quarterly averaged fraction of insured mortgage holders who have (1) credit card utilization between 60 and 80%, (2) credit card utilization at least 80%, (3) near-prime credit scores, and (4) subprime credit scores. We also included the average log values of the outstanding mortgage balance from January 2014 to April 2016. The predictor variables are augmented by the quarterly averaged mortgage arrears rate to formulate our set of regional characteristics (X_i).

2.5 Results

The results of our synthetic analysis of the Fort McMurray wildfire are reported in Table 2.2. It shows a comparison between the observed characteristics (X_i) and synthetic characteristics ($X_0 W^*$) in the first quarter of 2016. In general, our synthetic units matched well with the observed units. footnoteThe quarterly characteristics also match up in other quarters. Additional results are available upon request. This provides empirical support that the selected set of potential control regions is sufficient to imitate the Fort McMurray regional economy.¹⁴ The average of all the potential control FSAs is reported in the last column of the table. Our results show that we can use the set of controls to construct a synthetic unit that reflects the higher liquidity risk in Fort McMurray before the disaster: higher credit card utilization, a larger fraction of below-prime borrowers, and higher arrear rates in insured mortgages.

The synthetic controls' composition is displayed in Table 2.3. The top five heaviest weighted control FSAs accounted for 100% and 79.6% of the total weights for the synthetic severely damaged and other areas, respectively. The synthetic unit for the severely damaged areas in Fort McMurray is similar to North Battleford, an energy sector-dependent city with a comparable population size in a neighboring province. Homeownership rates are similar in both cities, with approximately 63% to 67% of the residents owning their homes. The synthetic units for the severely damaged areas and the other areas also share several common donors such as Whitecourt, Cold Lake, and Grande Prairie East. However, the synthetic unit for other areas in Fort McMurray has more diverse weights and is more similar to other places with more diversified local economies. This difference is reflected in the steeper increase in mortgage arrears in severely damaged areas between 2015 and 2016 in Figure 2.3. The estimated weights also show that the

¹⁴Technically, it means the treated unit is a convex combination of the control units, given the restriction of non-negative weights in the vector W .

Table 2.3: Top five FSA weights in the synthetic Fort McMurray

Severely damaged			Other areas		
Weight	FSA	Name	Weight	FSA	Name
0.269	S9A	North Battleford	0.172	T9M	Cold Lake
0.259	T4H	Olds	0.167	T8X	Grande Prairie East
0.232	T7S	Whitecourt	0.164	T7S	Whitecourt
0.146	T8X	Grande Prairie East	0.162	S4A	Estevan
0.095	T9M	Cold Lake	0.131	T3M	Calgary-Auburn Bay-Mahogany

Note: FSAs starting with letter “T” refer to areas in Alberta, and FSAs starting with letter “S” refer to areas in Saskatchewan.

synthetic units are comprised of FSAs far away from Fort McMurray, suggesting that the local spillover effect from wildfires is likely to be minimal.

The time series of arrears for the actual and synthetic units are shown in Figure 2.4. As expected, the arrear rates of the synthetic units closely resemble the observed paths of arrears in Fort McMurray before the wildfire. We focus on a post-treatment period of only one year to avoid picking up any confounding effect that could bias the results. For instance, any natural disaster event following the 2016 Fort McMurray Wildfire affecting any of our positively weighted FSAs in Table 2.3 could lead to a downward bias in our estimates. However, we note that no substantial events occurred in these areas in 2017.¹⁵

For severely damaged areas (Panel 2.4a), arrears in the synthetic unit slightly decreased from May 2016 to June 2017 before increasing again in the second half of 2017.¹⁶ This pattern roughly mirrors the overall mortgage arrears in Alberta and Saskatchewan, wherein mortgage arrears stabilized after the WCS oil price recovery and was maintained at about US\$40 per barrel. Arrears in the synthetic control for other areas of Fort McMurray show a similar pattern, as illustrated in Panel 2.4b. Although the synthetic units have different compositions, they present similar levels of arrears, approximately 0.6% in April 2016, before the wildfires.

The wildfire’s effect, measured by the differences between the actual and synthetic arrears, is shown in Figure 3.2. The 90% confidence set is also included in the figure, which is calculated following [40] and [39].¹⁷ For severely damaged areas (Panel 2.5a), wildfires increased mortgage arrears gradually by 0.5% before the end of 2016.¹⁸ The effect peaked in May 2017 with the level of the arrears increasing by 0.7%. Putting this number into context, mortgage arrears in Alberta during the 2008-2010 Great Recession rose by 0.67%, from 0.17% in January 2007 to 0.84% in January 2011. In terms of severity, our estimates show that the financial distress of affected individuals devastated by wildfires is comparable to that of the Great Recession, although the events are of different scales. This wildfire effect subsided substantially and became statistically insignificant starting in June 2017, 12 months after the disaster. The entire wildfire effect had almost dissipated by the end of 2017.

To shed further light on the movements of the arrears rate, changes in the aggregate stock of outstanding mortgages and their arrears are reported in Figure 2.6a. Values are normalized to one in May 2016 for illustrative purposes. In the first six months after the wildfires, that is, in the second half of 2016, the rising stock of arrears is the main driver of the arrears rate. The sustained stock of arrears and decreasing stock of outstanding mortgages, as residents left Fort McMurray due to adverse economic situations, contributes to the continued increase in the arrears’ rate in 2017. The subsequent decrease in the arrears rate is not attributed to delinquent loans exiting the stock through a higher number of foreclosures and write-offs, nor is it attributed to a pent-up demand for new mortgages when the economy

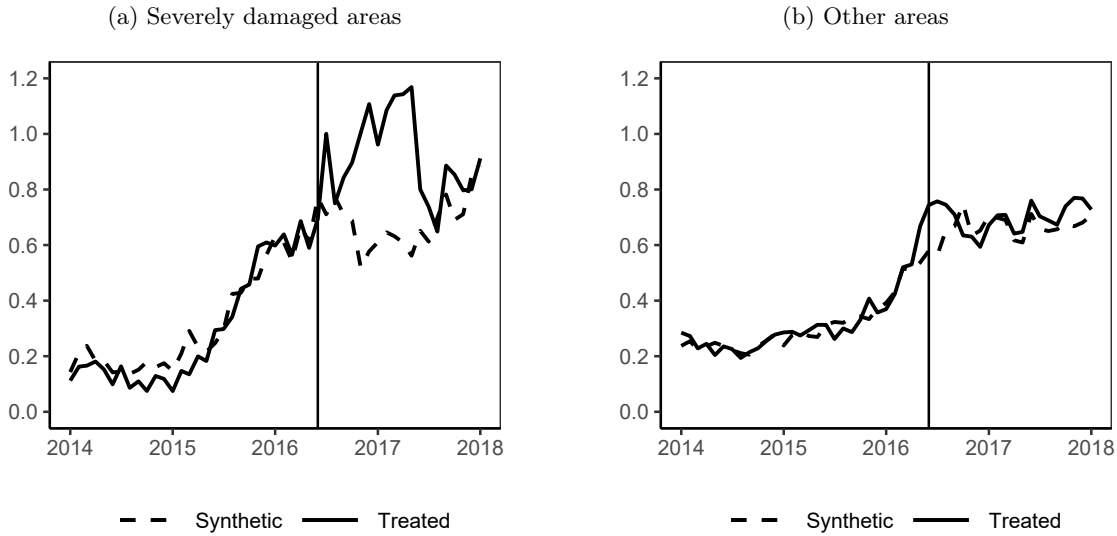
¹⁵We cross-reference the Canadian Disaster Database, which compiles all of the natural disasters that have occurred in Canada since 1900, and do not find any significant event affecting our positively-weighted control FSAs.

¹⁶In our robustness check, this pattern is robust to our model specifications.

¹⁷These methods assume random sampling, so they are conservative. Clustered-robust counterpart formulae are not available at this time.

¹⁸Arrears increased sooner than 90 days after payment deferrals expired, i.e. 7 months after the wildfire, because the length of delinquency depends on whether borrowers resumed their agreed repayments *after* their payment deferrals. Specifically, if borrowers failed to make their agreed repayments after their deferrals expired, the whole period of deferral would be counted as missed payments.

Figure 2.4: Paths of actual and synthetic mortgage arrears



Note: The solid line is the observed arrears rate in the treated area. The dashed line is the arrears rate in the synthetic unit. The arrears rate is reported in percentage points, and the vertical black line indicates the first period affected by the wildfire, that is, May 2016.

recovers from wildfires.¹⁹ Instead, our results suggest that the paying off of delinquent mortgages is the reason why the arrears rate drops.

For other areas in Fort McMurray that are less impacted by fires, we only find minor and statistically insignificant effects on mortgage arrears (Figure 2.5b). The point estimate of the wildfire effect suggests a 0.2% increase in arrears immediately after wildfires, which disappears only three months after the incident. Our results suggest that the wildfire effect, if any, on individuals who do not experience severe property losses is short-lived. This lack of effect is because wildfire-induced income loss is temporary, given the rapid rebound in oil production in August 2016.²⁰ Changes in the aggregate stock of mortgages (Figure 2.6b) further suggest that both the outstanding balances and the total amount of arrears have remained stable after the wildfires, thereby limiting the secondary effects of wildfires.

Several factors can explain the pattern of treatment effects in severely damaged areas. While most damaged residential properties are covered by fire insurance, insurance policies in most cases do not cover mortgage payments on damaged properties. The required mortgage payments and additional living expenses for dislocated individuals can be a potential source of financial stress. Such a financial burden may be further aggravated by the prolonged period of time required for insurance settlements due to the sheer number of claims.²¹ This situation is illustrated by the timing of the impacts: the treatment effect becomes significant in the fourth quarter of 2016, which coincides with the ending of (up to four -month) loan payment deferrals offered by financial institutions.²² So far, our analysis on the 2016 Fort McMurray Wildfire show that the increase in mortgage arrears are temporal and transitional. To further shed light on consumers' financial distress, we also estimated the treatment effect on credit card outstanding balances and credit scores of insured mortgage holders. Our results also suggest that the negative treatment effect on credit card balances and credit scores are temporal. Detailed results are reported in Appendix B.3.

Our findings offer an insightful comparison with Gallagher and Hartley's [2017] study on the impacts

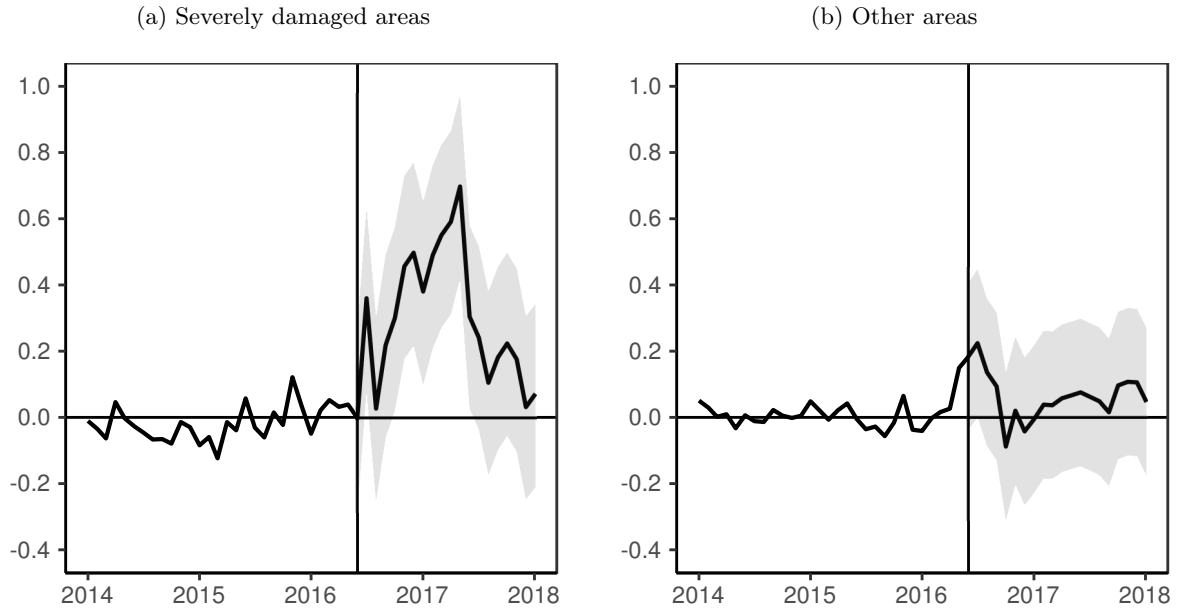
¹⁹Our data shows that mortgage write-offs remained stable at very low levels throughout the sample periods.

²⁰Considering that Fort McMurray is a remote mono-product local economy heavily relying on oil extraction, which was disrupted but resumed soon after the wildfire, the local spillover effect from the severely damaged area to other areas is limited.

²¹According to the Insurance Bureau of Canada and the provincial government, there were over 60,000 insurance claims resulting from the wildfires, of which 25,498 were residential claims.

²²Arrears increased sooner than 90 days after the expiry of the deferrals, or seven months after the wildfires because the length of delinquency depends on whether borrowers resumed their agreed repayments *after* their payment deferrals. Specifically, if borrowers fail to make their agreed repayments after their deferrals expire, the whole period of deferral will be counted as missed payments.

Figure 2.5: Gap between actual and synthetic mortgage arrears



Note: The solid line refers to the point estimate of the treatment effect. The shaded area represents the 90% confidence set. The arrears rate (gap) is reported in percentage points, and the vertical black line indicates the first period affected by the wildfires, that is, May 2016. The 90% confidence set is calculated via the method proposed by [40] and [39]

of Hurricane Katrina by providing further evidence that the timing of delinquency changes is closely linked to the length of loan deferral or forbearance.²³ The wildfire effect in Fort McMurray is also more persistent, suggesting there may exist an interaction between the length of deferral or forbearance and the duration of financial stress. Furthermore, the distinct pattern of damage in Fort McMurray also provides evidence that financial distress is mostly due to direct physical damage to properties.²⁴ This notion implies that disaster relief provided by various entities, such as direct financial subsidies and loan deferrals, may be sufficient for those who suffer from temporary loss of income, but may not be enough for the most severely affected individuals.

In terms of financial systemic risk, our findings shed light on the importance of incorporating climate-change liability risk and its uncertainty into financial stability analyses. The financial impact of natural disasters, which are more frequent and severe due to climate change, may propagate through financial linkages between stakeholders. For instance, the risk management and practices of property and casualty insurers can affect insurance settlements, which, in turn, may induce financial stress that impairs consumers' ability to repay their loans extended by other financial institutions. In the case of mortgage lending, an increase in delinquency and defaults due to climate-related events can potentially increase the risk of mortgage insurers and investors of mortgage-backed securities if the risk of these events is not fully accounted for. Notably, policymakers can reduce the impact of natural disasters on the financial system through disaster prevention and relief programs.²⁵

This study highlights the importance of the physical risk associated with climate change. Wildfire is the second-largest natural disaster risk in Canada [58], which has become increasingly common [83], and our estimates are informative for other areas damaged by or under the threat of wildfire.²⁶ Due to severe damage and extensive media attention, affected individuals in the 2016 Fort McMurray Wildfire may

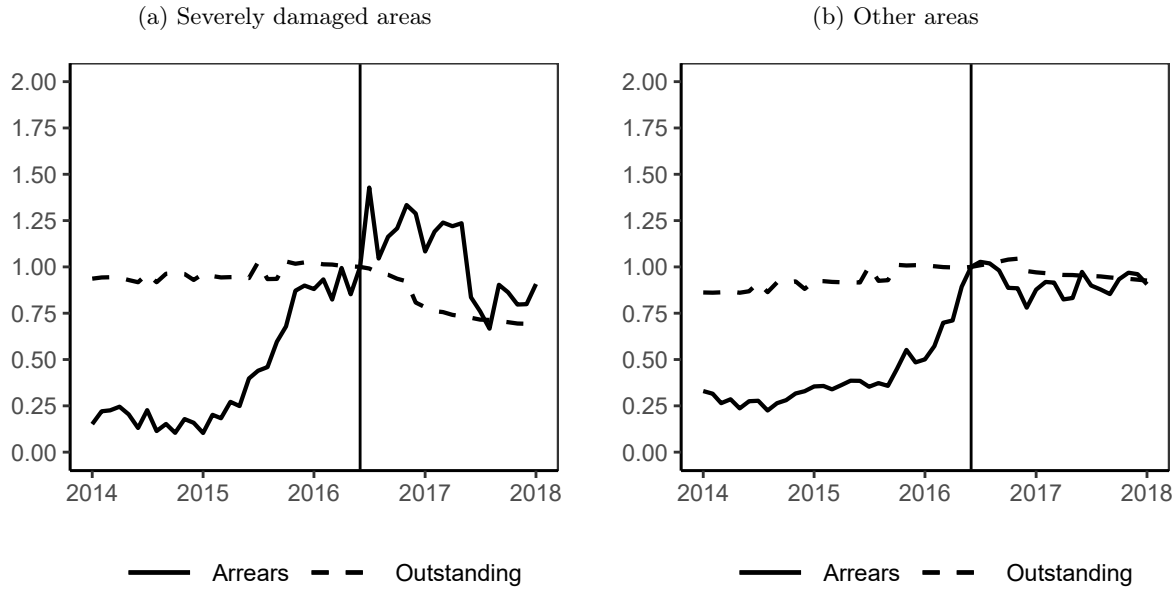
²³[43] observe a similar delayed effect in delinquency due to 12-month loan forbearance provided by financial institutions in the U.S.

²⁴[43] find a significant effect on mortgage delinquency in both the most and the least flooded quartiles.

²⁵The optimal design of policy and risk management tools is a complex issue beyond the scope of this study. Interested readers are referred to [81] and [56], among others, for discussions on public policy design.

²⁶According to the Government of Canada, about 8,000 wildfires occur each year in Canada, among which 55% are human-caused.

Figure 2.6: Total outstanding balances and arrears (May 2016 = 1.0)



Note: The solid line refers to the total amount of arrears in insured mortgages whereas the dashed line point represents the total outstanding balances. The vertical black line indicates the first period affected by the wildfires, that is, May 2016. Dollar values are normalized to 1.0 in May 2016.

have received more assistance, potentially lessening the disaster’s impact on financial distress compared to individuals suffering from other small-scale disasters [37, 63]. Our findings are also valid for the ongoing concerns of climate risk because insurance coverage improves recovery outcomes but only has a modest impact on risk reduction [75]. Income and level of economic development in Canada also have a role in mitigating disaster risk [68]. Natural disasters in developing countries are generally characterized by more fatalities and uninsured losses [82], suggesting that financial distress induced by natural disasters is likely to be higher in lower-income countries.

2.6 Conclusion

Using anonymized consumer credit data, we quantify the 2016 Fort McMurray Wildfire’s financial stress on the affected mortgage holders. This distinct pattern of damage sheds light on the potential outcome of exposure to physical risks. We find that areas severely damaged by wildfire had significantly more mortgage arrears. The transitional pattern of arrears suggests that insurance settlements, debt forbearance measures, and government assistance programs may have played important roles in reducing and postponing financial stress. For other areas with limited damage, the increase in arrears is small and statistically insignificant.

Our results suggest that climate risk may have important spillover effects between insurers, financial institutions, and policymakers. While home insurers’ exposure to physical risks is apparent, their practices, interacting with those of mortgage lenders, may reduce or aggravate affected individuals’ financial stress. In turn, financial stress may translate into inferior loan performance and increase mortgage insurers’ business risk. The extent of government assistance also has a role in consumers’ financial stress levels. This issue is complex and can be loosely viewed as a risk of liability for stakeholders. It is not surprising that Central banks and policy institutions have started and continue to measure the many physical risks in order to understand the interplay with financial risks, see [36].

Natural disasters also raise awareness about the transitional risks of climate change. In Fort McMurray’s case, the Regional Municipality of Wood Buffalo (RMWB) secured \$14 million in FireSmart for fire mitigation. They also launched a “Build Back Better” campaign to promote the use of fire-resilient materials. However, KPMG’s [2017] independent review, commissioned by the Alberta Emergency Man-

agement Agency, suggests that this intervention is unlikely to happen because insurance payments were only available to rebuild properties to *pre-fire* conditions. In this regard, recent work by [91] finds that financial institutes in the U.S. adjust their decisions on mortgage securitization in response to climate risks. It is also important to investigate whether mortgages and home insurance pricing adjust following a natural disaster and whether such adjustments affect consumers' decisions. We leave the examination of this notion to future research.

Chapter 3

Five Feet High and Rising: Climate-Related Flood Risk to Residential Lending Portfolios in Canada

This chapter was published as a Bank of Canada Discussion Paper in December 2023 and was co-authored with Craig Johnston, Hossein Hosseini, Marie-Christine Tremblay, Miguel Molico, Brett Lindsay, and Aidan Witts

3.1 Introduction

Extreme weather events can impact the financial system through various channels, including destruction of property and reassessment of the value of a variety of financial assets. This can negatively affect lenders' balance sheets, with potential consequences for the financial system as a whole¹. Climate change is expected to increase the frequency and severity of extreme weather events, potentially exacerbating these impacts in the future. For these reasons, several central banks and financial authorities have undertaken work to better understand the potential implications of these risks². While several challenges related to data and methodological developments still need to be addressed, a greater understanding of how potential current and future extreme weather events may affect financial system entities helps promote a stable and well-functioning financial system³.

One channel through which current and future extreme weather events can influence the financial system is the residential real estate secured lending (RESL) portfolios of financial institutions. The reason for this is that assets used to secure such loans are immobile, repaid over a long period and vulnerable to such events. While Canada experiences many kinds of extreme weather events—including hurricanes, droughts and wildfires—flooding has so far emerged as the most common and costly (Public Safety Canada 2022). A single severe flood event, on its own, could lead to billions of dollars worth of damages to residential properties, and these costs are expected to rise because of climate change.

Against this backdrop, we quantify the financial impacts of current and projected flooding on lenders' RESL portfolios. We do so by building a loan-level dataset using data from federally and provincially regulated financial institutions. We apply shocks to these portfolios using current and projected flood

¹While implications of extreme weather events for the macroeconomy may be important (Duprey, Jo and Vallée forthcoming), we have left the integration of macroeconomic shocks associated with flooding to future work.

²This work belongs to a growing body of research from central banks aimed at evaluating the financial impacts associated with domestic physical risks. Most similar to the present work are assessments published by De Nederlandsche Bank (Caloia and Jansen 2021), Bank of Finland (Manninen et al. 2021), Bank of Latvia (Strazdins and Sinenko 2023), New York Federal Reserve Bank (Blickle, Hamerling and Morgan 2022).

³In addition, a better understanding of transition risk associated with the shift to a low-carbon economy—and potential secondary effects—are also important to the stability and efficiency of the financial system. For recent Bank staff work on climate transition risk, see Bruneau et al. (2023).

events under different climate scenarios based on information from spatially explicit catastrophe models. Given the important role residential insurance plays in the allocation of disaster-related costs across financial market participants, we control for private flood insurance from a variety of property and casualty (P&C) insurers in Canada in our analysis. This work represents a comprehensive and pan-Canadian analysis of the impact of flood risk to the residential RESL portfolios of Canadian financial institutions using loan-level data.

Evidence suggests that the direct damages from flooding generally appear to have a manageable impact on lenders' residential RESL portfolios. This is partly due to homeowner equity and to the recent and rapid rise in house prices. Homeowner equity can provide a buffer to lenders because losses could be recovered if the appreciation of the property was large enough if a flood-related default occurs. Some channels that exacerbate risks to the financial system have nevertheless emerged. Notably, the combined influence of high household debt and lending in flood zones can amplify the risk lenders face from extreme weather events. We find that other disaster-related risk channels—namely, climate change, salvage value price adjustment and time to settlement—may increase risks to lenders.

However, several limitations need to be noted. The most important is related to data limitations, which contribute to a potential underestimation of the flood-related risks to lenders. Notably, the lack of granular data leads us to apply flooding and P&C insurance to properties using average information at the postal code level, potentially smoothing what could be more acute shocks to specific properties. Further, estimates of flood damage exclude potential impacts to the value of land, losses to apartments and condominiums and sea level rise. In addition, we use a simple, deterministic loss-given-default (LGD) formula to estimate the impact of flooding on residential RESL credit risks that may not capture the distinct nature of realized losses for residential RESL portfolios. Finally, we abstract from household dynamics that could influence probability of default. However, mortgage defaults in Canada are exceedingly rare, making it difficult to identify those that are related to floods.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 provides context for flood-related losses to the Canadian residential real estate sector and discusses the flood data we use in our analysis. Section 3 presents the additional datasets used to bridge other gaps in data as well as the methodologies developed to translate current and projected flood events under climate change scenarios into financial impacts. Section 4 presents the results and a sensitivity analysis. Section 5 provides concluding remarks, discusses challenges and limitations to the analysis, and suggests areas for future work.

3.2 Flood-related damage to Canadian residential real estate—State of play and data

To improve our understanding of the financial impacts of extreme weather events to Canadian lenders, we draw on the assessment of flood risk to residential properties in Canada by Public Safety Canada—a leading authority in Canada on modelling and assessing flood-related impacts.

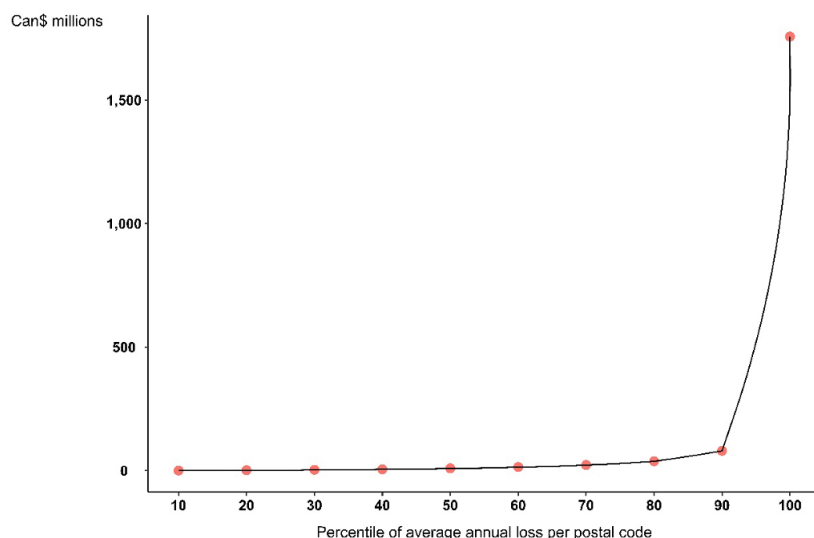
Specifically, Public Safety Canada provided data at the postal code level on average annual loss (AAL). These data include information on the extent of flood-related damage that could be expected, on average, in any given year, and on the occurrence of more severe flood events. Public Safety Canada also provided information on how flood-related damage are expected to evolve under different climate change assumptions. Appendix C.1 provides additional details on Public Safety Canada's dataset, including recent updates to its exposure data, damage estimation methodologies and approach to modelling of future climate scenarios.

Public Safety Canada estimates the average expected flood-related loss to be \$2.97 billion per year when considering both the damages to the structure of residential real estate and the contents within it. Focusing only on the damages to the value of collateral—the residential structures—Public Safety Canada estimates flood-related losses to be \$1.93 billion per year, with most of this loss concentrated in a small fraction of properties. Approximately 89% of Canada's total flood-related damages to residential real estate, excluding damages related to contents, is concentrated in 10% of properties (Figure 3.1). Furthermore, 34% of total national damages are concentrated in only 1% of properties in Canada.

AAL provides an estimate for the average dollar value of flood damage that could be expected to occur in any given year. However, the occurrence of more severe events, such as those with a return period of 100 years, can cause significantly higher damages. Figure 3.2 plots the estimated flood-related damages to residential real estate across different flood events, shown as the percentage of property value

3.2. FLOOD-RELATED DAMAGE TO CANADIAN RESIDENTIAL REAL ESTATE—STATE OF PLAY AND DATA

Figure 3.1: Total average annual flood-related loss to residential real estate across Canada ranked by percentile



Note: Numbers reflect damages to the residential structure only and exclude damages to contents. The total average annual loss is \$ 1,930 million.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom) and Bank of Canada calculations.

Last observation: 2022Q3

damaged for a given flood event. Note that these numbers represent the average impact on property across aggregated geographic areas and may hide important variability across properties. For most areas in Canada, properties are exposed to an AAL that represents less than 0.1% of property value on average. Meanwhile, events with a return period of 100 years lead to greater AAL, with damages to properties in many areas exceeding 10% of their property value. These events are uncommon but can cause significant damages in areas of high exposure.

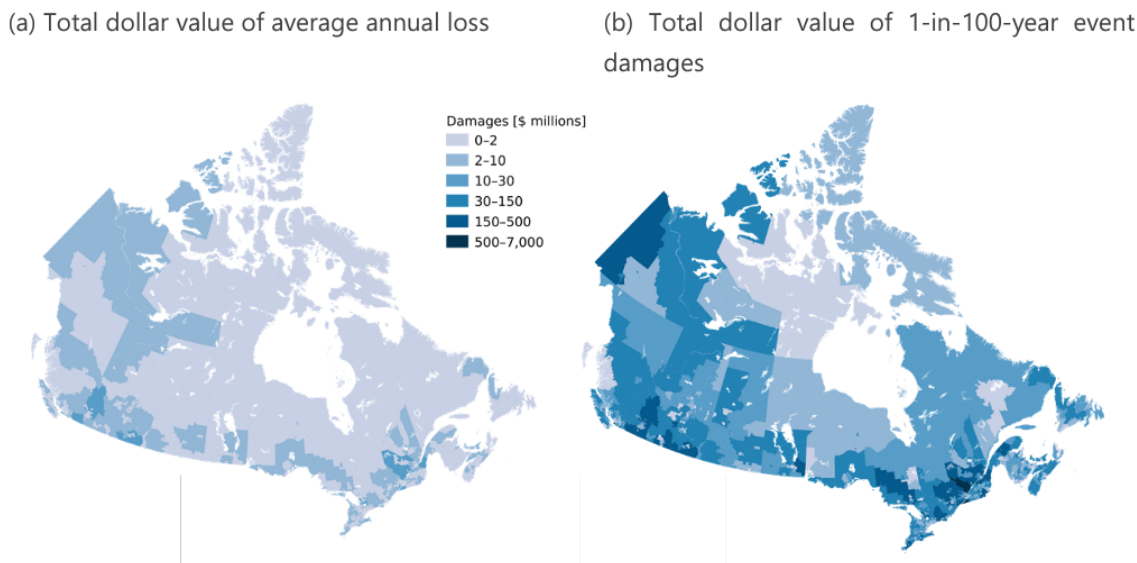
Climate change can further exacerbate the flood-related damages. To assess climate change implications, we use representative concentration pathways (RCPs) which span a large range of future global warming scenarios. RCPs quantify future greenhouse gas concentrations and the radiative forcing—additional energy taken up by the Earth system due to climate change. The present study examined two RCPs—RCP 4.5 and RCP 8.5—with the latter implying more rapid warming and marked changes in the climate⁴.

Figure 3.3 shows the estimated climate-induced change in damages relative to current levels by end of the century by forward sortation area (FSA). The national increase in AAL in Canada is estimated to be 6.7% and 11.9% under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios, respectively. However, this varies significantly across FSAs, with some FSAs expected to experience less than a 1% increase in AAL, while other FSAs are estimated to be exposed to an increase in AAL of greater than 25%. Note that AAL calculations are based on the expected severity and frequency of a distribution of return period flood events⁵. Consequently, AAL mask the variability in the climate-induced change in severity of flood events with different return periods. The severity of an event with a return period of 100 years is expected to increase significantly for most FSAs across Canada, with many FSAs expected to see an increase in damages of over 50% from

⁴More specifically, the RCP 4.5 assumes future emissions that range from low to moderate (a slight increase in carbon dioxide emissions occurs until the middle of the century, then it declines). The RCP 8.5 results in more rapid warming and more pronounced changes in the climate (e.g., river flow, water temperature or precipitation) given the assumption of very high future emissions (by the end of the century, carbon dioxide emissions are three times higher than they are now) (Intergovernmental Panel on Climate Change 2023).

⁵Return periods are a common metric for the occurrence of natural hazards, including floods. They describe how likely a hazard event is to occur at, or above, a given intensity within a time frame defined by a probability. For example, a 1-in-100-year return period means that a flood of a given magnitude has a 1% chance of occurring in any year

Figure 3.2: Current estimated flood-related damages to residential real estate, by forward sortation area



Note: Numbers reflect damages to the residential structure only. A forward sortation area delineates a specific section of a given geographic area and is represented by the first three digits in the six-digit Canadian postal code. Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom) and Bank of Canada calculations.

Last observation: 2022Q3

these events by the end of the century. In our analysis, we hold the frequency of recurrence of events constant and simply measure the change in their severity.

3.3 Methodology for assessing financial risks

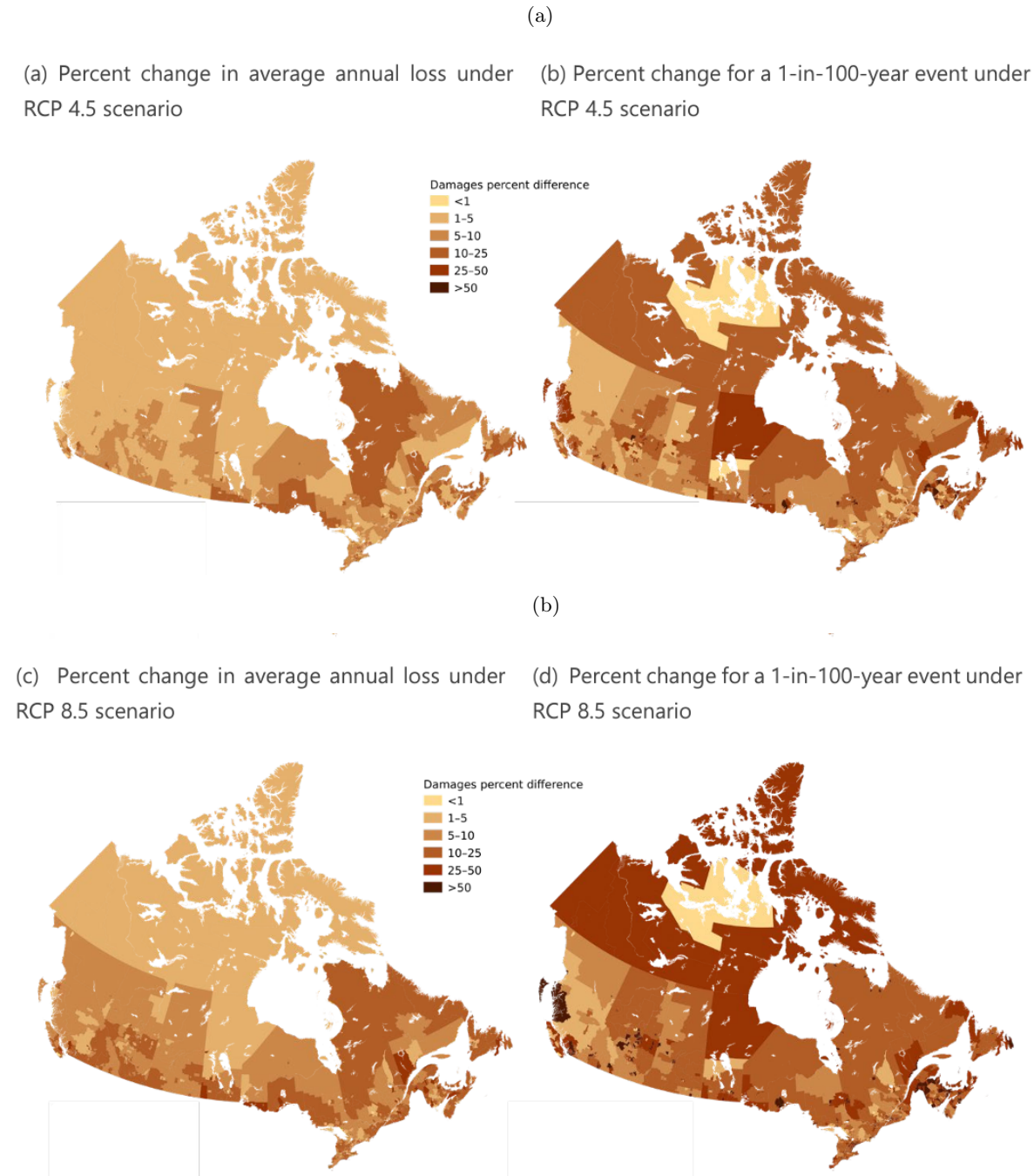
Figure 3.5 presents a high-level overview of the methodology we use to conduct the financial risk assessment.

3.3.1 Residential real estate secured lending and property and casualty insurance

In addition to detailed flood-related datasets, assessing the exposure of lenders' residential RESL portfolios to climate-related flood events requires detailed and granular data on their residential real estate secured lending. Furthermore, understanding how P&C insurance mitigates risks, including for homeowners in the event of a flood, is equally informative. To address these data gaps and challenges, the Bank of Canada and the Office of the Superintendent of Financial Institutions (OSFI) partnered with five provincial regulatory authorities and nine P&C insurers.⁶

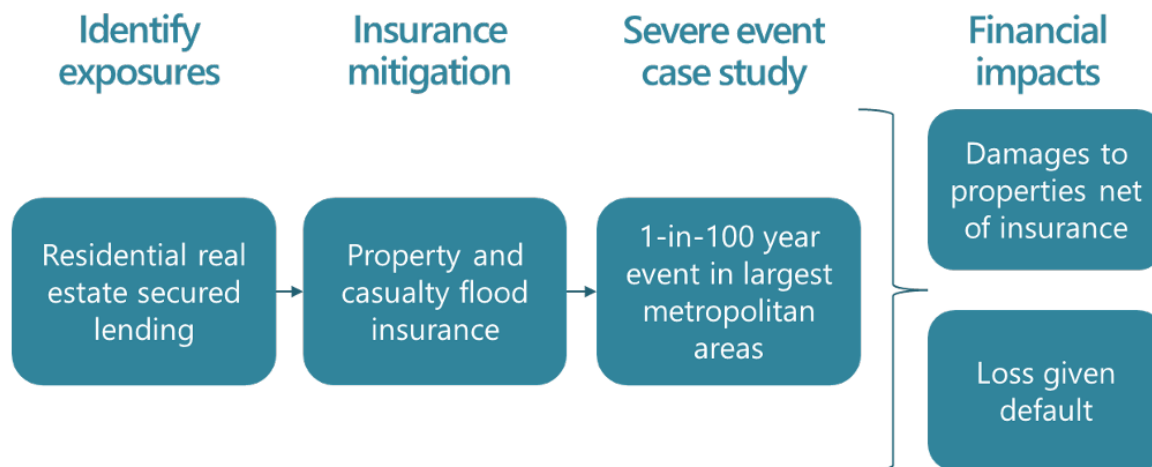
⁶Data were provided by federal and provincial regulators, including the Office of Superintendent of the Financial Institutions, BC Financial Services Authority, the Alberta Credit Union Deposit Guarantee Corporation, the Alberta Ministry of Treasury Board and Finance, the Financial Services Regulatory Authority of Ontario and the Autorité des marchés financiers, and property and casualty insurers, including Aviva Canada, Beneva, Co-operators General Insurance Company, Definity Financial Corporation, Desjardins Groupe d'assurances générales inc., Intact Insurance Company, TD Insurance and The Wawanesa Mutual Insurance Company

Figure 3.3: Total average annual flood-related loss to residential real estate across Canada ranked by percentile



Note: RCP means representative concentration pathways. Damages refers only to structural damages. A forward sortation area delineates a specific part of given geographic area and is represented by the first three digits in the six-digit Canadian postal code. Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom) and Bank of Canada calculations

Figure 3.4: Current estimated flood-related damages to residential real estate, by forward sortation area



Residential real estate secured lending

The residential RESL data included anonymized loan-level information across a total of 63 lenders.⁷ This dataset included useful features such as the outstanding balance and credit limits on the anonymized mortgage loans and home equity lines of credit, the postal code of the property used as collateral, and the date and value of the latest property evaluation. No personal information was included in the dataset to retain the anonymity and privacy of data. Since the time frame for the latest property valuation may differ across all the loans, we leveraged data from the Teranet–National Bank House Price Index to update all property values to the third quarter of 2022 so we could use a common time frame.

In Canada, homeowners who borrow against their property will typically hold a mortgage, a home equity line of credit or both. We therefore track all loans securitized against a single property. We combine this residential RESL dataset with Public Safety Canada’s flood dataset, which allows us to examine the resiliency of financial institutions’ residential RESL portfolios to the occurrence of different flood events.

In total, we include 7.7 million residential properties in our sample. Most borrowers take out loans secured against their properties from one of the six domestic systemically important banks.⁸ These financial institutions tend to have less concentration in residential lending than other smaller banks or credit unions. This diversification into other assets and business lines could potentially mitigate the losses associated with acute physical risk events, such as flooding. Conversely, financial institutions that have portfolios concentrated in residential lending could face higher losses from such events. Therefore, including a diverse set of residential real estate lenders in the assessment was crucial to identifying lender’s potential exposures and subsequent resiliency resulting for the realization of different flood events (Table 3.1).

Property and casualty insurance

In Canada, homeowners can choose to purchase home insurance from private P&C insurers to protect residential buildings, outbuildings and contents and to cover additional living expenses associated with the occurrence of an insurable risk. Also, most lenders require proof of home insurance for a property to obtain a loan.

⁷To support this work, financial data from selected financial institutions from each participating regulator were provided. These data were anonymized at the source—all personally identifiable information, such as the name of the borrower, property address, was excluded. While the data included in this analysis are not comprehensive, they nevertheless cover a large fraction of all residential RESL loans in Canada.

⁸The six domestic systemically important banks are the Bank of Montreal, Bank of Nova Scotia, Canadian Imperial Bank of Commerce, National Bank of Canada, Royal Bank of Canada and Toronto-Dominion Bank.

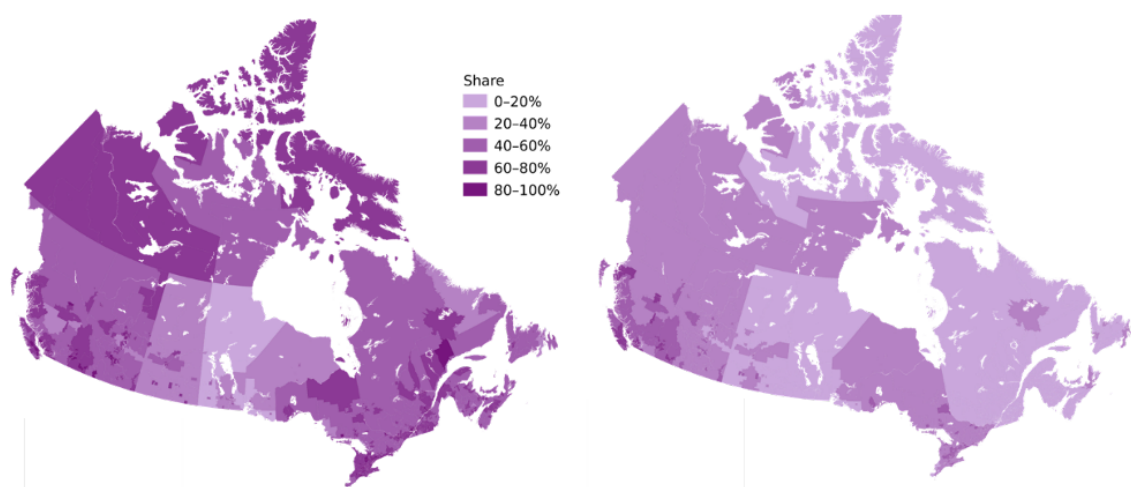
Table 3.1: Overview of exposure data and financial institutions in scope

	Number of lenders	Number of properties (millions)	Average RESL concentration (to total assets)
Domestic systemically important banks	6	6.2	20%
Small and medium-sized banks	18	0.5	57%
Credit unions	39	1.0	56%
Total	63	7.7	53%

Figure 3.5: Household flood insurance

(Left: Share of households with additional coverage on top of base home insurance)

(Right: Flood insurance amount as a share of total insurable value, by forward sortation area)



Note: A forward sortation area delineates a specific part in a given geographic area and is represented by the first three digits in the six-digit Canadian postal code. Sources: Participating property and casualty insurers and Bank of Canada calculations

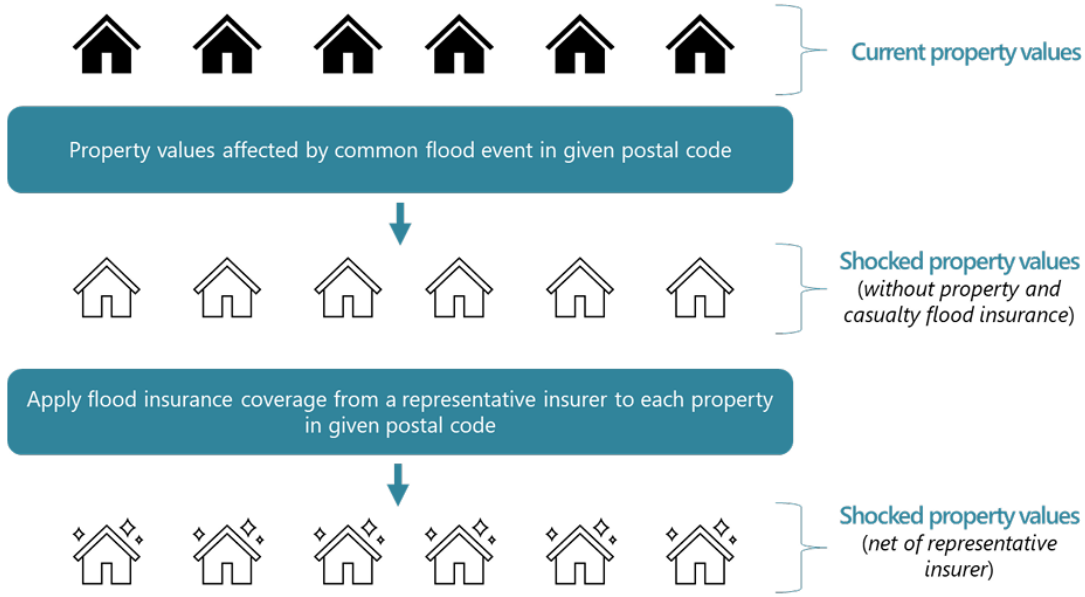
P&C insurers offer a range of home insurance products, which include different types of policies and vary in the risks they cover. For instance, typical home insurance will cover water damage associated with plumbing leaks but might exclude sewer backup and overland flooding. Homeowners are not required to purchase flood insurance but can elect to purchase an optional flood policy to enhance their base home insurance policy. These policies range in price, type of coverage and insurable value.

While flood insurance has the potential to protect homeowners if a flood occurs, the level and location of such coverage remains unknown to us. To fill this gap, we approached P&C insurers to ask them to voluntarily provide relevant data elements of their flood insurance policies. We obtain point-in-time data from nine Canadian P&C insurers, reflecting home insurance and optional flood policies active during the third quarter of 2022. We calculate that 58% of residential homeowners in Canada elect to have home insurance through one of these insurers and that 38% of homeowners choose to have an additional flood policy.

The data provided by the nine participating P&C insurers reflect information anonymized at the postal code level.⁹ Because connecting an insurer's flood coverage with a specific property is not possible in our analysis, we generate a representative insurer. This representative insurer offers policies that vary across postal codes. We calculate the policy coverage and deductible as a weighted average of observed coverage and deductibles across all insurers active in a postal code. The insurer's market share in each

⁹We conduct the analysis at the postal code level to ensure accurate mapping flood risk to residential properties. However, charts present data and results aggregated at the forward sortation area as agreed with data providers.

Figure 3.6: Overview of approach to calculation damages to properties and coverage from property and casualty insurance



postal code determines the weights. Figure 3.5 provide a snapshot of this representative insurer. The charts show the share of households that take up an additional flood coverage on their property as well as the intensity of that coverage, measured by the flood policy sublimit as a share of total insurable value.

3.3.2 Translating flood events into financial impacts

To translate flood events into financial impacts, we consider the unrepaired flood-related damages to residential structures, after controlling for private P&C flood insurance. For lenders, these unrepaired damages translate into losses that we account for in LGD while controlling for both mortgage loan insurance and P&C flood insurance. LGD measures the total loss a lender faces in the event a borrower defaults on a loan. Figure 3.6 provides an illustration of how we apply flood damages and the representative insurer to individual properties.

Recoverable and unrecoverable damages

After a flood event, property owners choose to make an insurance claim and receive a payment (pay_i) if the damage to their property exceeds their insurance deductible ($deduct_i$). Given that we cannot observe whether a property is covered by P&C insurance, we divide damages (d_i) into a recoverable amount and an unrecoverable amount (Equation 3.1 and Equation 3.2), respectively, where d_i^r represents the recoverable portion and d_i^u represents the unrecoverable portion. These two amounts vary across postal codes and are a function of the flood insurance take-up rate. In other words, the observable share of homeowners in a postal code who opt to purchase an additional flood insurance policy ($\sum_{i=1}^1 (n_i | \text{flood insurance} = 1)$) over the total number of properties ($\sum_{i=1}^1 n_i$).^{10 11} While we may not be able to adequately capture the property specific insurance coverage, our method of dividing damages allows us to capture the aggregate role of insurance at the postal code level. We calculate the damages applied to individual property i along with the insurance condition using Equation 3.

¹⁰In Canada, certain types of hazards, like flooding, require policy holders to purchase additional coverage to increase their base home insurance policy to insure their property against risks that are not covered.

¹¹We calculate the take-up ratio for hazard-specific insurance using all residential properties, excluding non-mortgaged properties, in a postal code. We follow this approach to avoid the selection bias that could occur if we only consider the insurance habits of mortgaged properties.

$$d_i^r = d_i \times \frac{\sum_{i=1}^1 (n_i | \text{flood insurance} = 1)}{\sum_{i=1}^1 n_i} \quad (3.1)$$

$$d_i^u = d_i - d_i^r \quad (3.2)$$

$$d_i^{\text{unrepaired}} = \begin{cases} ccd_i^u + (d_i^r - pau_i + deduct_i), & \text{if } d_i^u + d_i^r > deduct_i \\ d_i, & \text{else} \end{cases} \quad (3.3)$$

We assume that any damage that exceeds the insurable amount—or is uncovered by insurance—is left unrepaired after the insurance payout. This unrepaired damage ($d_i^{\text{unrepaired}}$) adversely affects the value of the property by that same amount.

Loss given default

We adopt a simplified approach to calculate LGD and apply this to all lenders. This is partly because we do not have access to many of the lender-specific LGD methodologies. This approach also enables us to isolate the impacts of flooding on financial outcomes without further confounding the results with various LGD methodologies. However, we acknowledge that our LGD calculations may differ from the estimates obtained from lender-specific methodologies.

To begin, we divide LGD into two components (Equation 3.4): gross loss amount (GLA) and net recoverable amount (NRA). The GLA component (Equation 3.5) captures all the losses the lender faces when holding a defaulted property. This includes the remaining and unpaid balance on the loan (b_i), the accrued interest and time to settlement (r_i and t) and various costs associated with holding the property, such as property taxes (tax), maintenance fees ($maint.$) and property insurance ($insure$), which are a function of the property value (v_i), as well as legal costs ($legal$) and any unrepaired damages from flooding ($d_i^{\text{unrepaired}}$). The NRA component (Equation 6) of the LGD includes any amount the lender may recover from the sale of the property, net of the fees. Finally, we assume no losses for properties where the NRA exceeds the GLA; in other words, when the sale of the property net of fees is greater than the associated losses from the default.¹²

$$LGD_i = \begin{cases} GLA_i - NRA_i, & \text{if } GLA_i > NRA_i \\ 0, & \text{if } GLA_i \leq NRA_i \end{cases} \quad (3.4)$$

$$GLA_i = b_i + b_i \left(\left(1 + \frac{r_i}{12} \right) - 1 \right) + v_i \times \frac{t}{12} \times (tax + mrate + insure) + legal + maint. + d_i^{\text{unrepaired}} \quad (3.5)$$

$$NRA_i = v_i \times (1 - depreciation) \times (1 - real\ estate\ commission) - appraisal\ fee \quad (3.6)$$

We also control for the role of mortgage loan insurance. Unlike P&C insurance, mortgage loan insurance protects lenders from losses if a borrower defaults on their mortgage. In Canada, borrowers are typically required to purchase mortgage loan insurance if the loan-to-value (LTV) ratio is greater than 80% at origination. Mortgage lenders may also purchase mortgage loan insurance for portfolios of mortgages with LTVs at or below 80%. We assume that mortgage loan insurance covers losses from accrued interests and outstanding balances and that it excludes unrepaired damages from the flood events.¹³

Thus, Equation 3.7 defines the GLA for properties with mortgage loan insurance:

$$GLA_i^{\text{mortgage insured}} = d_i^{\text{unrepaired}} \quad (3.7)$$

In this analysis, impacts from flooding on lenders' residential portfolios are presented as the change in LGD relative to LGD under current average annual loss (Equation 3.8). In other words, we assume

¹²This assumption is consistent with reality because a lender would not incur losses on a loan after a homeowner default if the property value was great enough that it could cover the repayment of the outstanding loan(s) and cover all incidental fees and cost associated with the default.

¹³This assumption is in line with the practice followed by the Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC)—Canada's largest mortgage loan insurance provider CMHC does not cover losses from damages due to natural disasters (CMHC 2016).

Table 3.2: Summary of parameters and assumed values in calculations of loss given default

Parameter	Variable	Assumed value
Interest rate (%)	r_i	<i>Observed loan rate</i>
Time to settlement (months)	t	12
Property tax (%)	tax	2
Insurance rate (%)	<i>insure</i>	3
Fixed maintenance cost (\$)	<i>maint.</i>	2,000
Legal (\$)	<i>legal</i>	5,000
Real estate commission (%)	<i>realestatecommission</i>	5
Appraisal fee (\$)	<i>appraisal fee</i>	500
Property value depreciation post severe flood (%)	<i>depreciation</i>	0

that the current average annual loss reflects the current flood risk landscape and is already embedded into existing LGD numbers for each loan. It is important to note that our analysis abstracts from the role of household dynamics, and its influence on the probability of default. Mortgage defaults in Canada are exceedingly rare, making it difficult to identify flood-related defaults.

$$\Delta LGD_i = LGD_i^{shock} - LGD_i^{AAL} \quad (3.8)$$

Time to settlement and depreciation of property value after a flood event, in particular, influence the LGD calculations in our analysis, but they prove to be highly uncertain.¹⁴ We explore the sensitivity of the results to alternative parametrization in section 3.4.2.

3.3.3 Severe event case study

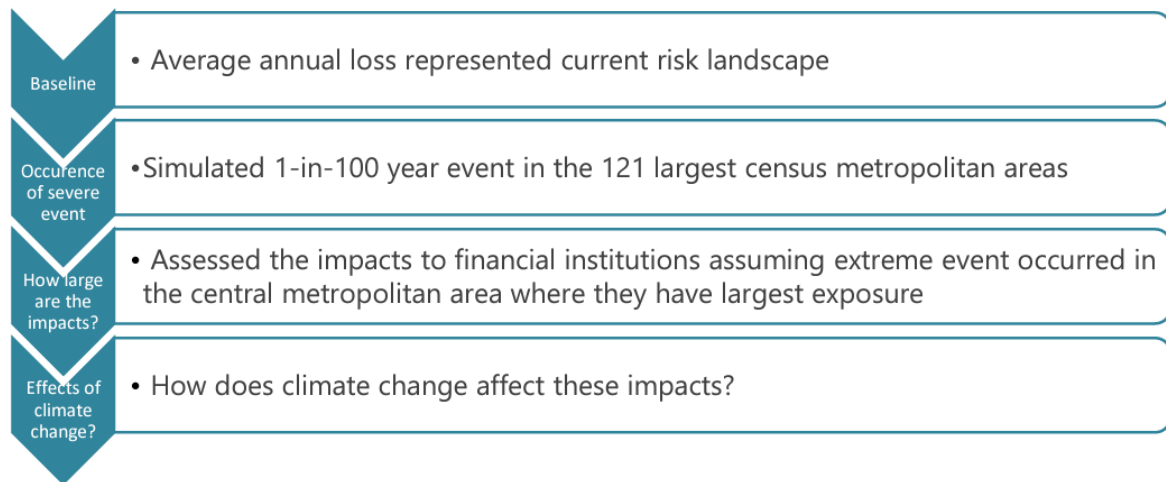
We assess the potential financial risks from flooding in Canada using two types of flood events. The first relates to an event that could be expected to occur, on average, in any given year, as presented earlier with AAL as the corresponding measure of damages. AAL allows us to capture the expected damages from a specific flood each year and to estimate the current level of flood risk. This type of event serves as the baseline for the financial risk assessment.

We assess the resilience of lenders to flooding by simulating a severe flood affecting the properties that are used as collateral in their residential lending portfolios. We examine this using a plausible but stressful 1in-100-year flood event. This type of event occurs annually with a 1% probability, which is equivalent to happening once in every 100 years. However, this does not imply that this type of event can only occur once every 100 years. In fact, as climate change accelerates, an event that was expected to happen once in 100 years could occur more frequently.

Given that weather events tend to be localized, we consider the occurrence of localized severe weather events rather than a nation-wide one. To do so, we simulate city-specific severe events for each lender, looking at catastrophic events taking place across 121 census metropolitan areas in Canada. We identify the city where that lender's borrowers experience the largest damages because this would represent the most potentially stressful event to a lender's portfolio. We then assess the financial impacts on only the affected portion of the lender's residential RESL portfolio using LGD. This allows us to determine lender specific exposures to a particular flood hazard as well as the lender's resilience to it. Thus, our results show the impacts across all lenders for each census metropolitan area. In section 4.2.2., we consider the additional effect that climate change can have on lenders' LGDs. We do this by bringing forward future climate events to today's portfolios (Figure 3.7).

¹⁴For simplicity, we assume a common time-to-settlement period of 12 months. However, in the case of an extreme weather event with several defaults, the average time to settlement could be longer. We also note that the foreclosure process is not uniform across Canada. Some provinces use a judicial foreclosure process, while others primarily use a power of sale—a process where the lender can sell property that is in arrears on behalf of the borrower. The processes vary significantly depending on the province, property and situation of the borrower, which means that the time between a first missed payment and sale of the property can be as short as three to four months or be more than one year.

Figure 3.7: Outline of case study of an extreme weather event



3.4 Results

3.4.1 Lenders' annual expected risk from flooding

Nearly half of the average annual expected flood-related damages to residential real estate in Canada affected properties used as collateral on residential loan products. Table 3.3 highlights the scope of average annual expected damages to residential properties under two climate change scenarios, namely RCP 4.5 and 8.5, by the year 2100. The current structural damages expected from flooding to all residential properties in Canada totalled \$1.9 billion in any given year.¹⁵ Of these damages, approximately \$940 million fall within the scope of our analysis and are expected to affect properties that hold at least one residential loan product.

Table 3.3: Description of flood hazard data—average annual loss

	Total damages in Canada (millions)	Total damages to properties in scope (millions)
Current	\$1,930	\$940
By the year 2100 with 2 warming (RCP 4.5)	\$2,060 (+6.7%)	\$1,004 (+6.8%)
By the year 2100 with 2 warming (RCP 8.5)	\$2,160 (+11.9%)	\$1,055 (+12.2%)

Note: RCP means representative concentration pathways “Damages” refers only to structural damages. Numbers in parentheses denote percentage change from current levels.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and casualty insurers and Bank of Canada calculations.

The risk to lenders from flooding depends on several factors. These include the value of residential RESL in their portfolios, the concentration of that RESL in flood zones and the level of borrower equity (Table 3.4).¹⁶ Flood zones are defined as postal codes where AAL damages as a percentage of property values are in the 90th percentile. Lenders with the highest and lowest concentration of their business in

¹⁵When damages to residential contents are included, Public Safety Canada estimates losses to equal \$2.92 billion (Box 1)

¹⁶We assess borrower equity by using the loan-to-value (LTV) ratio—a common measure for determining the level of indebtedness relative to the collateral value. The LTV ratio of a property is calculated by summing across all mortgage balances, adding 75% of the limit for home equity lines of credit, and dividing by the value of the property.

residential RESL tend to have the lowest level of lending in flood zones. This suggests that some lenders could be actively managing their risk. However, a portion of lenders with a high level of residential RESL lending continues to offer loans in areas more susceptible to flooding.

Table 3.4: Concentration and share of lending in flood zones of lenders

			Average	Maximum	
	$\geq 80\%$	9	4%	8%	39 %
Concentration of lending in residential real estate secured lending	60%-80%	16	8%	62%	38 %
	40%-60%	18	13%	65%	38 %
	20%-40%	15	15%	97%	31 %
	$<20\%$	5	5%	7%	29 %

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data and Bank of Canada calculations

That said, almost all financial institutions in our sample had active residential RESL lending in flood zones (Table 3.4). This implies that almost all lenders have some segment of their residential portfolio at risk of a flood. For many lenders, this represents less than 30% of their residential lending portfolios. However, some lenders, which may be more geographically concentrated, have more than 50% of their lending to borrowers with properties in flood zones. This can increase the likelihood of having distressed borrowers, especially if many are in the same flood zone. Properties located in flood zones are expected to experience, on average, four times more damages than those not located in flood zones. Given the geographical size of Canada, the variations of topology and hydrology can lead to large ranges of potential impacts from flooding. Chart 3.8 presents the distributions of AAL damages across residential properties with at least one residential lending product. This chart shows the highly uneven nature of flooding in Canada. It highlights the elevated annual damages that are expected to accumulate, on average, to properties located in flood zones. This sheds light on the risk associated with properties located in flood zones. However, to address privacy and confidentiality concern, we average the flood damage to the postal code level, potentially smoothing what could be more acute shocks to specific properties.

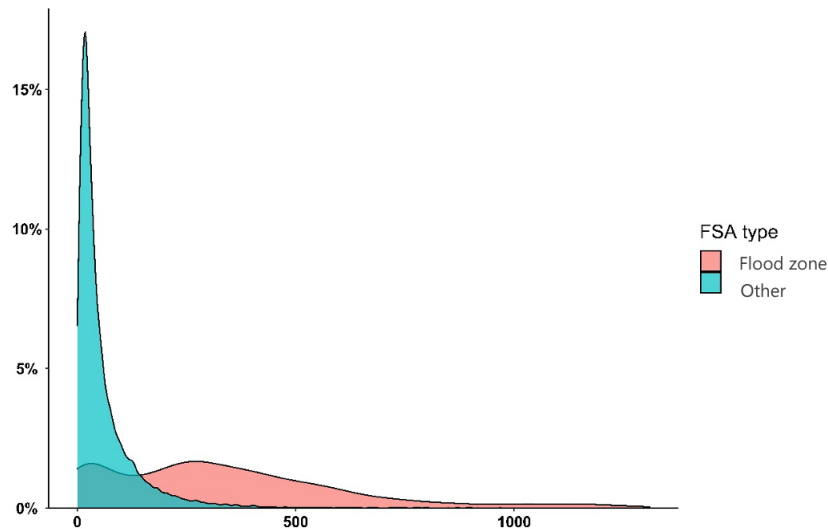
Overall, the average LTV ratio across all borrowers for most lenders remains relatively low (Table 3.4). An LTV ratio lower than 50% implies that the borrower has 50% equity in their home. This equity is important because it can help borrowers buffer certain shocks, including those from extreme weather events. In addition, a lender's exposure to losses from a default are lower when borrowers have more equity.

We find that the risk to lenders from AAL seems manageable. On average, the financial impacts lenders face from flood events are small, representing an annual expected loss equal to 0.07% of their outstanding residential RESL balances (Chart 3.9). Even for the top 10% of lenders, the expected impacts represent less than 0.25% of their outstanding balance in any given year. The relatively small levels of flood damages expected in a year appear manageable because many lenders:

- do not rely only on residential RESL
- have less than 30% of residential RESL in flood zones
- have borrowers who, on average, have strong equity positions

Lenders nevertheless need to regularly assess and manage their flood-related risks. In this section, we highlight the risks lenders face from expected flooding in a given year. However, managing risk associated with flooding requires lenders to account for potential losses from risks associated with extreme events. In addition, the risk from these events implies that the effects can be highly uneven, affecting properties located in flood zones more profoundly. Hence, lenders who wish to manage their flood risk also need to isolate the impacts using granular data.

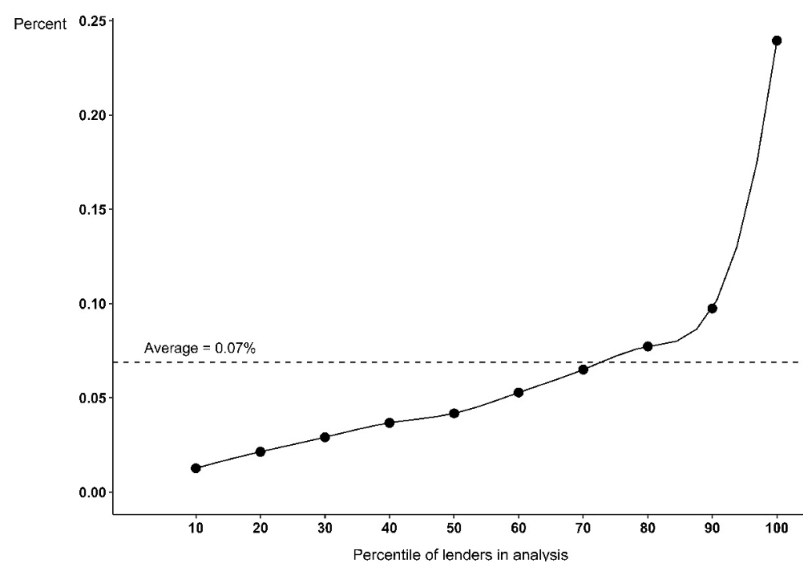
Figure 3.8: Distribution of damages per property under current average annual loss



Note: The tail of the flood zone distribution extends beyond what is observed in the chart. "Damages" refers only to structural damage. We calculate the results net of representative property and causality insurance.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data and Bank of Canada calculations

Figure 3.9: Distribution of lenders' average total annual loss as a share of total outstanding balance residential real estate secured lending



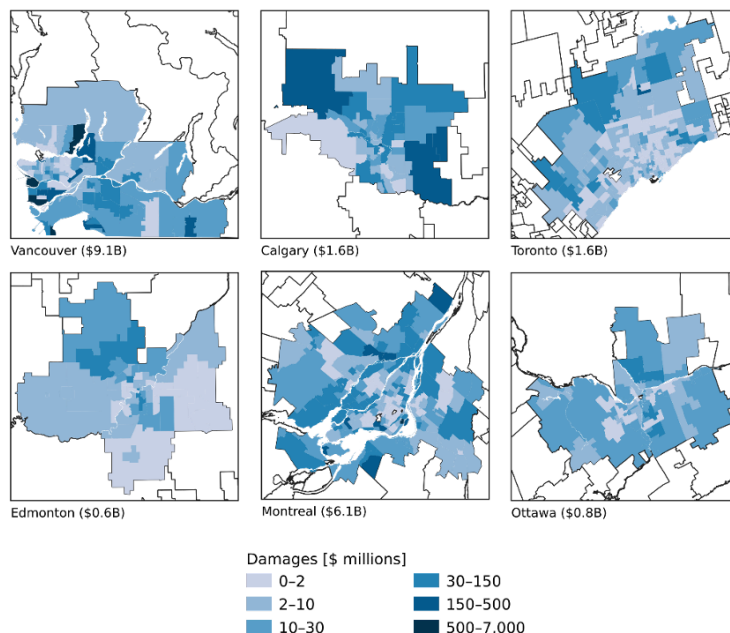
Note: Results are calculated net of representative property and causality insurer.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

3.4.2 Case study of a severe event: simulating a 1-in-100-year flood

To better understand the impacts to lenders from extreme floods, we develop lender-specific case studies by simulating a severe flood only to the segment of each lenders' portfolio most at risk.

Figure 3.10: Example of simulated 1-in-100-year flood events across six select census metropolitan areas



Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

Current occurrence

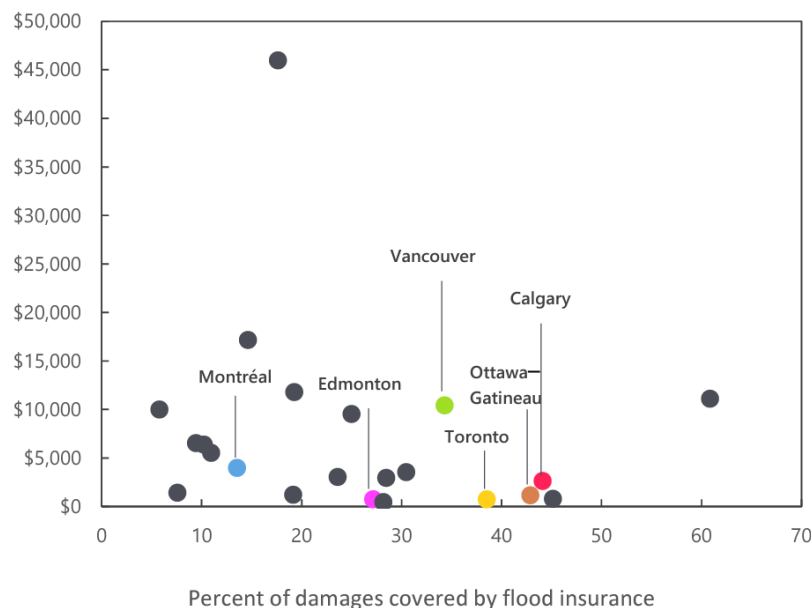
A severe, localized flood event can lead to billions of dollars in damages to residential properties. For instance, we estimate that such an event would cause approximately \$9.1 billion in residential damage in Vancouver, \$6.1 billion in Montréal and \$1.6 billion in Calgary (Figure 3.10). For owners of residential property, the magnitude of the damages depends on whether the residence is in a flood zone. On average, the properties we include in the severe case study experienced approximately \$4,800 in damages from a 1-in-100-year flood. For those properties in flood zones, this average reached approximately \$29,000. In contrast, the expected annual damages calculated from AAL is approximately \$230 for the same properties. The difference in magnitude produced by a severe flood highlighted the need to consider several events when conducting climate risk assessments.

The ability of households to cope with a severe flood event also depends on the availability and level of insurance coverage. Flood insurance coverage and take-up varies across Canada. We show that flood insurance in cities affected by a severe flood almost always covered less than 50% of damages on average (Chart 3.11). In addition, this coverage was below 20% of damages in some cities, pointing to potential financial distress for some households should coverage be insufficient or unaffordable. Flood insurance can play an important role in reducing the risk of default that may arise if households face large-scale damages.

Overall, we find that many lenders have high exposures to a single severe flood event. For over half of lenders, a single large-scale severe flood affected properties that made up more than one-third of their residential RESL portfolio (Chart 3.12). For some lenders, this exposure was even greater. In fact, for 10% of lenders, 80% of their residential RESL portfolios would be affected by a single event.

Despite lenders' high exposures to a single severe flood, these events produce modest changes to lenders' LGDs. We find that severe floods lead to increases in lenders' LGD relative to the baseline LGD,

Figure 3.11: Average percentage of property damage covered by insurance by census metropolitan area
For properties selected in the severe case study



Note: For exposition, we highlight the average insurance coverage for the census metropolitan areas of Calgary, Edmonton, Montréal, Ottawa–Gatineau, Toronto and Vancouver, as identified in Chart 3.10.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations
 Last observation: 2022Q3

which we assume is incorporated in the expected annual flood losses as described in Equation 3.8. In fact, the transmission of property damages resulting from a severe flood increased lenders' LGD as a share of their outstanding balance by approximately 0.24 percentage points, on average (Chart 3.13).¹⁷

These modest effects on lender LGDs were partly due to homeowner equity and the recent rapid rise of house prices. On the one hand, most borrowers had spent several years paying down their mortgages and building equity in their homes. This helped buffer them from shocks and led to smaller changes in LGD relative to borrowers with current total current LTVs above 80% who have less equity (Table 3.5).¹⁸ On the other hand, the rapid rise in house prices provided a buffer to lenders, who could recover their losses if a default were to occur and the property had appreciated enough.¹⁹

However, a segment of residential loans remains more sensitive to severe flood events. Highly indebted households have long represented a key vulnerability to the financial system (Cateau, Roberts and Zhou 2015). These households have less equity to buffer them when a shock occurs. Severe flooding is an example of such a shock. Those borrowers with total current LTVs above 80% induced larger losses to lenders relative to borrowers with total current LTVs below 80% (Table 3.5).

Furthermore, when highly indebted households are in flood zones, losses are magnified. Approximately 13% of properties affected by the simulated severe flood are in flood zones.²⁰ Damages in these zones induce higher losses for lenders, increasing them by 0.2 percentage points to 2.1 percentage points for properties with loans that have a high LTV ratio (Table 3.6).

¹⁷For example, a lender with a pre-flood average portfolio LGD of 30% would become 30.24%

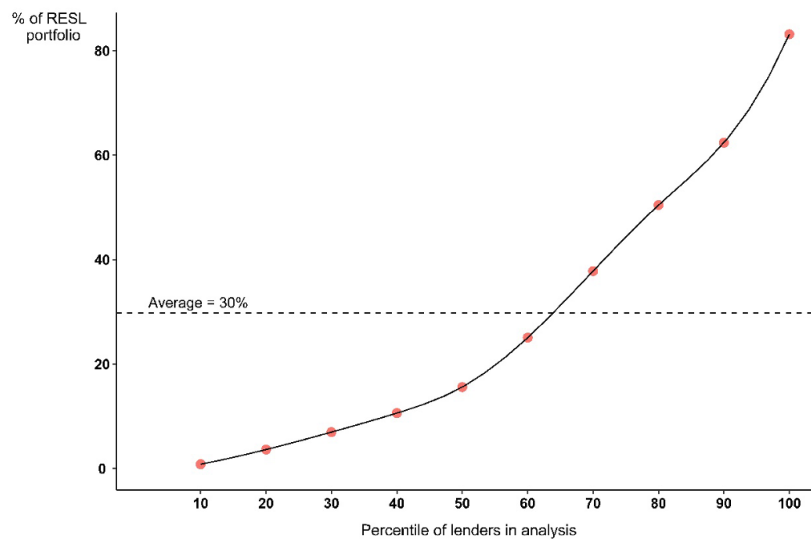
¹⁸Total current LTV refers to the current total value of outstanding balances for all loan products secured against a property, divided by the current home value.

¹⁹National residential house prices rose rapidly from 2020 to early 2022.

²⁰Across Canada, 10% of residential properties are in flood zones. However, the simulated severe case study focused on a subset of properties located in areas where lenders would face worse potential losses. Hence, a slightly higher share of properties located specifically in flood zones are affected.

3.4. RESULTS

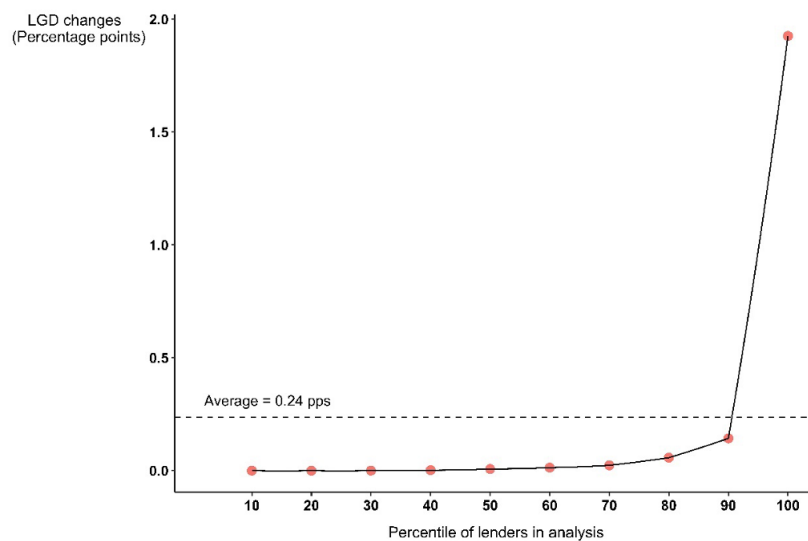
Figure 3.12: Distribution of the proportion of residential real estate secured lending portfolios affected by simulated 1-in-100-year case study



Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

Figure 3.13: Distribution of change in loss given default across lenders for portion of residential real estate secured lending portfolio affected in the severe case study

Loss given default as a share of outstanding balance for properties affected by 1-in-100-year flood



Note: Losses refers only to those incurred from structural damage. Change in loss given default (LGD) is calculated as the difference between 1-in-100-year LGD and the baseline LGD, which assumes an environment with average annual losses (Equation 8). We calculate results net of the representative property and causality insurer.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

Table 3.5: Average impact on loss given default as a share of outstanding balances from 1-in-100-year severe case study floods

	Change in LGD (pps)	Proportion of balances in severe case study
Total current LTV ratio $\leq 80\%$	0.2	94%
Total current LTV ratio $> 80\%$	0.4	6%

Note: LGD means loss given default. PPS means percentage points. Total current loan-to-value (LTV) ratio refers to the total outstanding balances for all loan products secured against a property, divided by the home value. We calculate results net of the representative property and causality insurer.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

Table 3.6: Impact on loss given default as a share of outstanding balances for 1-in-100-year flood

Percentage point change from baseline (Proportion of balances in severe case study)

	Other	Flood zone
Total current LTV ratio $\leq 80\%$	0.05 (81.5%)	0.8 (12.6%)
Total current LTV ratio $> 80\%$	0.2 (5.2%)	2.1 (0.7%)

Note: Total current loan-to-value (LTV) ratio refers to the total outstanding balances for all loan products secured against a property divided by the home value. We calculate results net of the representative property and causality insurer.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

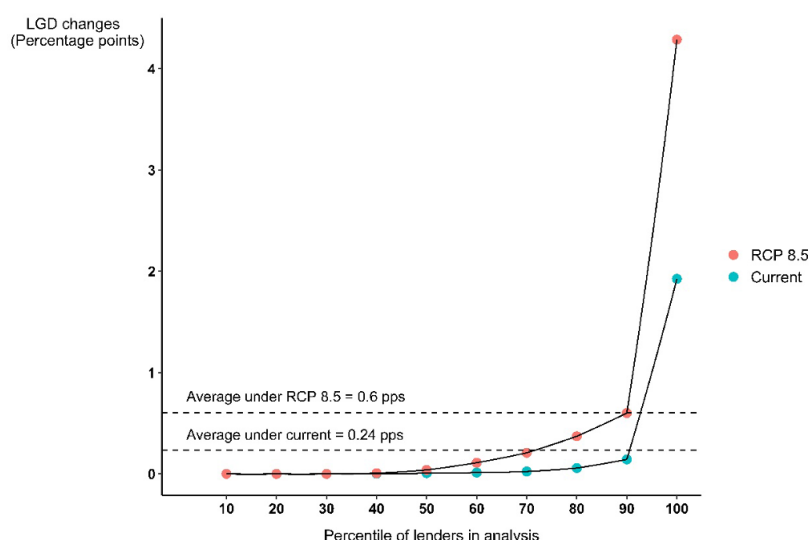
Role of further climate change

The change in lenders' LGD associated with localized severe flood events increased with climate change. The transmission of property damages resulting from a severe flood under climate change scenario RCP 8.5 increased lenders' LGD as a share of outstanding balance by approximately 0.6 percentage points on average compared with 0.24 percentage points under current conditions (Chart 3.14). Lenders face higher physical risks in the tail of the distribution. That is, the shift in lenders' LGD from severe events under the climate change scenario is largest for those lenders currently exposed to the damages from severe events.

As climate change continues to accelerate, more people and assets will become exposed (Intergovernmental Panel on Climate Change 2023). In our analysis, climate change expands flood zones into new areas, increasing the number of FSAs in flood zones by 16%. These new flood zones represent a 27% rise in the number of properties exposed to high levels of damages from floods. These newly exposed properties increase total damages by 7%. In addition, climate change could intensify the severity of floods. The increase in total damages due to intensifying floods faced by properties located in high-risk zones is approximately 33% (Table 3.7).

Figure 3.14: Distribution of change in loss given default across lenders for portion of residential real estate secured lending portfolios affected in a severe case study, under current and projected flood events under climate change scenario RCP 8.5

Loss given default as a share of outstanding balance for properties affected by 1-in-100-year flood



Note: LGD means loss given default. RCP means representative concentration pathways. “Losses” refers only to those incurred from structural damage. We calculate results net of the representative property and causality insurer.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

Sensitivity of parameters

Other channels can exacerbate financial impacts from floods, particularly for properties with loans that have a high LTV ratio. We focus on two elements related to changes in housing market dynamics:

- a depreciation in house prices
- longer time to settlement associated with mortgage defaults

First, a depreciation in house prices could affect households' equity position and increase lenders' losses. As noted above, households with lower equity positions in their homes tend to transmit larger

Table 3.7: Impact of climate change by end of the century (RCP 8.5) relative to today in flood zones

Increase in flood zone forward sortation areas	+16%
Increase in properties in flood zones	+27%
Increase in damages from properties moving into flood zones	+7%
Increase in damages to properties already in flood zones	+33%

Note: RCP means representative concentration pathways. We calculate results net of the representative property and causality insurer.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

losses to lenders (Table 5), especially if these are in flood zones (Table 6). As well, a reduction in the value of the property lowers the portion of lenders losses that are recoverable (Equation 6). Assuming a 10% house price depreciation, we find that a severe flood increased LGDs for highly indebted borrowers by 3.8 percentage points, bringing the impacts from LGD from 0.4 to 4.2 percentage points.²¹

Second, longer time to settlement after a default will increase losses for lenders. This is due to higher costs associated with holding the defaulted property, such as property taxes, maintenance costs and accrued interest (Equation 5). By increasing time to settlement from 12 months to 18 months, we find that the transmission of damages from a severe flood to LGDs increased by 4.2 percentage points for loans with a high LTV ratio (Table 3.8).

Table 3.8: Average impact on loss given default from a severe flood under different model specifications

	Total current LTV ratio $\leq 80\%$	Total current LTV ratio $> 80\%$
House price depreciation of 10%	+0.1	+3.8
Increase in time to settlement by 6 months	+0.2%	+4.2%
Simultaneous 10% house price depreciation and increase in time to settlement by 6 months	+0.5	+13.0

Note: RCP means representative concentration pathways. We calculate results net of the representative property and causality insurer.

Sources: Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada and their external data partners (DMTI Spatial, Opta Information Intelligence, KatRisk LLC, JBA Risk Management and Fathom), provincially and federally regulated lender data, property and causality insurers and Bank of Canada calculations

Taken together, these modest changes in housing markets can amplify losses lenders would face from a severe flood event. This is especially evident for highly indebted households. Under current economic conditions, a severe flood affecting properties with total current LTV ratios above 80% induces a 0.4 percentage point increase in losses for lenders (Table 3.5). However, under a weaker housing market, the transmission of flood losses increases by 13 percentage points (Table 3.8). It is therefore imperative that lenders continue to actively manage their risks from the physical risks of climate change.

²¹In Canada, little research has been done to identify home price changes after natural disasters, apart from the report by the Intact Centre on Climate Adaptation. Bakos et al. 2022, find decreases of between 1.1% and 17.1% (mean: 8.2%) relative to the control community; this guides our choice of a 10% price depreciation.

3.5 Conclusion

Our analysis represents an important step toward better understanding the financial impacts of extreme weather events on Canadian lenders' residential RESL portfolios. Physical risks encompass a wide range of events, such as wildfires, hurricanes and droughts, but we focus on flooding due to its substantial annual costs. We study this risk using two flood scenarios: AAL events, which highlight potential exposure, and severe 1in-100-year flood events, which determine the resilience of lenders.

Overall, we find that potential losses from the direct damages of flooding on lenders' residential RESL portfolios appear to generate modest impacts on lenders' LGDs. This is partly due to the recent and rapid acceleration of house prices, which helps bolster the equity position of homeowners. This strong equity position provides an important buffer that reduces the amount of flood-related losses transmitted to lenders. Nevertheless, changes in housing market dynamics, such as a reduction in house prices, could meaningfully increase lenders' financial risk from extreme flooding events.

However, despite the modest LGD impacts, we note that lenders continue to face significant risk. Specifically, we consider the influence of household debt combined with the concentration of lending in flood zones. This combination can exacerbate the risk lenders face from extreme weather events. In fact, we show that borrowers with elevated levels of debt secured against a property transmitted larger losses to lenders, especially if the collateralized properties were in flood zones.

Climate change can also increase flood-related risks to lenders, particularly in the tail of the distribution. One such risk is that the impact from climate change on lenders' LGD from severe events was largest for those lenders currently exposed to damages from severe events. In addition, we show that climate change:

- expands flood zones into new areas
- increases the number of properties exposed to elevated levels of damages from flooding
- increases total damages from flooding

That said, we find several important limitations. First, our analysis abstracts from household dynamics, which could influence the probability of default. Mortgage defaults in Canada are exceedingly rare, making it difficult to identify flood-related defaults.

Second, we focus on acute flooding to domestic residential real estate in isolation and do not consider other events that occur simultaneously—including other risks (e.g., wildfire) or macroeconomic shocks (e.g., rising unemployment)—and that could exacerbate financial stress. While this is the standard approach in assessing flood risk, it can limit the potential flood-related financial impacts to lenders. However, we consider the sensitivity of our results to changes in housing market dynamics, such as increases to time to settlement and house price depreciation. This highlights the importance of considering other risk channels.

Third, we only consider impacts to domestic residential real estate lending. Other forms of collateral important to Canadian deposit-taking financial institutions—including commercial real estate and infrastructure—remain outside the scope of our research. Further, Canadian financial institutions could have important international exposures to flood risk that we do not consider in our analysis. We leave this for future work.

Fourth, we use a static balance sheet approach, focusing on the residential RESL portfolios of Canadian financial institutions for the third quarter of 2022. This is a period of home value appreciation, and the results shed light on the role that home equity plays in shielding lenders from potential losses. We assess the potential impacts from climate change within this current balance sheet approach, assuming the future severity of damages are felt on today's residential RESL portfolios. Consequently, we do not consider other dynamic considerations that are important to assessing the evolution of flood-related impacts. For example, we do not consider how lenders actively manage the risks their balance sheets are exposed to. At the same time, our analysis abstracts from population growth and urban development, which could exacerbate lenders' exposure to risk.

Finally, we do not consider the role of fiscal support that could follow a localized severe flood event.

Our results face a reasonable amount of uncertainty due to data limitations. On the one hand, concerns over privacy and confidentiality influence the level of data granularity available for this analysis. This makes it difficult to link datasets. Due to the anonymization of residential addresses, the precise location of properties and the residential structure type remain unknown. To overcome this, we assume that

properties within the same postal code face the same average level of flood damage.²² While our analysis sheds light on potential extreme risks, we note that averaging the level of flood damage to property at the postal code level potentially smooths what could be more acute shocks to specific properties.

On the other hand, the data are comprehensive, but they are not complete. This could lead to some underestimation of the impacts to the financial system. For example, estimates of flood risk do not consider the effects of sea level rise. In addition, average damage may be underestimated in postal codes with a large concentration of apartment buildings and condominiums. This is mostly due to an inability to accurately estimate flood damage to these structures.

The limitations around the use of granular data due to privacy and confidentiality prevent us from making broader conclusions, including those on P&C flood insurance. The potential smoothing and underestimation of flood damage hides what could be more acute shocks to specific properties. At the same time, the inability to observe property level P&C insurance makes it more difficult to identify areas where coverage was unaffordable or unavailable. For these reasons, we caution against drawing conclusions on the role that P&C insurance plays in mitigating risks to households, lenders and the broader financial system.

Financial institutions should actively manage their exposure to risk from extreme weather. Ultimately, the tail of the flood damage distribution is probably the main source of risk associated with extreme weather events. This tail risk likely poses the greatest concern from extreme weather events to financial institutions and the financial system. Due to privacy and confidentiality concerns around the use of granular data, we apply several simplifying assumptions in our methodology. Most importantly, we assume that postal code average information on flooding and P&C insurance coverage does not reflect property-specific information. Lenders that have access to specific location information of the collateral underlying their loans can better assess the risk associated with their own portfolio.

The averaging out of more acute shocks highlights the importance of Principle 4 in OSFI's Guideline B-15, *Climate Risk Management*, which sets the expectation that federally regulated financial institutions should use climate scenario analysis to assess the impact of climate-related risks on their risk profile, business strategy and business model. Additionally, OSFI plans to conduct a standardized climate scenario exercise (SCSE) in 2024. One objective of the SCSE is to encourage capacity building within financial institutions for them to conduct climate scenario analysis at a granular level, which will lead to a better understanding of the impacts of acute shocks.

²²We opt to apply these damages as a level rather than a percentage of the property value because the latter would implicitly capture the depreciation in property value.

Concluding remarks

This thesis brings together three pieces of work which aim to shed light on the propagation of natural disaster shocks on the Canadian financial system. Each chapter focuses on the effects to a particular segment of the economy, namely labour markets, homeowners, and finally lenders.

Overall, this thesis shows that lenders face moderate effects from natural disasters on their residential real estate portfolios. While, we show in Chapter 3 that lenders with a high level of geographical concentration are more vulnerable to the effects of severe disasters, most lenders in Canada are relatively insulated from the effects of natural disasters on their residential lending portfolios. This points to households holding much of the risk associated with natural disaster shocks.

In fact, this thesis shows that households are affected through an important income channel. In Chapter 1, we show that while hours worked are adversely affected in the immediate aftermath of a disaster, the strongest effect comes through a significant reduction in wage growth. In addition, Chapter 3 highlights that those households that have mortgages can also be adversely affected if the destruction of their properties is significant. Combined, these impacts could lead to significant financial distress for households, as high levels of debt can amplify the losses faced.

The findings of this body of work sheds light on the potential policy implications policymakers can consider to reduce financial system risk to natural disasters. First, Chapter 1 sheds light on how the state of the economy leads to asymmetric effects of natural disasters on labour markets. In fact, natural disasters tend to have much more severe effect while the economy is in a state of labour market slack. Hence, government response to disasters should take into account the state of the economy when crafting post-disaster recovery strategies.

Second, in addition to loss of income, Chapter 2 demonstrates that households that experience significant or total destruction of their homes are much more likely to experience significant financial distress. While this chapter was unable to identify the effect of P&C insurance on this financial distress, it is suspected that long wait times before receiving insurance payouts likely contributed. In addition, in Chapter 3 we show that P&C insurance for flooding may not adequately cover losses households face. Hence, policymakers should consider whether important gaps in insurance markets exist and control for these in the aftermath of a disaster.

Two key limitations of this thesis emerge. First, we focused on the effect of disasters to households. However, firms may also be adversely affected and understanding the impact they face from natural disasters could help shed light on the mechanisms that affect wage growth. Furthermore, these effects may also propagate to banks that underwrite commercial loans. Understanding how firms are affected could help improve our understanding of how lenders' portfolios, beyond just residential lending, is impacted.

Second, P&C insurance plays an important role in mitigating risks. While this thesis did attempt to consider its role in Canada, further work should be done to better understand whether important gaps exist and how insurers themselves manage these risks.

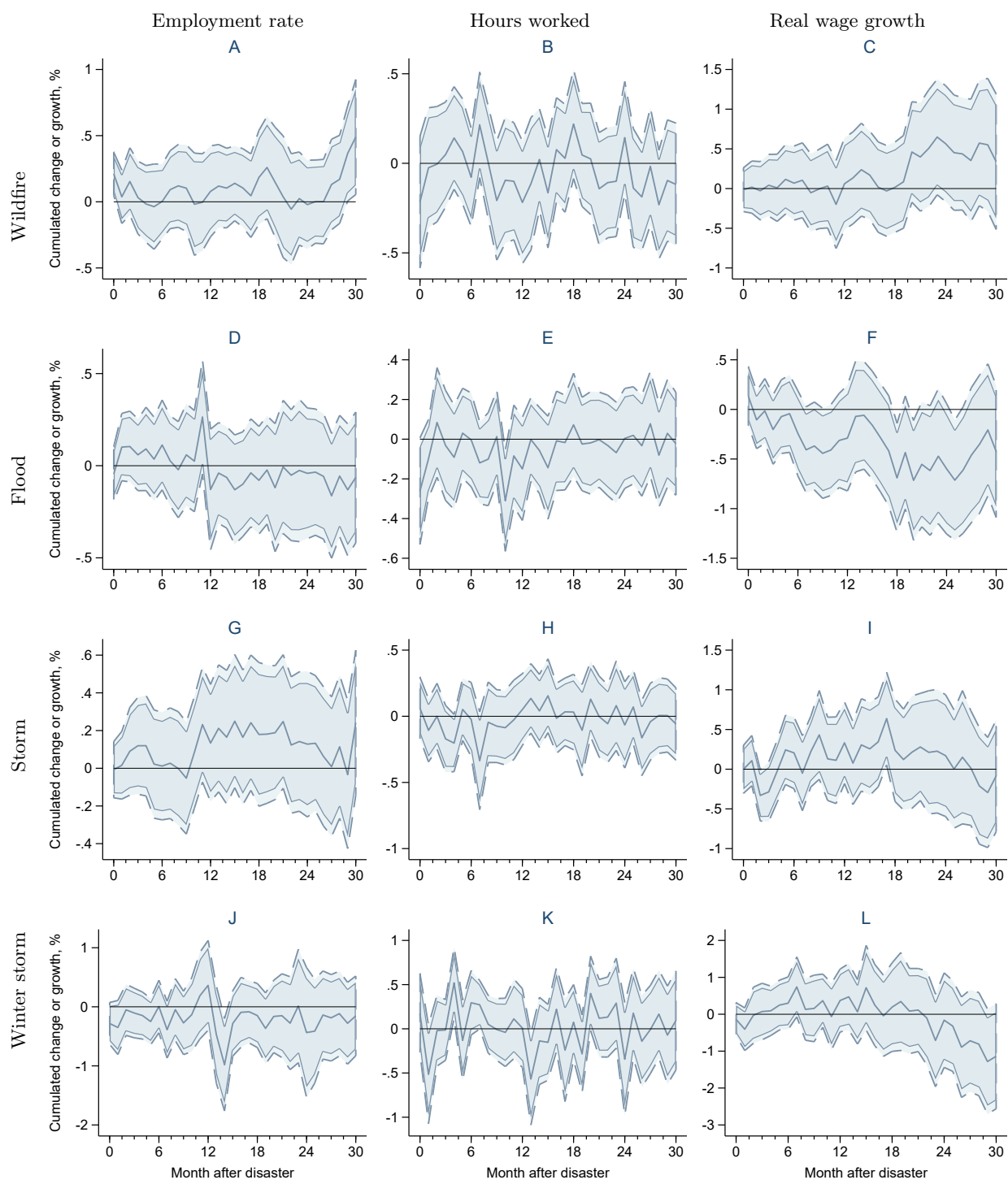
Appendix A

Appendix to Chapter 1

A.1 Appendix: Production versus service sectors

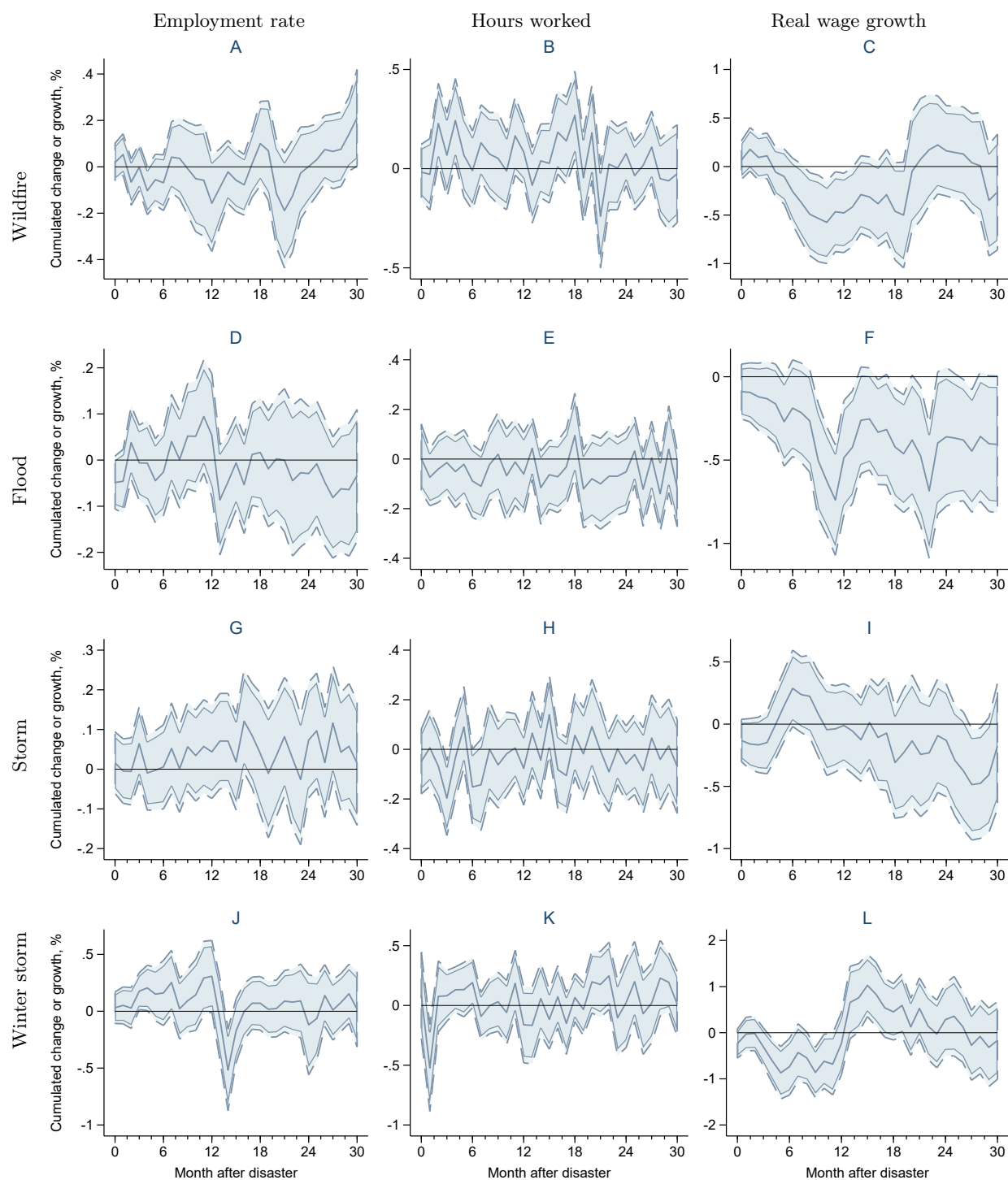
To evaluate the sectoral impacts of natural disasters, we re-estimate Equation (1.8) using the sectoral employment rate, hours worked and real wage growth for the production and service sectors in Figures A.1 and A.2, respectively.

Figure A.1: Responses of the production sector



Notes: Impact on the production sector's employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence interval, using Equation (1.1). Storms include thunderstorms, hurricanes, and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category.

Figure A.2: Responses of the service sector



Notes: Impact on the service sector's employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence interval, using Equation (1.1). Storms include thunderstorms, hurricanes, and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category.

A.2 Appendix: State-dependent responses—additional results

Figure A.3: State-dependent adjustment of labour markets: Wildfires

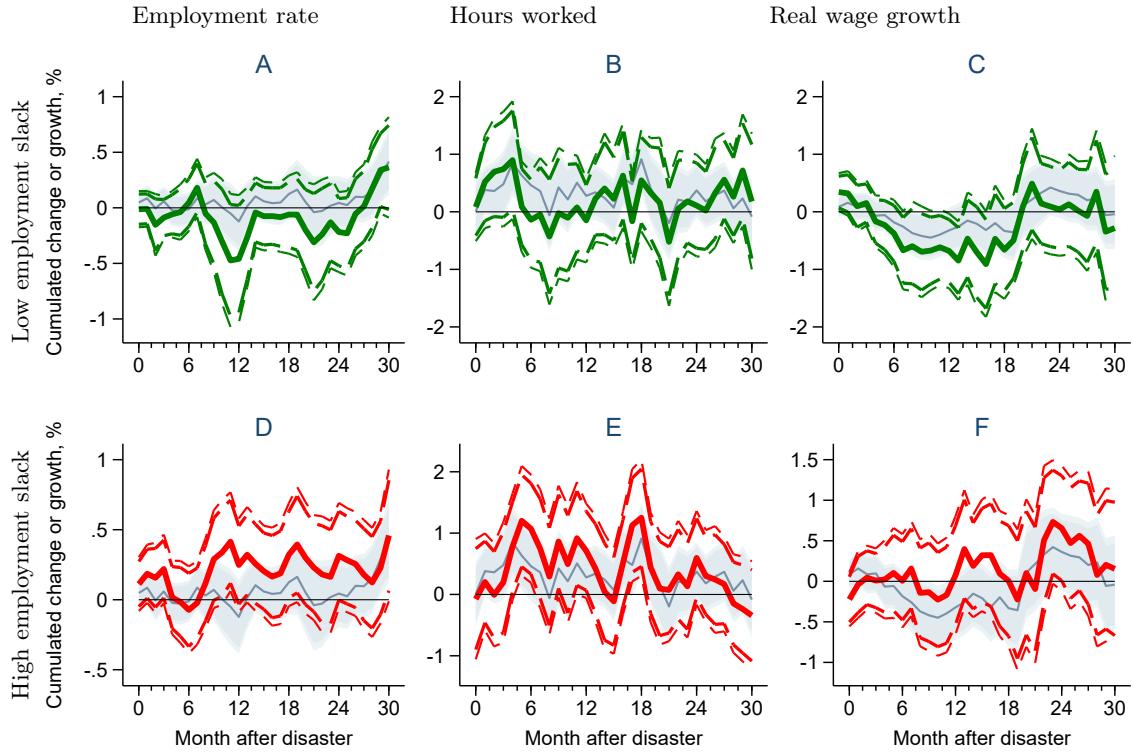
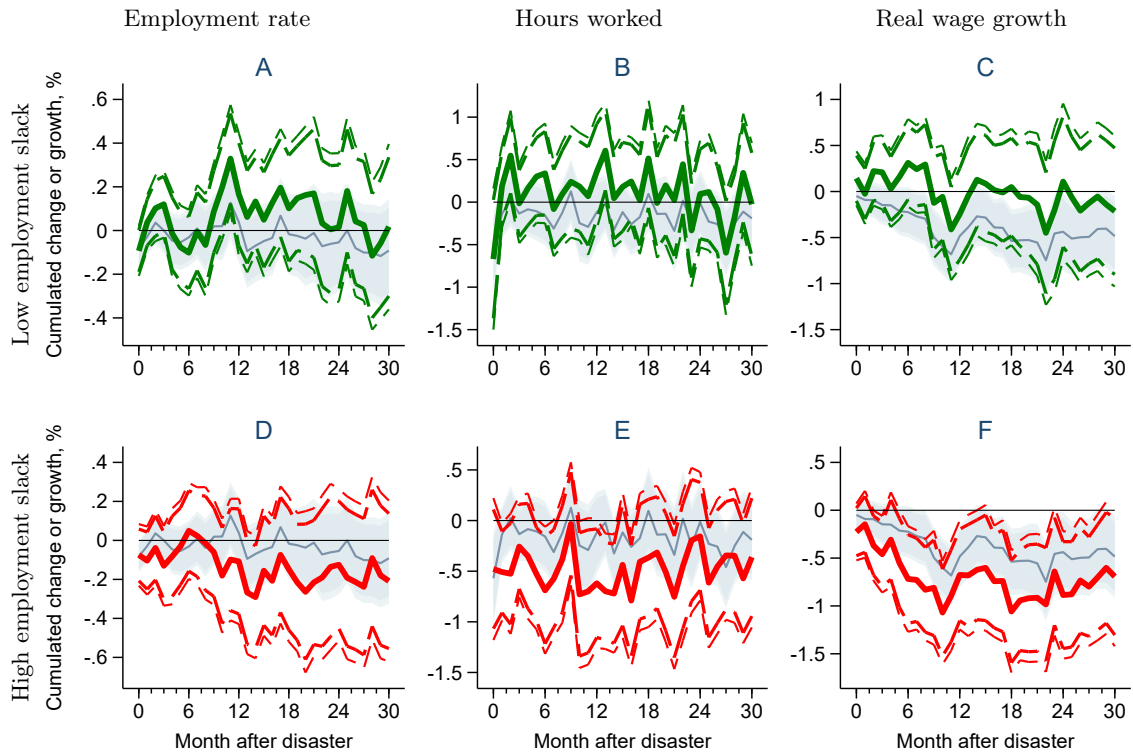


Figure A.4: State-dependent adjustment of labour markets: Floods



Notes: State-dependent impacts of floods on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) in low or high employment slack states (top and bottom panels, respectively), for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals, based on Equation (1.7).

Figure A.5: State-dependent adjustment of labour markets: Storms

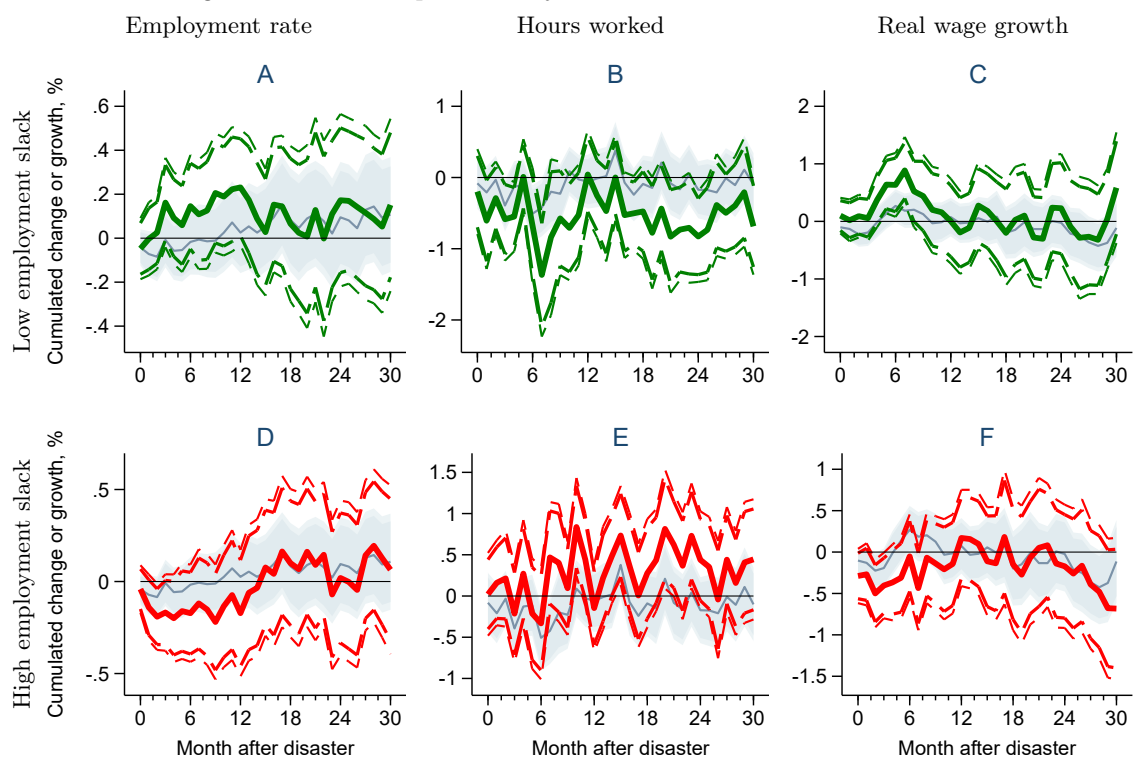
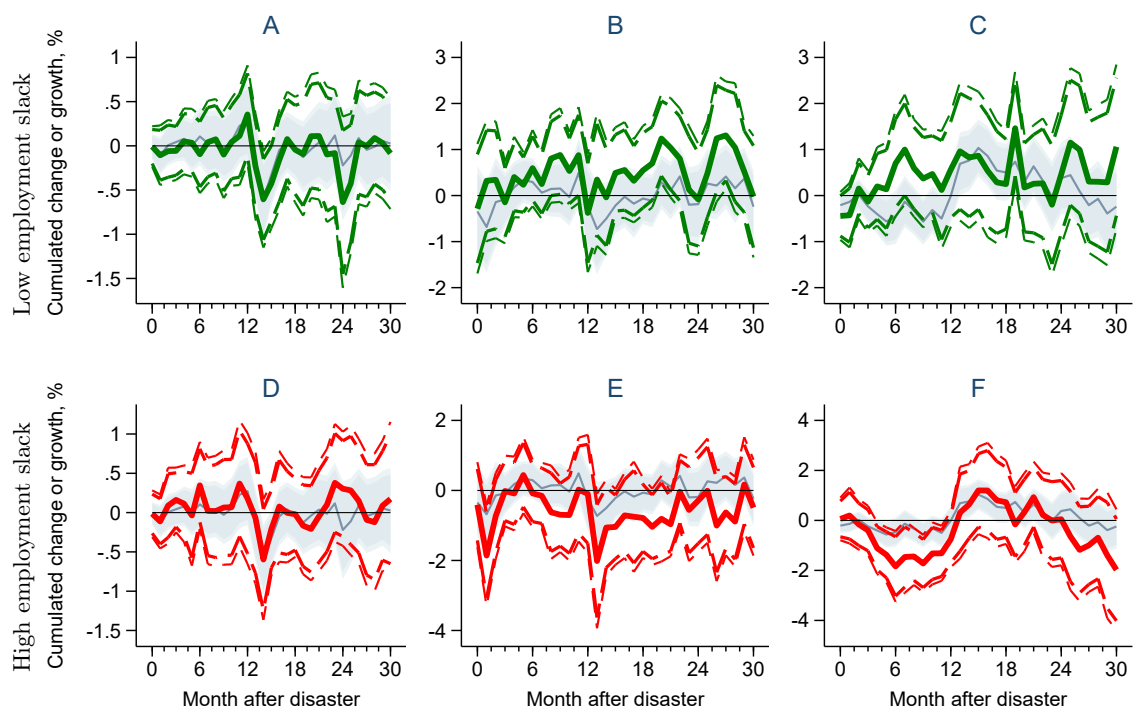
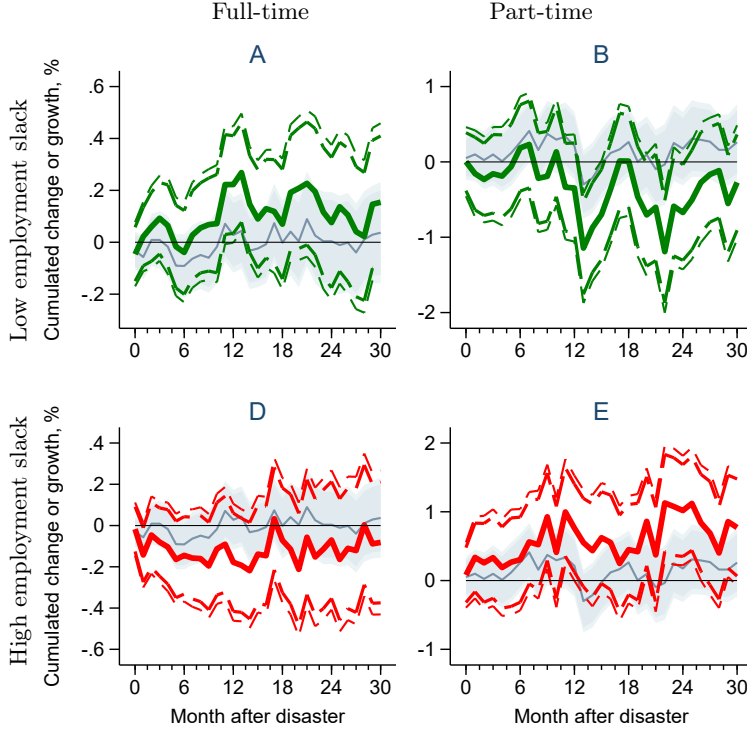


Figure A.6: State-dependent adjustment of labour markets: Winter storms



Notes: State-dependent impacts of winter storms on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) in low or high employment slack states (top and bottom panels, respectively), for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals, based on Equation (1.7).

Figure A.7: State-dependent responses of full- and part-time employment



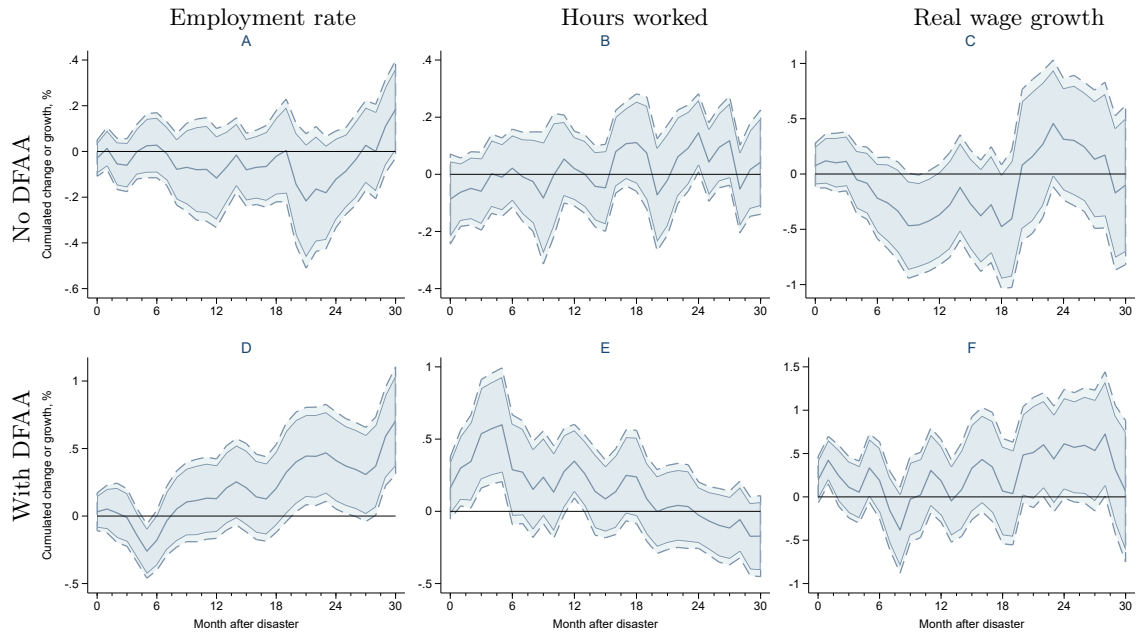
Notes: State-dependent impacts of a natural disaster on full- and part-time employment (left and right panels, respectively) in low or high employment slack states (top and bottom panels, respectively), for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals, based on Equation (1.7).

A.3 Appendix: DFAA as a measure of disaster intensity

We divide the natural disasters into those with or without subsidies (P or NP) from the Disaster Financial Assistance Arrangements (DFAA). The DFAA is a federal program established in 1970 to provide financial assistance to provincial and territorial governments. It is triggered in the event of large-scale natural disasters when response and recovery costs exceed what individual provinces or territories could reasonably be expected to bear on their own. This is one alternative proxy for the importance of the disaster. The coefficients of interest are $\alpha_h^{P,d}$ and $\alpha_h^{NP,d}$ in the following equation:

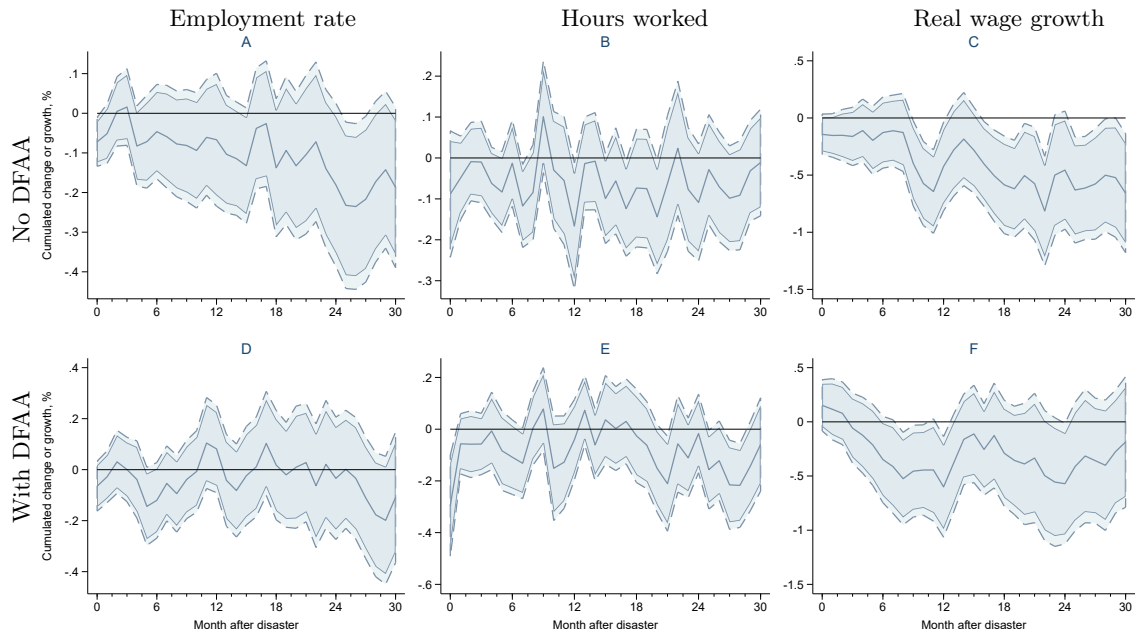
$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} = & \sum_{d=1}^4 \left\{ \alpha_h^{P,d} \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^{P,d} + \alpha_h^{NP,d} \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t}^{NP,d} + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^{d,p} \mathbb{1}(\text{disaster})_{i,t+p}^d \right\} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau:t-\tau-1} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

Figure A.8: Impacts of wildfires depending on the size of federal government support



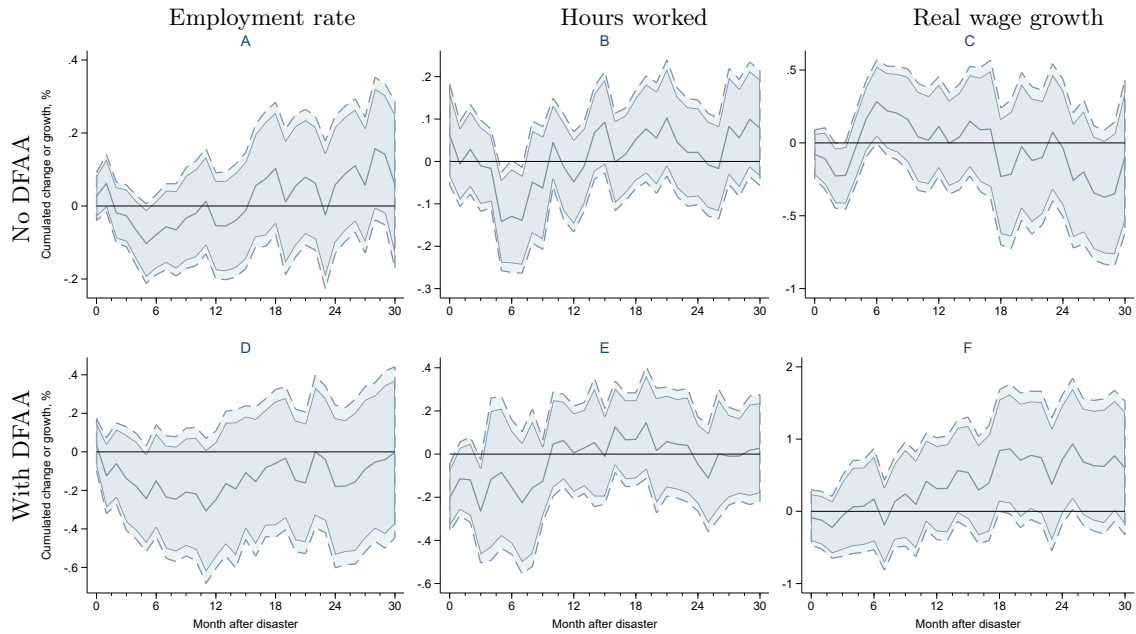
Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of worked hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Responses from the model with natural disaster dummy variables split between disasters that led to federal government funding via the DFAA program or not, using Equation (A.1).

Figure A.9: Impacts of floods depending on the size of federal government support



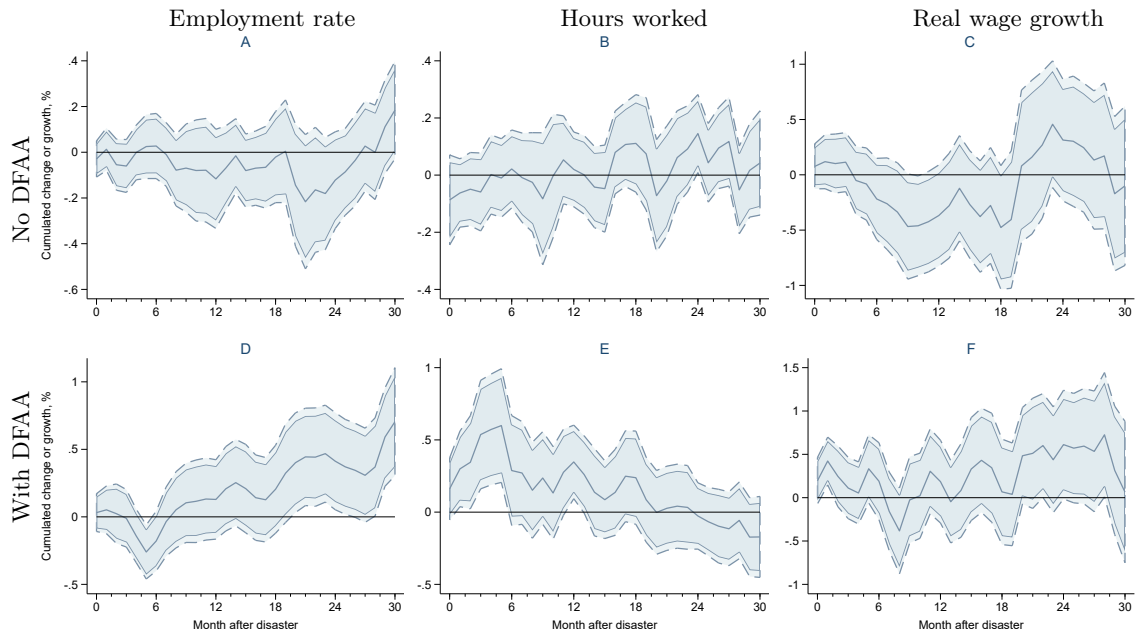
Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of worked hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Responses from the model with natural disaster dummy variables split between disasters that led to federal government funding via the DFAA program or not, using Equation (A.1).

Figure A.10: Impacts of storms depending on the size of federal government support



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of worked hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Responses from the model with natural disaster dummy variables split between disasters that led to federal government funding via the DFAA program or not using Equation (A.1). Storms include thunderstorms, hurricanes and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category.

Figure A.11: Impacts of winter storms depending on the size of federal government support



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of worked hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Responses from the model with natural disaster dummy variables split between disasters that led to federal government funding via the DFAA program or not using Equation (A.1).

A.4 Appendix: Other alternative measures of disaster intensity

As a robustness for wildfires and floods, we use the reported number of evacuated persons (per provincial population, $evacuated_{i,t}^d$) as an alternative approximation of the disaster intensity. For summer or winter storms that do not typically generate evacuations, we can use the reported number of persons affected by utility disruptions (per provincial population, $affected_{i,t}^d$) as an alternative approximation of the disaster intensity. Statistics are displayed in Table 1.2. For wildfires and floods, the combination of parameters $\{\alpha_h^{E,d}, \beta_h^{E,d}\}$ across horizons in Equation (A.2) allows for the computation of marginal impacts depending on the number of evacuations. For summer and winter storms, the equivalent is the combination of parameters $\{\alpha_h^{A,d}, \beta_h^{A,d}\}$ across horizons for the number of affected persons:

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} = & \sum_{d=1}^2 \left\{ \alpha_h^{E,d} \mathbb{1}(disaster)_{i,t}^d + \beta_h^{E,d} evacuated_{i,t}^d + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^{d,p} \mathbb{1}(disaster)_{i,t+p}^d \right\} \\ & + \sum_{d=3}^4 \left\{ \alpha_h^{A,d} \mathbb{1}(disaster)_{i,t}^d + \beta_h^{A,d} affected_{i,t}^d + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^{d,p} \mathbb{1}(disaster)_{i,t+p}^d \right\} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau:t-\tau-1} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (A.2)$$

Figure A.12: Impacts of wildfires depending on the share of evacuated persons



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of worked hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Responses from the model with the share of evacuations at the median (Panels A to E) or at the 95th percentile of the distribution (Panels F to J) based on Equation (A.2).

Figure A.13: Impacts of floods depending on the share of evacuated persons

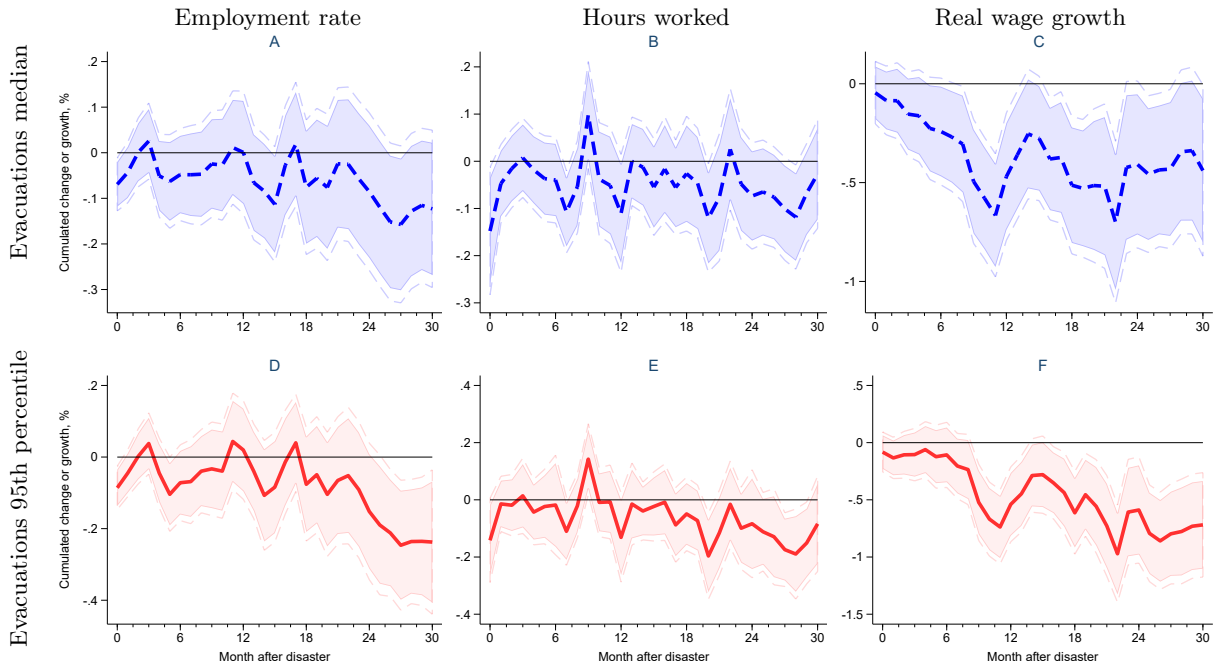
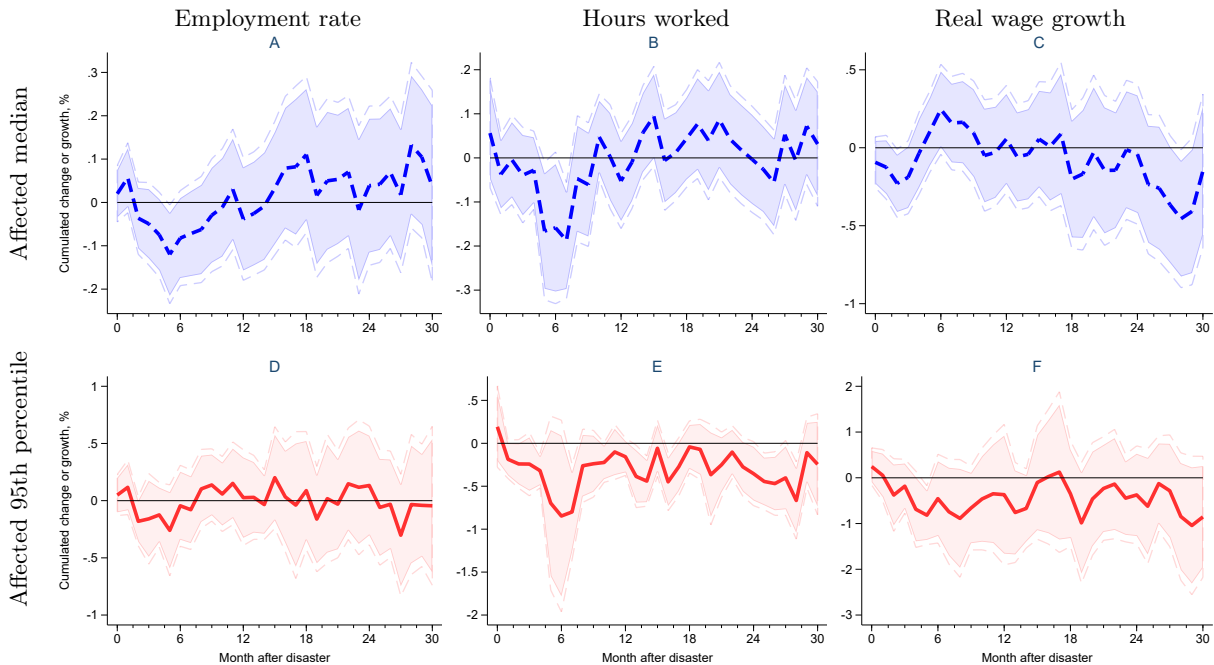


Figure A.14: Impacts of storms depending on the share of affected persons



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of worked hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Responses from the model with the share of affected persons at the median (Panels A to E) or at the 95th percentile of the distribution (Panels F to J) based on Equation (A.2). Storms include thunderstorms, hurricanes and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category.

Figure A.15: Impacts of winter storms depending on the share of affected persons



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of worked hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals. Responses from the model with the share of affected persons at the median (Panels A to E) or at the 95th percentile of the distribution (Panels F to J) based on Equation (A.2).

A.5 Appendix: Impacts of the top three largest disasters

Absent adaptation to natural disasters and as climate change intensifies, one may expect that the severity of future disasters could resemble that of the largest in our historical dataset. Hence, we use the shocks generated by the three most severe disasters, the 2016 Fort McMurray wildfire, the 2013 Alberta floods, and the 1998 ice storm, to gauge the impacts of extreme disasters in the future.

We estimate a variant of Equation (1.1) with three dummy variables for each of the three largest disasters. The coefficients of interest are now $\alpha_h^{d1}, \alpha_h^{d2}, \alpha_h^{d3}$. The new disaster dummy variables span two months for the Fort McMurray wildfire and the Alberta floods, or a single month over two provinces for the 1998 ice storm.¹

$$\begin{aligned}
 \Delta Y_{i,t+h:t-1} &= \alpha_h^{d1} \mathbb{1}(McMurray2016)_{i,t} + \alpha_h^{d2} \mathbb{1}(Calgary2013)_{i,t} + \alpha_h^{d3} \mathbb{1}(IceStorm1998)_{i,t} \\
 &+ \sum_{o \neq \{d1, d2, d3\}} \sum_{\tau=-12}^h \alpha_h^o \mathbb{1}(disaster)^o_{i,t-\tau} \\
 &+ \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau:t-\tau-1} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \sum_{\tau=1}^3 \rho_h^\tau \log WTI_{i,t-\tau} \\
 &+ \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}.
 \end{aligned} \tag{A.3}$$

Since the new dummy variables indicate individual events, the local projection estimation is likely less robust if other events occur in the affected provinces in the months before or after the disasters of interest.

¹We could also add New Brunswick as an additional province affected by the ice storm, but New Brunswick received only 1% of the insurance cost, and maps of the affected area mainly cover southeast Ontario and southern Quebec where most of the fatalities, power cuts and damages occurred. Including New Brunswick slightly increases uncertainty surrounding initial coefficient estimates.

Similar to our baseline specification, we control for other individual disaster events with dummy variables $\mathbb{1}(\text{disaster})^o$ such that $o \neq \{d1, d2, d3\}$ happening 12 months before and up to the month of interest $\tau = -12, \dots, h$, $\tau \neq 0$ around the top three disasters.² We also add a control for crude oil prices since the 2016 Fort McMurray wildfire occurs in an oil-producing region just prior to a turning point in oil prices after the 2015 oil shock.³

Looking further in the tail of the disaster size distribution, we investigate the impact of the three largest disasters in our database: the 2016 Fort McMurray wildfire, the 2013 Alberta floods, and the 1998 ice storm. Figure A.16 shows the results of the estimation of Equation (A.3). Note that our identification approach for the largest disasters may be less robust since we can no longer rely on a large number of disaster events.⁴

Turning first to the 2016 Fort McMurray wildfire, we find significant impacts on each of the three labour measures. Despite its remoteness, the town of Fort McMurray is the epicentre of oil and gas extraction in Canada. The 2016 wildfire burned most of the town and had an immediate negative effect on employment that was strong enough to lead to a contraction of national GDP.⁵ At its peak, the reduction in employment was of about 100 basis points. This likely explains the subsequent increase in hours worked about a year after the event—labour shortages related to displaced employees who lost their homes could result in longer hours for those remaining. The persistent negative impact on wages may also be the result of a change in the composition of employment, with the population of Fort McMurray still about 10% lower one year after the wildfire.

Second, we turn to the 2013 Alberta floods. Heavy rainfall mixed with melting snow coming down from the Rocky Mountains in June 2013 led to large-scale flooding, most importantly in southern Alberta. Among some of the hardest hit locations was Calgary, Alberta's largest city. Approximately 75,000 residents living along the Bow and Elbow Rivers were evacuated.⁶ Large-scale flooding in the downtown areas left workers unable to travel to offices or retail locations, likely driving the immediate decline in hours worked (Figure A.16-E). However, even as waters began to recede four days later, the cost of damages was quickly estimated in the billions of dollars. Over the medium term, it led to a significant reduction in the employment rate, hours worked, and wage growth (Figure A.16-D to -F).

Finally, we investigate the impact of the 1998 ice storm. In January 1998, a series of ice storms moved across eastern Ontario and southern Quebec and together produce widespread outages and destruction. These events were significant enough to lead to the almost complete shutdown of cities like Ottawa and Montreal. In addition, the scale of power outages left some households without power for weeks. On impact, we note an immediate increase in hours worked, which likely reflects a need to clear roads and address power outages (Figure A.16-H). The scale of devastation, particularly to transmission towers and lines, combined with the frigid winter temperatures likely drove labour demand, as shown in the increase of almost 100 basis points of the employment rate within the first four months following the event (Figure A.16-G). Interestingly, this positive effect persisted several years after the event. The nature and extent of the damage could partially explain the estimated long-term effect on employment, since much of the power infrastructure, which spans vast distances, had to be rebuilt or upgraded.⁷

²In particular, several disasters are recorded for Alberta the month before or after the 2016 Fort McMurray wildfire. The month before, there was a smaller wildfire with no reported dollar cost, such that it is unlikely to drive the effect. The month after, several storms and thunderstorms are recorded, but they occurred across the Prairies, such that we control for this disaster happening across several provinces while the Fort McMurray wildfire was specific to Alberta.

³More specifically, we use the Western Texas Intermediate prices. Adding this control does not significantly change our baseline results. Our results also remain robust if we control for up to 12 lags of dependent variables of the monthly GDP growth and of the oil price growth.

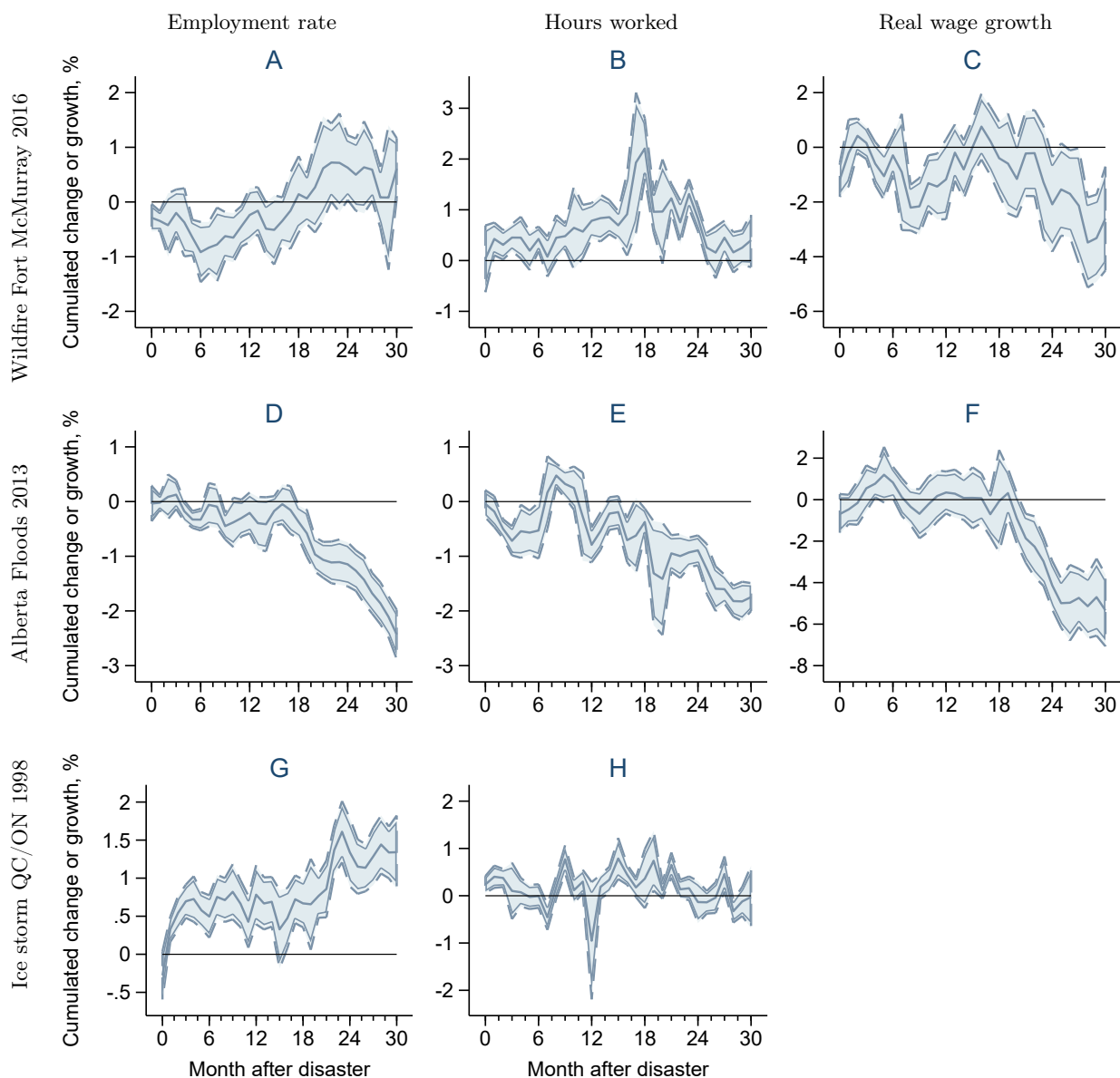
⁴Despite their notable impacts on the labour market, we confirm that these largest disasters are not solely driving the main results of the paper. In Appendix A.6 we repeat our main specifications by leaving one disaster out at a time and find that a single observation event does not generally drive our baseline results.

⁵The interruption in oil extraction operations eventually lead to a 0.4% reduction in national GDP. Data source is Statistics Canada and National Gross Domestic Product by Income and by Expenditure Accounts <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-627-m/11-627-m2017007-eng.htm>. Accessed September 22, 2023.

⁶The Calgary Herald published a timeline of the floods: <https://calgaryherald.com/news/local-news/timeline-how-the-great-flood-of-2013-evolved>. Accessed June 5, 2024.

⁷See Hydro-Quebec's website discussing changes made to power lines in the aftermath of 1998 ice storm for more information: <https://www.hydroquebec.com/ice-storm-1998/after-the-storm.html>. Accessed June 5, 2024.

Figure A.16: Impacts of Canada's top three natural disasters on the labour market



Notes: Impact on employment (percentage point, left panels), hours worked (number of hours, middle panels) and real wage growth (percentage, right panels) of the largest natural disasters in Canada for 0 to 30 months ahead with the 90 and 95% confidence intervals using Equation (A.3). The effects of the ice storm on real wages could not be estimated because the data start in 2001. The 2016 Fort McMurray wildfire had a cost of \$4.4 billion, the 2013 Alberta floods a cost of \$2.0 billion and the 1998 ice storm a cost of \$2.6 billion (60, in 2021 dollar terms).

A.6 Appendix: Leave-one-out analysis

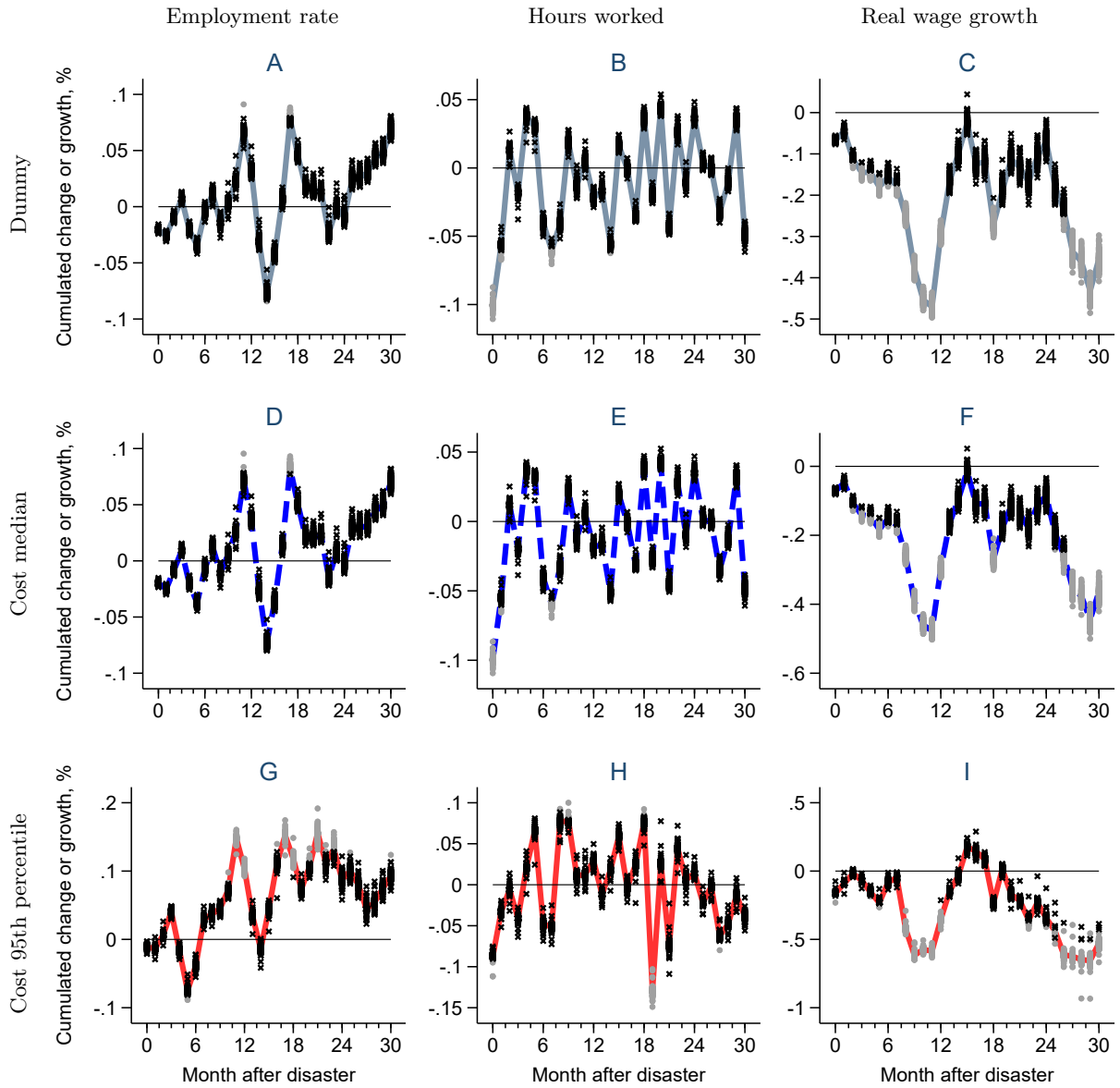
We test whether our results are driven by just one large outlier. We re-run the specification in Equation (1.5) by excluding one disaster d' at a time. To exclude a disaster, we keep it in the sample but include it via a separate dummy $\mathbb{1}(disaster)_{i,t}^{d'}$ and cost variable $cost_{i,t}^{d'}$ that removes the effect of this disaster on the main parameters of interest $\{\alpha_h^{d \setminus d'}, \beta_h^{d \setminus d'}\}$:

$$\begin{aligned} \Delta Y_{i,t+h:t-1} = & \sum_{d=1}^4 \left\{ \alpha_h^{d \setminus d'} \mathbb{1}(disaster)_{i,t}^{d \setminus d'} + \beta_h^{d \setminus d'} cost_{i,t}^{d \setminus d'} + \sum_{p=-12, p \neq 0}^h \alpha_h^{d,p} \mathbb{1}(disaster)_{i,t+p}^d \right\} \\ & + \alpha_h^{d'} \mathbb{1}(disaster)_{i,t}^{d'} + \beta_h^{d'} cost_{i,t}^{d'} \\ & + \sum_{\tau=1}^3 \psi_h^\tau \Delta Y_{i,t-\tau:t-\tau-1} + \sum_{\tau=1}^3 \phi_h^\tau GDP_{i,t-\tau} + \eta_i + \eta_y + \eta_m + \eta_{i,m} + \epsilon_{i,t+h}. \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

In the figures, each dot or cross corresponds to an estimation with a different d' . Each grey circle corresponds to a significant result, while each black cross corresponds to a non-significant estimate. So the estimation is robust to any outlier if, for a given time horizon, there are no black crosses: the result is not driven by a single event.

Our main results at the 5% significance threshold do not appear to be driven by a specific outlier, except for the response of the unemployment rate to wildfires in the 95th percentile of the cost distribution. In the latter case, significance across all combinations excluding one disaster at a time is restored if one estimates separately the disaster dummy parameter $\alpha_h^{d \setminus d'}$ for disasters with or without costs, as wildfires without reported costs tend to have a somewhat smaller effect on employment.

Figure A.17: Impacts excluding one disaster at a time



Notes: Results from Equation (A.4) that exclude one disaster at a time. Each panel is the marginal effect for a disaster at the median or at the 95th percentile of the cost distribution. A grey dot (black cross) represents the (in)significant estimate at the 5% confidence threshold obtained by excluding one disaster. The line is the mean across estimates. Storms include thunderstorms, hurricanes and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category

Figure A.18: Impacts of wildfires: excluding one disaster at a time

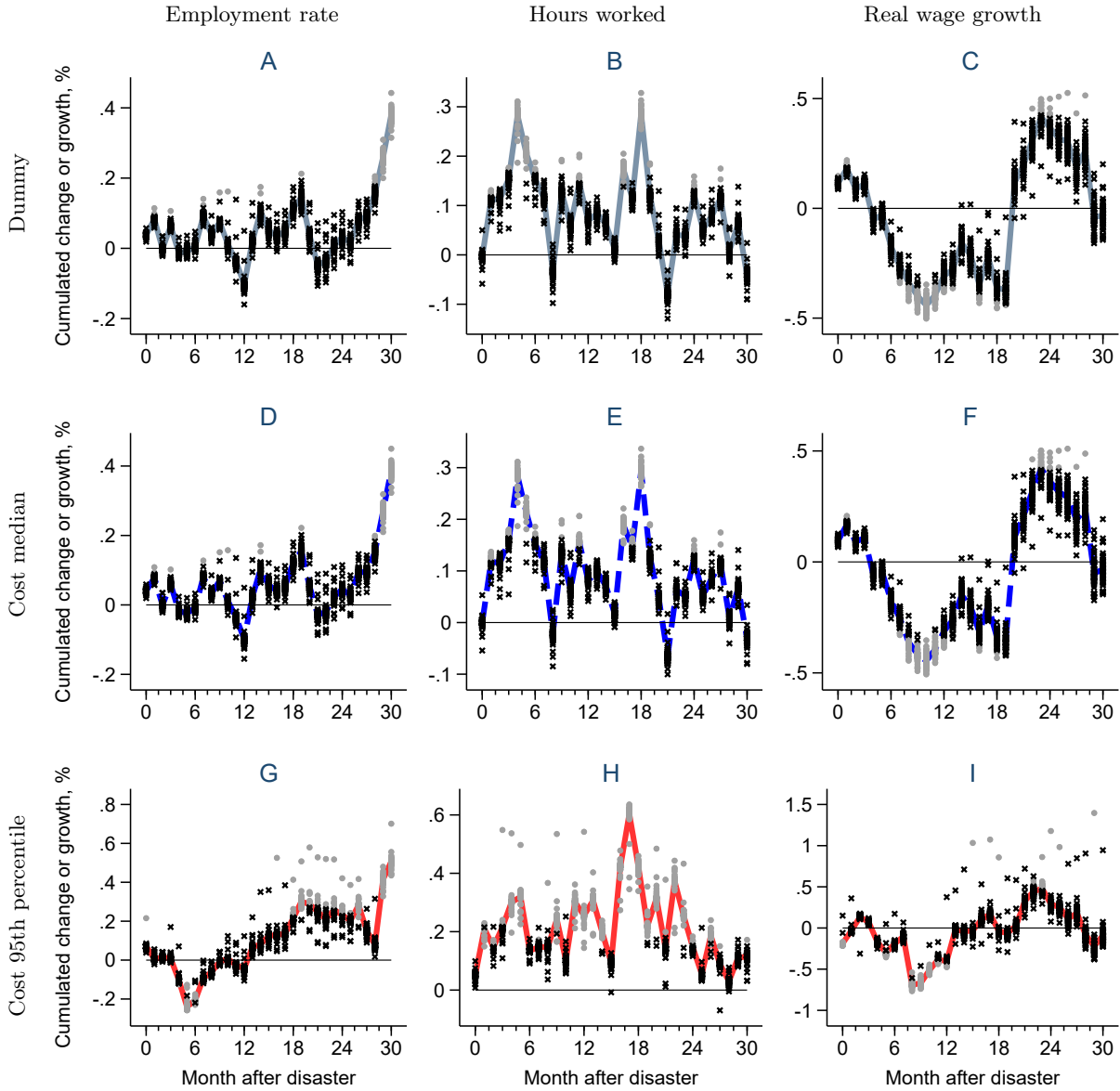
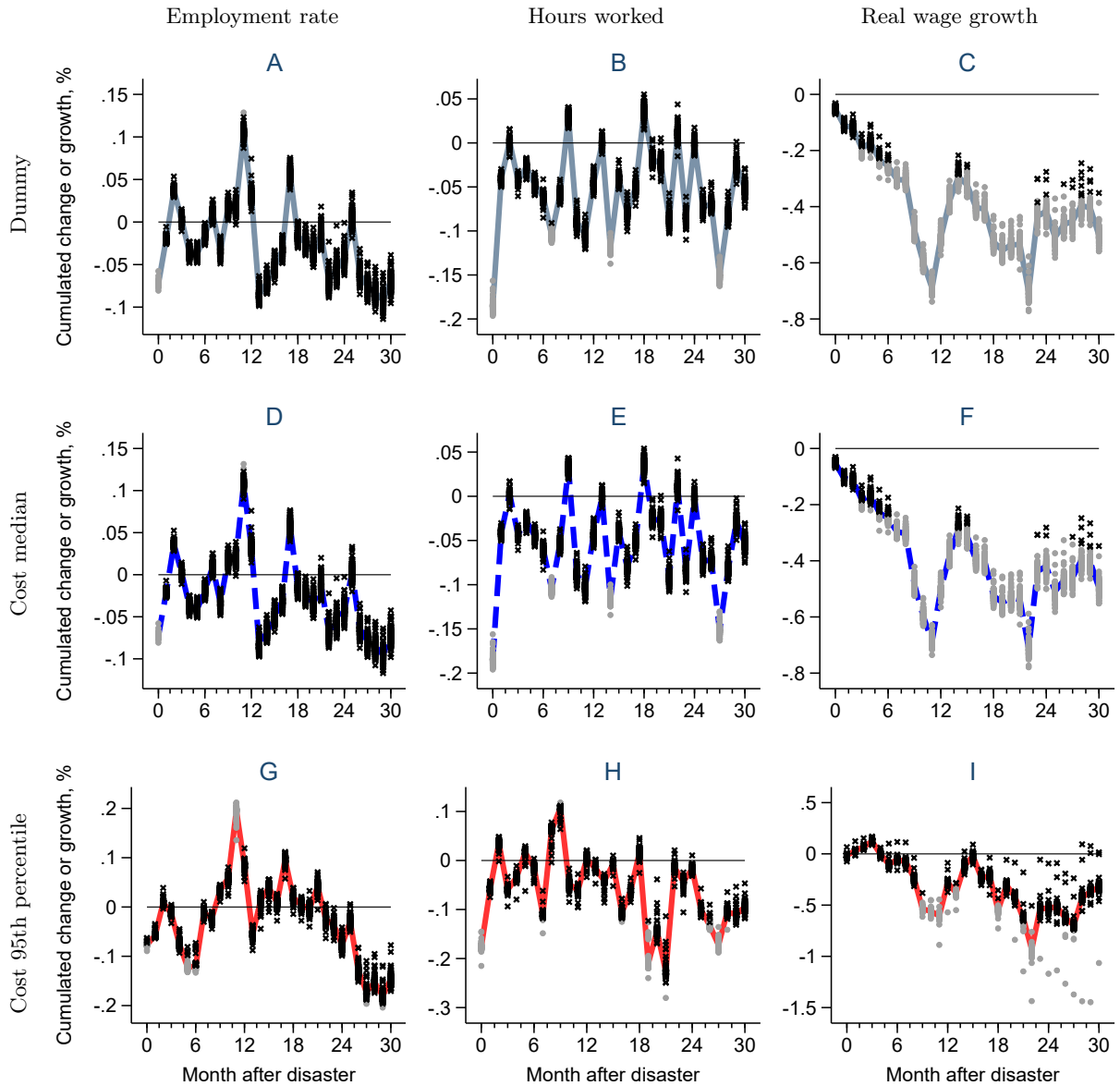
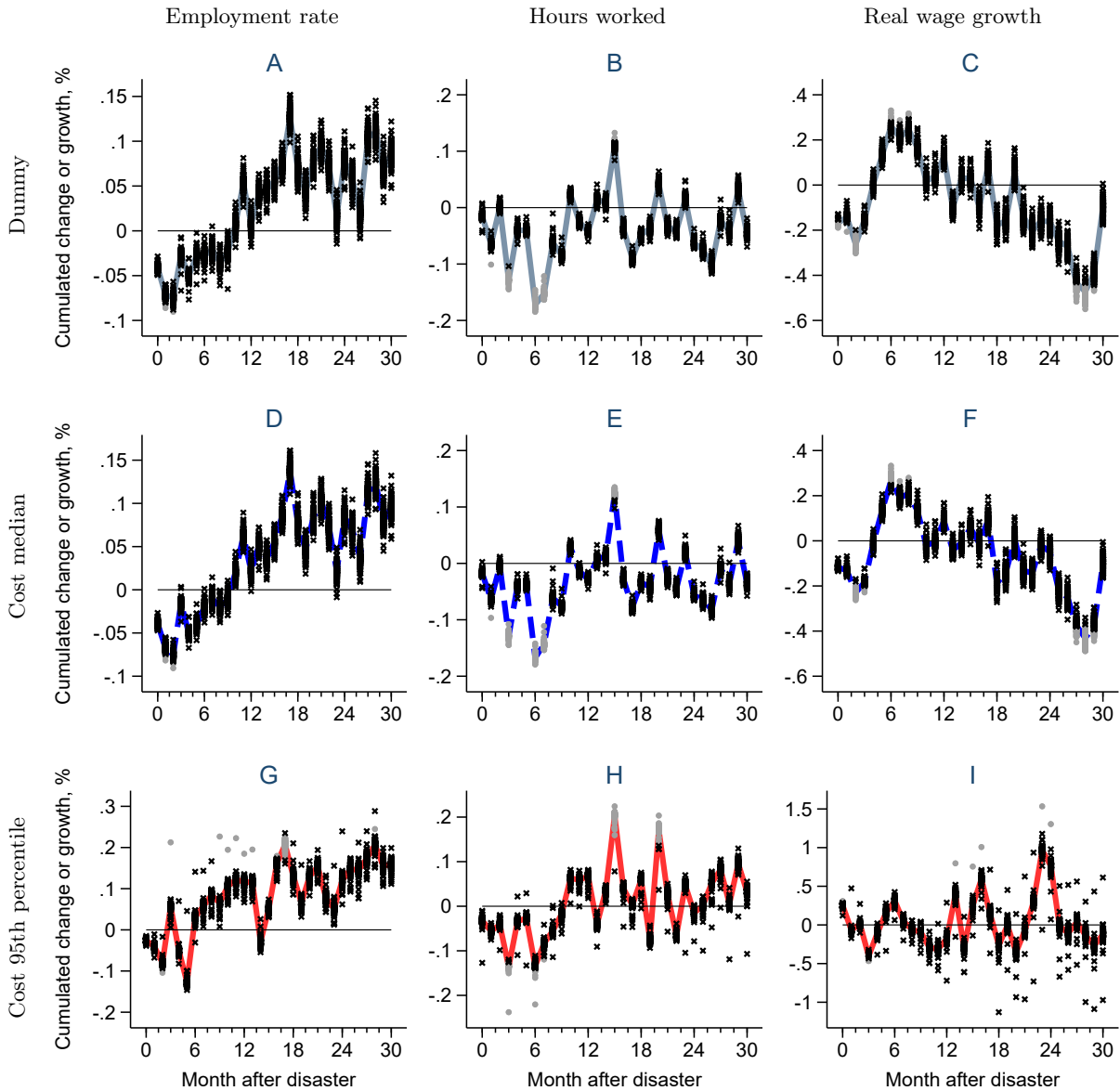


Figure A.19: Impacts of floods: excluding one disaster at a time



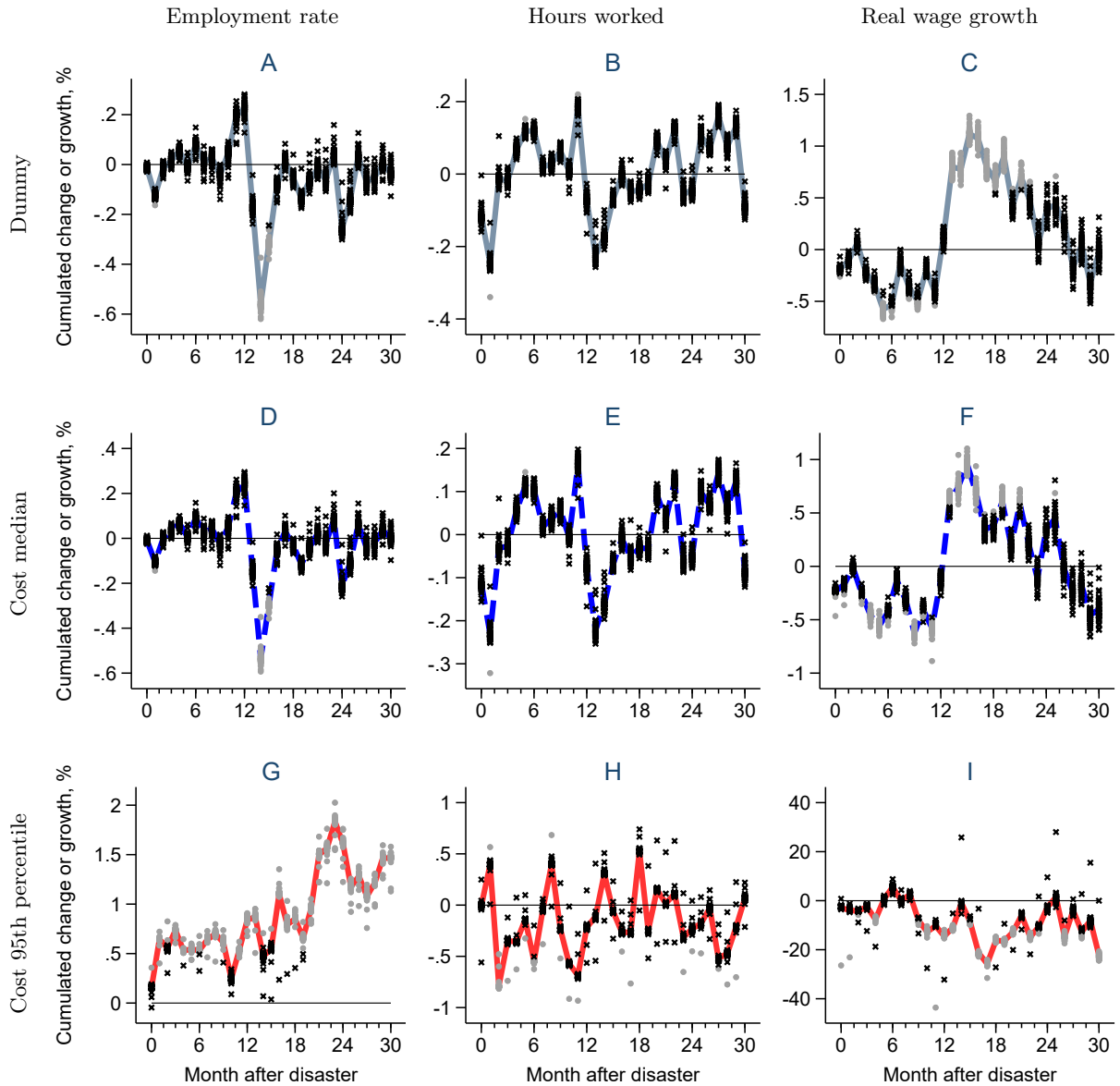
Notes: Results from Equation (A.4) that exclude one disaster at a time. Each panel is the marginal effect for a disaster at the median or at the 95th percentile of the cost distribution. A grey dot (black cross) represents the (in)significant estimate at the 5% confidence threshold obtained by excluding one disaster. The line is the mean across estimates. Storms include thunderstorms, hurricanes and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category.

Figure A.20: Impacts of storms: excluding one disaster at a time



Notes: Results from Equation (A.4) that exclude one disaster at a time. Each panel is the marginal effect for a disaster at the median or at the 95th percentile of the cost distribution. A grey dot (black cross) represents the (in)significant estimate at the 5% confidence threshold obtained by excluding one disaster. The line is the mean across estimates. Storms include thunderstorms, hurricanes and tornadoes but exclude winter storms, which are left as a separate category.

Figure A.21: Impacts of winter storms: excluding one disaster at a time



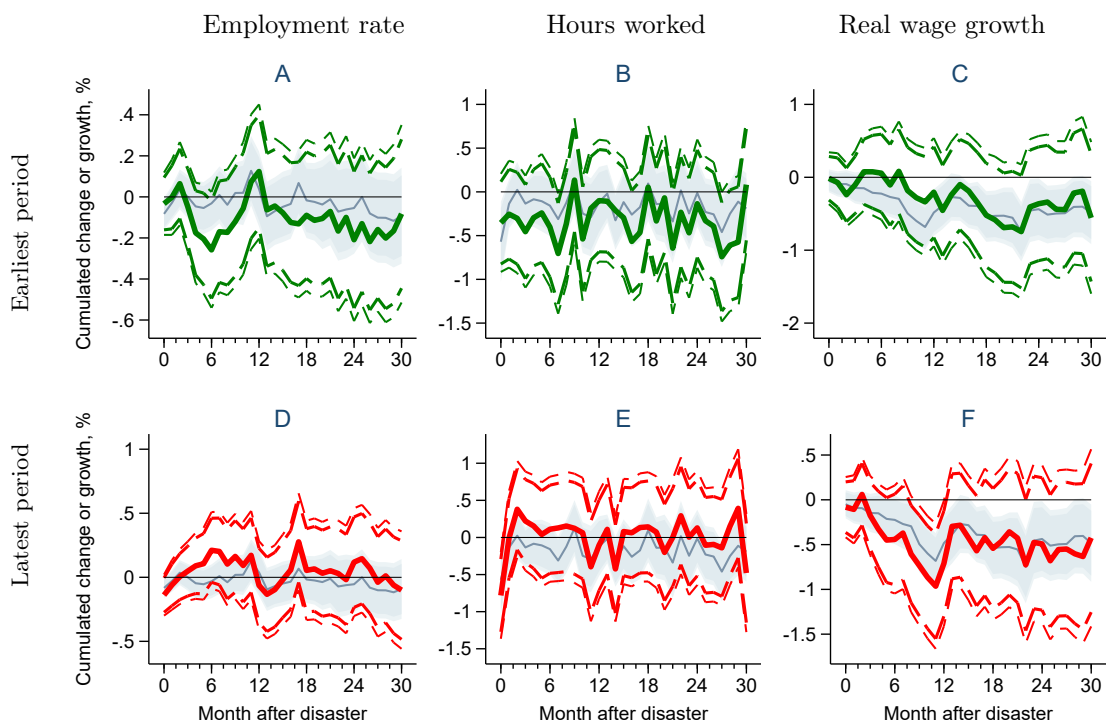
A.7 Appendix: Disaster effects over time by disaster types

Figure A.22: The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to wildfires



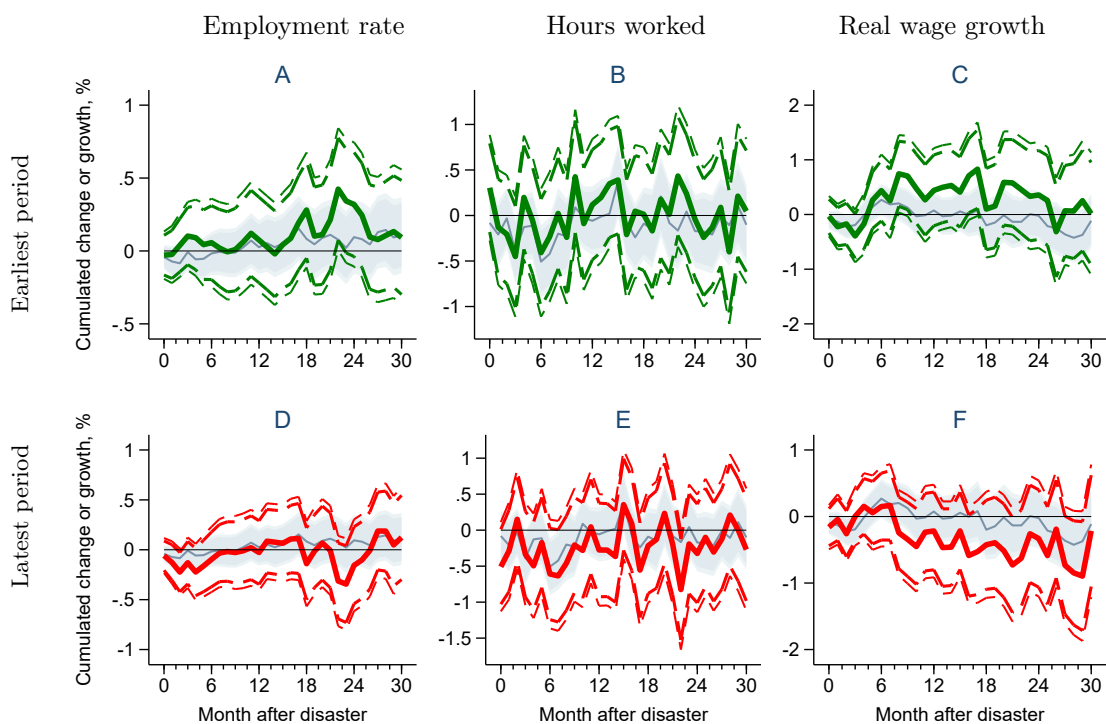
Note: We contrast the IRF for the earliest cross-section (in grey) and the latest (2019) cross-section (in red) to an effect averaged over the entire time period (in green). For employment rate and hours worked, the earliest cross-section is in 1980 while for real wage growth it is in 2001.

Figure A.23: The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to floods



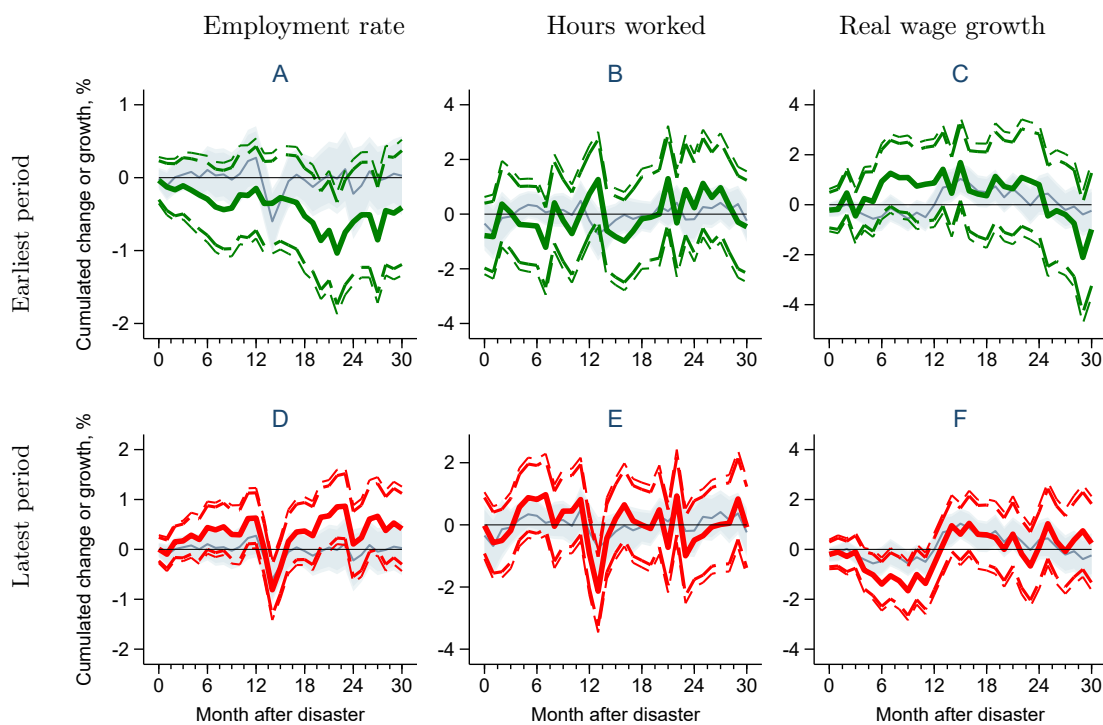
Note: We contrast the IRF for the earliest cross-section (in grey) and the latest (2019) cross-section (in red) to an effect averaged over the entire time period (in grey). For employment rate and hours worked, the earliest cross-section is in 1980 while for real wage growth it is in 2001.

Figure A.24: The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to storms



Note: We contrast the IRF for the earliest cross-section (in grey) and the latest (2019) cross-section (in red) to an effect averaged over the entire time period (in grey). For employment rate and hours worked, the earliest cross-section is in 1980 while for real wage growth it is in 2001.

Figure A.25: The effect of temporal heterogeneity on labour market responses to winter storms



Note: We contrast the IRF for the earliest cross-section (in grey) and the latest (2019) cross-section (in red) to an effect averaged over the entire time period (in grey). For employment rate and hours worked, the earliest cross-section is in 1980 while for real wage growth it is in 2001.

Appendix B

Appendix to Chapter 2

B.1 Primer on the Canadian mortgage insurance market

This section explores the impact of a large wildfire on mortgages that are portfolio or transactionally insured. We focus on insured mortgages because insurance has a key role in Canada as it allows lenders to access cost-effective funding, which, in turn, enables borrowers to access homeownership through reliable funding sources that are not subject to economic cycles (Mordel and Stephens [87]). There are two types of mortgage insurance: (1) transactional insurance and (2) portfolio insurance. While the credit bureau data used in our study allows us to determine whether a loan is insured, it does not enable us to distinguish the type of insurance on the loan. Despite this limitation, we provide a brief description of mortgage insurance in this appendix.

In Canada, federally regulated lenders and many provincially regulated financial institutions are required to insure mortgages with a down payment of less than 20% of the purchase price through transactional insurance (Crawford et al. [29]). Such loans are commonly referred to as high-ratio mortgages. This insurance type, purchased by the borrower, protects the lender if the borrower defaults on the mortgage loan.

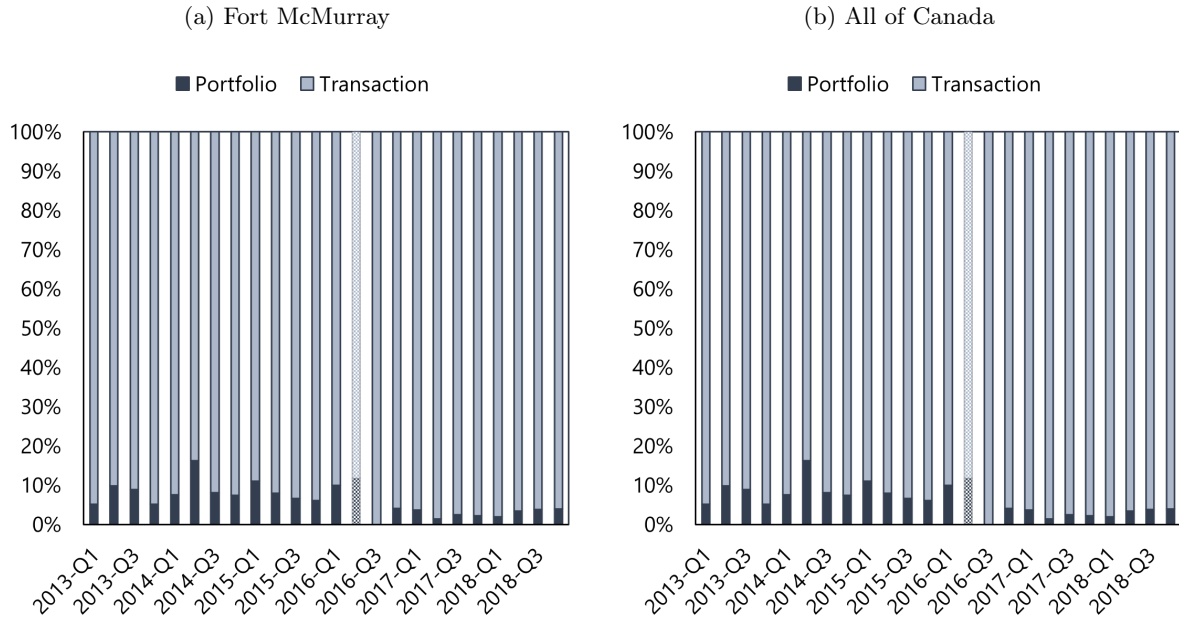
However, mortgages with down payments of greater than 20% can also be insured. These low-ratio loans are commonly insured through portfolio insurance but can also be insured on a transactional basis. Insuring low-ratio mortgages allows lenders to reduce the repayment risk on mortgages, as well as securitize loans through the National Housing Act Mortgage-Backed Securities (NHA MBS) (Crawford et al. [29]). Along with the Canadian Mortgage Bond (CMB), the NHA MBS supports the public policy objectives of providing efficient functioning, competitiveness, and stability of housing finance in Canada (Mordel and Stephens [87]).

Overall, three federally approved mortgage insurers exist in Canada: two private-label insurers, Sagen (formerly Genworth Canada) and Canada Guarantee, and the public insurer, Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC). Each receives an explicit government guarantee, which is activated if the insurer fails to honor its commitment to the mortgage lender. Being a crown corporation, CMHC mortgage insurance receives a 100% public guarantee, while the guarantee to private insurers is 90% (Mordel and Stephens [87]). Both public and private insurers are subject to limits on the total value of the new guarantees. For CMHC, this limit is \$600 billion, while for the private insurer, it is capped at \$300 billion.

Historically, the share of newly originated mortgages that are portfolio-insured in Fort McMurray has been low (Figure B.1a). Between 2013 and the first quarter of 2016, portfolio-insured mortgages in Fort McMurray accounted for an average of 9% of new origination (Table B.1, column 1). This observation is in stark contrast to the 38% national average for newly originated mortgages (Figure B.1b).

However, in 2016, the Department of Finance, Office of the Superintendent of Financial Institutions (OSFI), and CMHC implemented a series of policy changes aimed at managing housing market risk (CMHC [25]). Among these were policies aimed at tightening mortgage qualification criteria to address what OSFI deemed "relaxed mortgage underwriting practices by lenders." The most notable of these is the "stress-test" introduced in October 2016, which required high-ratio borrowers to qualify at the higher of the mortgage contract rate or the Bank of Canada conventional five-year fixed posted rate (Bilyk and

Figure B.1: Share of newly originated mortgages that are portfolio and transaction insured



Note: The chart shows the share of mortgages that are transaction or portfolio insured in the flow of newly originated mortgages. The shaded bar in chart (a) indicates the quarter wherein the wildfire started in Fort McMurray.

Table B.1: Mortgage origination by insurance type (average quarterly)

	2013 Q1 – 2016 Q1	2016 Q3 – 2018 Q4	Change
<i>Fort McMurray</i>	340	205	-39.7%
Portfolio	28	5	-82.1%
Transactional	312	200	-35.9%
<i>Canada</i>	102,890	74,420	-27.7%
Portfolio	39,498	24,908	-36.9%
Transactional	63,393	49,512	-21.9%

Source: Quarterly data on mortgage origination from CMHC and OSFI.

teNyenhuys [14]).¹ Moreover, CMHC increases securitization guarantee fees for NHA MBS and CMB to promote the development of private market funding alternatives for low-ratio portfolio insurance (CMHC [25]). These policies effectively contributed to a reduction in the number of mortgages originating, which coincided with the same period as the Fort McMurray wildfire (Table B.1, column 3). This aspect, combined with the fact that mortgage originations are relatively infrequent events, limits our ability to assess the impact of wildfires on originations.

B.2 Sensitivity Test

In this appendix, we conduct two robustness tests outlined in Abadie [2]. In Appendix B.2.1, we conducted a backdating exercise to check the sensitivity of our results to different model specifications. In Appendix B.2.2, we conducted a leave-one-out analysis to examine if the treatment effect estimates are driven by certain donors in the synthetic units. Overall, the results from our robustness checks supports our original findings.

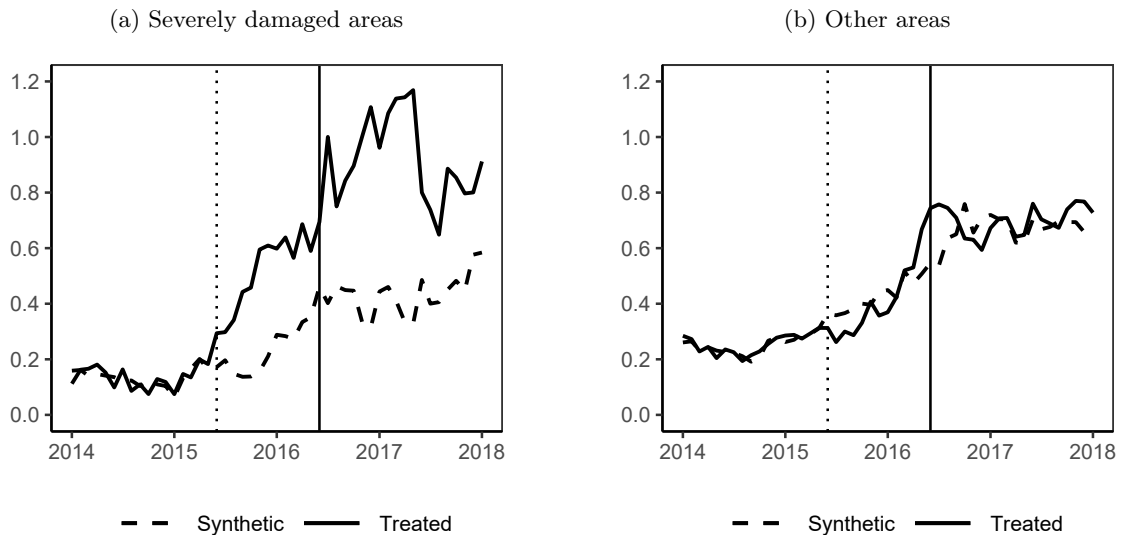
¹OSFI expanded the stress-test to include low-ratio mortgages in January, 2018.

B.2.1 Backdating the Intervention

As a placebo study, we hypothetically backdated the wildfire to May 2015, which is 12 months before the actual occurrence of the event. This exercise evaluates the credibility of our results by examining whether a shorter pre-treatment period would produce a similar synthetic control estimator that captures the surge in mortgage arrears since 2015 because of the oil price crash, as observed in Figure 2.3. It also addresses the potential existence of anticipation effects in 2016 owing to a longer fire season and changes in the fire prevention budget.

Specifically, we excluded the pretreatment period from May 2015 to April 2016 in estimating the synthetic weights (W^*) in equation (2.5) and the relative importance of the predictors (V) in equation (2.6). As the benchmark estimation included quarterly averaged data as predictors, for consistency, we excluded the quarterly average for 2015 Q2–Q4 and 2016 Q1 from the model. We also exclude the period from May 2015 to April 2016 when calculating the average log values of the outstanding mortgage balance. The results are presented in Figure B.2.

Figure B.2: Paths of actual and synthetic mortgage arrears (Backdated)



Note: The solid line is the observed arrears rate in the treated area. The dashed line is the arrears rate in the synthetic unit. The arrears rate is reported in percentage points. The vertical dotted line indicates the first period of the *backdated* intervention, that is, May 2015. The vertical solid line indicates the first period affected by the wildfire, that is, May 2016.

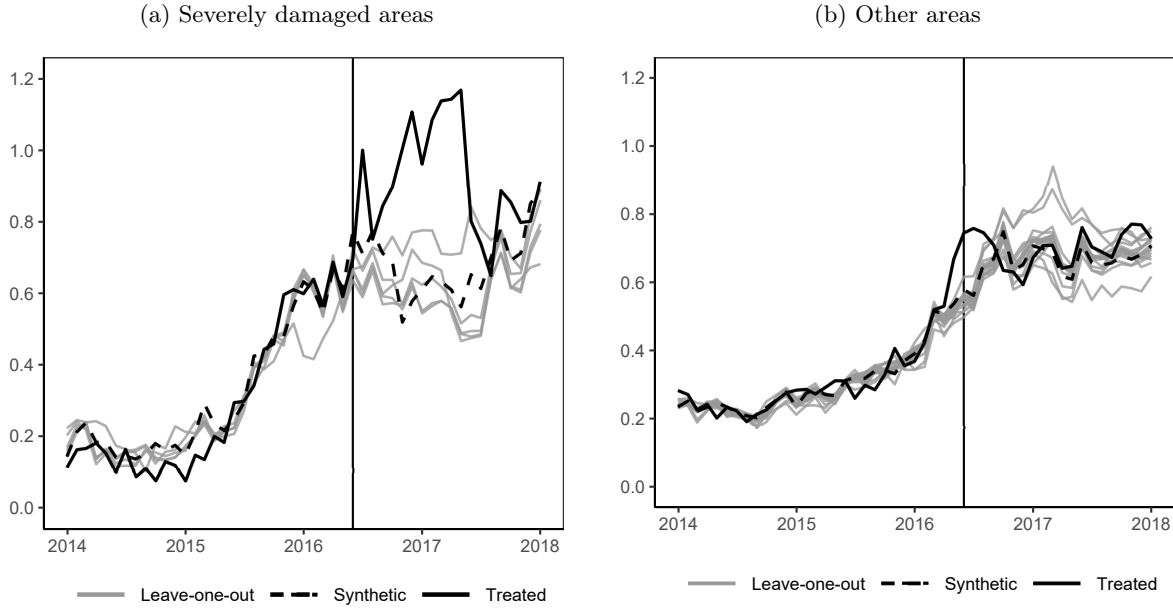
For severely damaged areas, we found that synthetic controls with backdated intervention produce *lower* levels of arrears, which implies larger treatment effects of wildfires. Although the backdated synthetic control estimator qualitatively shows a similar trend in mortgage arrears due to the oil price crash, this increase appeared only after 2016 and failed to reproduce the level of mortgage arrears between May 2015 and May 2016. These results suggest that including the pretreatment period from May 2015 to May 2016 (with a substantial increase in mortgage arrears) is essential for capturing the oil price effect on severely damaged areas.

In contrast, for the other areas in Fort McMurray, the backdated synthetic control estimator produced results very similar to the benchmark ones in Figure 2.4b. The different effects of backdating on severely damaged areas and other areas are attributed to the data-driven weights assigned by SCMs. In the benchmark estimation, the synthetic weights for the severely damaged areas are concentrated in five FSAs that heavily rely on the oil industry, while the synthetic weights for the other areas are spread across 13 FSAs with more diversified local economies.

B.2.2 Leave-One-Out Analysis

We conduct a leave-one-out exercise as suggested by Abadie [2]. Specifically, we exclude from the sample each of the FSAs that contribute to the synthetic control in Table 2.5 one-at-a-time and then re-estimate the synthetic control estimator using the subsample. In all, we conduct five leave-one-out exercises for severely damaged areas and sixteen such exercises for other areas, each of which was estimated using a (different) subsample of the 125 FSAs. This leave-one-out exercise is similar to Abadie et al. [4] in that we compare the leave-one-out estimates with the synthetic units for the severely damaged areas and the other areas. The results are presented in Figure B.3. Overall, these leave-one-out estimates track the original synthetic units and supports our original findings.

Figure B.3: Paths of actual and synthetic mortgage arrears (leave-one-out)



Note: The solid line is the observed arrears rate in the treated area. The dashed line is the arrears rate in the synthetic unit. The arrears rate is reported in percentage points, and the grey solid lines are the estimates from the leave-one-out synthetic units. The vertical solid black line indicates the first period affected by the wildfire, that is, May 2016.

B.3 Analysis on Credit Scores and Credit Card Balances

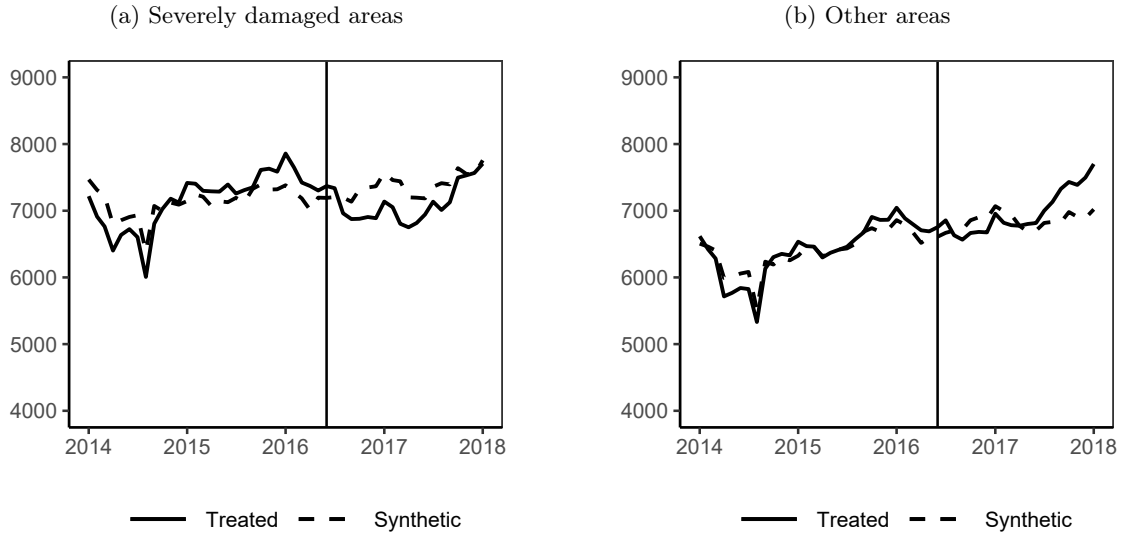
In this appendix, we provide detailed treatment effect estimates for credit scores and credit card balances. Overall, our results indicate that the wildfire effects are temporal and transitional, as discussed in Section 2.5.

For credit card outstanding balances, we modified our model specification accordingly to include quarterly averaged fraction of insured mortgage holders who have (1) credit card utilization between 60 and 80%, (2) credit card utilization at least 80%, (3) near-prime credit scores, and (4) subprime credit scores. We also included the average log values of the outstanding credit card balance from January 2014 to April 2016. The predictor variables are augmented by the quarterly averaged credit card balances to formulate our set of regional characteristics (X_i) as predictors (Z_i).

Results for the synthetic units are reported in Figure B.4 and the treatment effect estimates are reported in B.5. In both the severely damaged and other areas, the credit card balances decreased temporarily after the wildfire. Compared to the other areas, the severely damaged areas show a larger and more persistent decrease. The reduction in credit card balances was peaked at about \$500 in the first quarter of 2017, which coincides with the rising mortgage arrears rate. These results are consistent

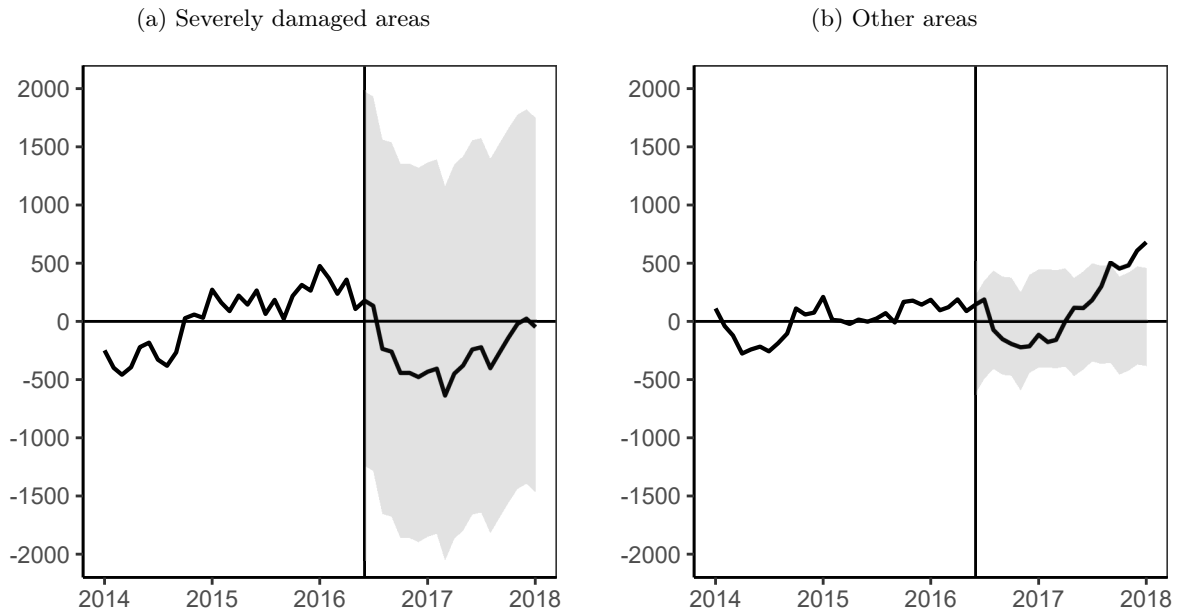
with reduced consumption due to the income and the wealth effects in response to a negative shock.² However, the negative effects of the wildfire in both areas are not statistically significant at 15% level.

Figure B.4: Paths of actual and synthetic credit card balances



Note: The solid line is the observed arrears rate in the treated area. The dashed line is the arrears rate in the synthetic unit. The arrears rate is reported in percentage points, and the vertical black line indicates the first period affected by the wildfire, that is, May 2016.

Figure B.5: Gap between actual and synthetic credit card balances



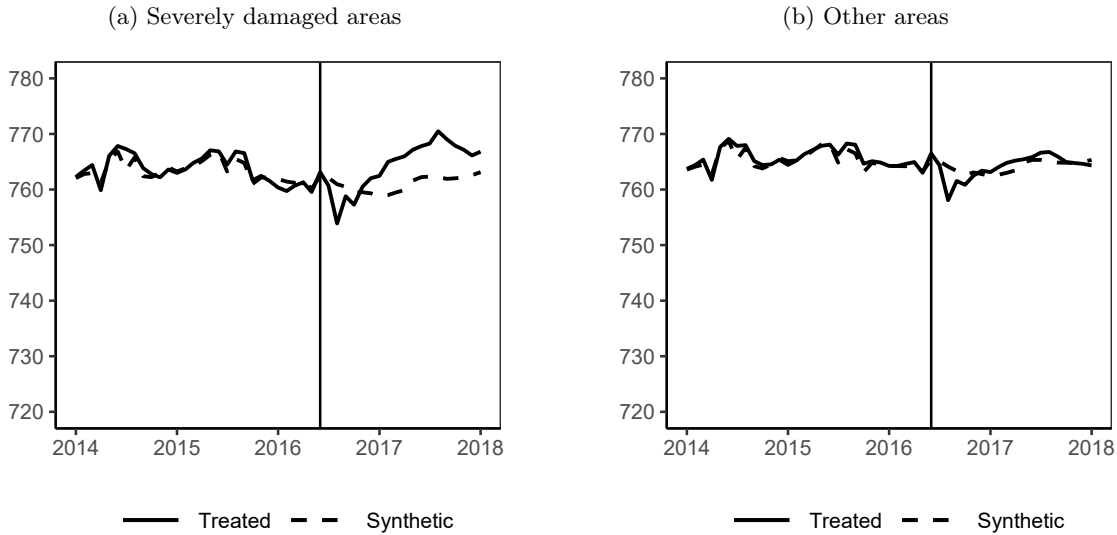
Note: The solid line refers to the point estimate of the treatment effect. The shaded area represents the 90% confidence set. The arrears rate (gap) is reported in percentage points, and the vertical black line indicates the first period affected by the wildfires, that is, May 2016. The 90% confidence set is calculated via the method proposed by Firpo and Possebom [40] and Ferman et al. [39]

²Note that the outstanding balances also include both revolving balances and the interest charges.

For consumer credit scores, we modified our model specification accordingly to include quarterly averaged fraction of insured mortgage holders who have (1) credit card utilization between 60 and 80%, (2) credit card utilization at least 80%, (3) near-prime credit scores, and (4) subprime credit scores. We also included the average log values of the outstanding insured mortgage balance from January 2014 to April 2016. The predictor variables are augmented by the quarterly averaged credit scores to formulate our set of regional characteristics (X_i) as predictors (Z_i).

Results for the synthetic units are reported in Figure B.6 and the treatment effect estimates are reported in B.7. Both severely damaged and other areas both exhibit a statistically significant drop in credit scores immediately after the wildfire. However, the decrease was short-lived and economically insignificant (5 points decrease out of an average of about 765).³ The average credit score for insured mortgage holders in the severely damaged areas statistically significant improved since 2017 as insurance claims being settled and homeowners emigrated from that area, while the average credit score in the other areas recovered around the same time and remained stable afterwards.

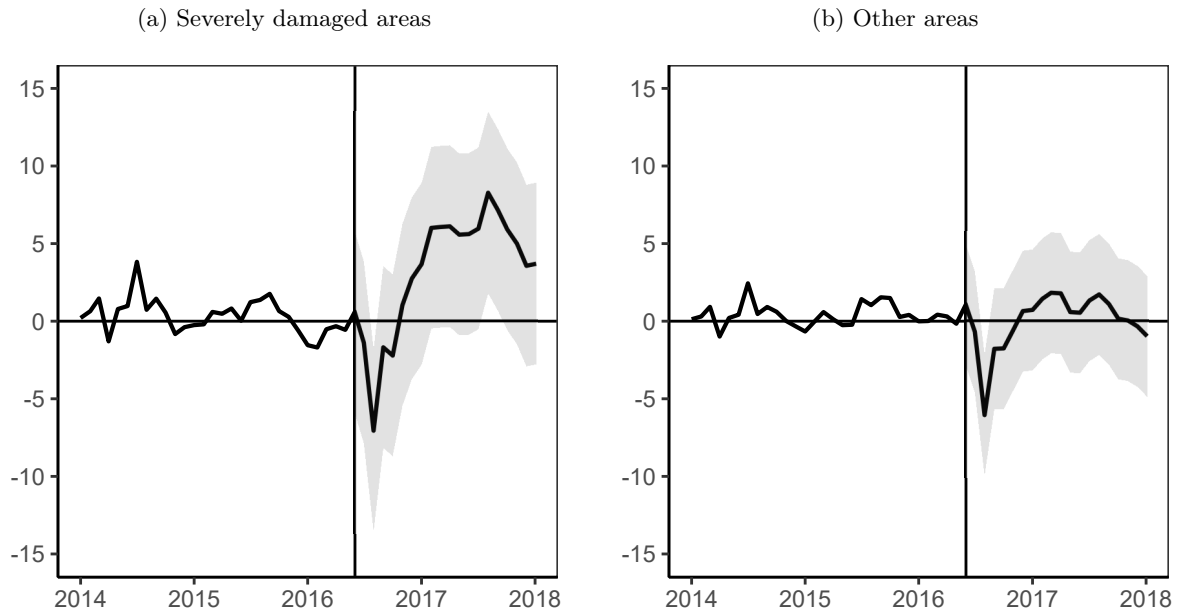
Figure B.6: Paths of actual and synthetic credit scores



Note: The solid line is the observed arrears rate in the treated area. The dashed line is the arrears rate in the synthetic unit. The arrears rate is reported in percentage points, and the vertical black line indicates the first period affected by the wildfire, that is, May 2016. According to TransUnion® scoring model, a good credit score is within the range of 721–780.

³According to TransUnion®, a good credit score is within the range of 721–780.

Figure B.7: Gap between actual and synthetic credit scores



Note: The solid line refers to the point estimate of the treatment effect. The shaded area represents the 90% confidence set. The arrears rate (gap) is reported in percentage points, and the vertical black line indicates the first period affected by the wildfires, that is, May 2016. The 90% confidence set is calculated via the method proposed by Firpo and Possebom [40] and Ferman et al. [39]

Appendix C

Appendix to Chapter 3

C.1 Public Safety Canada flood damage methodology

Estimating flood damage requires an understanding of three key components:

- flood hazard, which includes information on flood extents and depths at certain frequencies (expressed as the annual exceedance probability [AEP])
- flood exposure, which describes the valued assets in the path of the flood—in this case, residential properties
- flood consequence, which, in this case, is a modelled estimate of flood damage in dollars based on relationships between flood depths and building attributes, such as replacement value, presence of a basement and other characteristics

Public Safety Canada estimated the financial flood risk to residential addresses in Canada, expressed as the average annual loss (AAL): a combined dollar-value of expected damage to each address on an average annual basis. The current-day estimate of AAL for all residential addresses in Canada was estimated at Can\$2.92 billion for property and content damages.¹ This damage estimate is nearly identical to the AAL calculated under Public Safety Canada’s Flood Insurance and Relocation Project (published in the August 2022 Adapting to rising flood risk: An analysis of insurance solutions for Canada report).²

Estimating flood hazard

Flood hazard was estimated using two Canada flood hazard models:

- one from JBA Risk Management, which included three flood-generating mechanisms (fluvial, pluvial and coastal), flood defences and complete spatial coverage of Canada
- one from KatRisk, which included two flood-generating mechanisms (fluvial and pluvial), spatial coverage of Canada south of 60°N, and climate change scenarios

Both models provided the extent and depth of flooding at multiple return periods, which were used in the calculation of AAL. The AAL, 1-in-100 years and 1-in-500 years return periods were provided to the Bank of Canada. KatRisk models climate change by:

- adjusting local precipitation extremes using the Clausius-Clapeyron equation, which correlates temperature with water holding capacity of the atmosphere

¹Estimates used to assess financial institutions exposures differ because these only consider structural damage and omit content damage.

²In 2020, the Resilience and Economic Integration Division (REID) at Public Safety Canada began an assessment of flood damage to residential addresses as part of the Flood Insurance and Relocation Project. This assessment was used to support subsequent actuarial analysis and policy recommendations for a national flood insurance program in Canada, culminating in the August 2022 report, Adapting to rising flood risk: An analysis of insurance solutions for Canada. For any questions regarding this analysis, please contact communications@ps-sp.gc.ca

- using representative concentration pathway (RCP) scenarios, which are associated with different potential futures for carbon emissions (from low at 2.6 to high at 8.5). Flood damage was estimated for future climate scenarios RCP4.5 and RCP8.5 for the years 2050 and 2100.

Estimating flood exposure

Public Safety Canada developed a comprehensive exposure dataset from multiple sources, including:

- Lightbox / DMTI's CanMap address points
- Open Street Maps' building location data
- Microsoft building footprints
- Statistics Canada Open Database of Buildings
- Opta Intelligence building attribute data

The above datasets were evaluated by Public Safety Canada and then combined into a single residential address exposure dataset, which was subjected to a rigorous quality control procedure. For condominiums, individual units are often insured by condo corporations. As a result, the replacement value (and subsequently the loss potential) of apartment and condominium unit structure was set to zero, while contents value was set to \$50,000 for each unit based on input from industry experts.

Bibliography

- [1] AASTVEIT, K. A., A. CARRIERO, T. E. CLARK, AND M. MARCELLINO (2017): “Have standard VARs remained stable since the crisis?” *Journal of Applied Econometrics*, 32, 931–951.
- [2] ABADIE, A. (2021): “Using Synthetic Controls: Feasibility, Data Requirements, and Methodological Aspects,” *Journal of Economic Literature*, 59, 391–425.
- [3] ABADIE, A., A. DIAMOND, AND J. HAINMUELLER (2010): “Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California’s Tobacco Control Program,” *Journal of the American Statistical Association*, 105, 493–505.
- [4] ABADIE, A., A. DIAMOND, AND J. HAINMUELLER (2015): “Comparative Politics and the Synthetic Control Method,” *American Journal of Political Science*, 59, 495–510.
- [5] ALBERTA GOVERNMENT (2016): “Budget 2016: The Alberta Jobs Plan – Fiscal Plan,” Report, Alberta Treasury Board and Minister of Finance.
- [6] AMANO, R., M.-A. GOSSELIN, AND J. McDONALD-GUIMOND (2021): “Evolving Temperature Dynamics in Canada: Preliminary Evidence Based on 60 Years of Data,” Staff Working Papers 21-22, Bank of Canada Staff Working Papers.
- [7] AUERBACH, A. J. AND Y. GORODNICHENKO (2012): “Measuring the output responses to fiscal policy,” *American Economic Journal: Economic Policy*, 4, 1–27.
- [8] BARATTIERI, A., P. BORDA, A. BRUGNOLI, M. PELLI, AND J. TSCHOPP (2023): “The short-run, dynamic employment effects of natural disasters: New insights from Puerto Rico,” *Ecological Economics*, 205, 107693.
- [9] BARROT, J.-N. AND J. SAUVAGNAT (2016): “Input Specificity and the Propagation of Idiosyncratic Shocks in Production Networks,” *The Quarterly Journal of Economics*, 131, 1543–1592.
- [10] BASKER, E. AND J. MIRANDA (2017): “Taken by storm: business financing and survival in the aftermath of Hurricane Katrina,” *Journal of Economic Geography*, 18, 1285–1313.
- [11] BERG, K. A., C. C. CURTIS, AND N. MARK (2023): “GDP and temperature: Evidence on cross-country response heterogeneity,” *National Bureau of Economic Research Working Paper*.
- [12] BILLINGS, S. B., E. A. GALLAGHER, AND L. RICKETTS (2022): “Let the rich be flooded: The distribution of financial aid and distress after hurricane harvey,” *Journal of Financial Economics*, 146, 797–819.
- [13] BILYK, O., A. T. Y. HO, M. KHAN, AND ÈVE VALLÉE (2020): “Household indebtedness risks in the wake of COVID-19,” *Bank of Canada Staff Analytical Note*.
- [14] BILYK, O. AND M. TENYENHUIS (2018): “The Impact of Recent Policy Changes on the Canadian Mortgage Market,” *Bank of Canada Staff Analytical Note*.
- [15] BOLTON, P. AND M. KACPERCZYK (2020): “Do Investors Care about Carbon Risk?” Working Paper 26968, National Bureau of Economic Research.

- [16] BOWMAN, D. M. J. S., G. J. WILLIAMSON, J. T. ABATZOGLOU, C. A. KOLDEN, M. A. COCHRANE, AND A. M. S. SMITH (2017): “Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events,” *Nature Ecology & Evolution*, 1.
- [17] BURKE, M., J. DYKEMA, D. B. LOBELL, E. MIGUEL, AND S. SATYANATH (2015): “Incorporating Climate Uncertainty into Estimates of Climate Change Impacts,” *Review of Economics and Statistics*, 97, 461–471.
- [18] BURKE, M., S. M. HSIANG, AND E. MIGUEL (2015): “Global non-linear effect of temperature on economic production,” *Nature*, 527, 235–239.
- [19] BUSH, E. AND D. S. LEMMEN, eds. (2019): *Canada’s Changing Climate Report*, Government of Canada, chap. Changes in Temperature and Precipitation Across Canada, 112–193.
- [20] CATEAU, G., T. ROBERTS, AND J. ZHOU (2015): “Indebted households and potential vulnerabilities for the Canadian financial system: A microdata analysis,” *Bank of Canada Financial System Review*, 2015, 49–58.
- [21] CAVALLO, E., S. GALIANI, I. NOY, AND J. PANTANO (2013): “Catastrophic Natural Disasters and Economic Growth,” *Review of Economics and Statistics*, 95, 1549–1561.
- [22] CER (2017): “Residential Mortgage Industry Report,” techreport, Canadian Energy Regulator.
- [23] CHOI, S., D. FURCERI, AND S. Y. YOO (2024): “Heterogeneity in the effects of uncertainty shocks on labor market dynamics and extensive vs. intensive margins of adjustment,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, 162, 104859.
- [24] CIPOLLINI, A., F. PARLA, ET AL. (2023): “Temperature and Growth: a Panel Mixed Frequency VAR Analysis using NUTS2 data,” *Dipartimento di Economia Marco Biagi-Università di Modena e Reggio Emilia Working Paper Series*.
- [25] CMHC (2019): “Residential Mortgage Industry Report,” techreport, Canada Mortgage and Housing Corporation.
- [26] COCIUBA, S. E., E. C. PRESCOTT, AND A. UEBERFELDT (2018): “US hours at work,” *Economics Letters*, 169, 87–90.
- [27] COLACITO, R., B. HOFFMANN, AND T. PHAN (2019): “Temperature and growth: A panel analysis of the United States,” *Journal of Money, Credit and Banking*, 51, 313–368.
- [28] COULOMBE, R. G. AND A. RAO (2023): “Fires and Local Labor Markets,” Papers 2308.02739, arXiv.org.
- [29] CRAWFORD, A., C. MEH, AND J. ZHOU (2013): “The Residential Mortgage Market in Canada: A Primer,” Financial system review, Bank of Canada.
- [30] DAHLHAUS, T., T. DUPREY, AND C. JOHNSTON (2024): “Natural or fiscal disaster? Impact on provincial growth,” Staff working paper, forthcoming, Bank of Canada.
- [31] DAMANIA, R., S. DESBUREAUX, AND E. ZAVERI (2020): “Does rainfall matter for economic growth? Evidence from global sub-national data (1990–2014),” *Journal of Environmental Economics and Management*, 102, 102335.
- [32] DELL, M., B. F. JONES, AND B. A. OLKEN (2012): “Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century,” *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4, 66–95.
- [33] DERYUGINA, T., L. KAWANO, AND S. LEVITT (2018): “The Economic Impact of Hurricane Katrina on Its Victims: Evidence from Individual Tax Returns,” *American Economic Journal: Applied Economics*, 10, 202–33.
- [34] DUPREY, T. AND V. FERNANDES (2024): “Natural disasters and provincial inflation: the perfect storm,” Staff working paper, forthcoming, Bank of Canada.

- [35] DUPREY, T., S. JO, AND G. VALLÉE (2024): “Let’s Get Physical: Impacts of Climate Change Physical Risks on Provincial Employment,” Staff working paper 2024-32, Bank of Canada.
- [36] DUPREY, T., C. JONES, C. SYMMERS, AND ÈVE VALLÉE (2021): “Household financial vulnerabilities and physical climate risks,” Staff Analytical Notes 2021-19, Bank of Canada.
- [37] EDMISTON, K. D. (2017): “Financial Vulnerability and Personal Finance Outcomes of Natural Disasters,” Research Working Paper RWP 17-9, Federal Reserve Bank of Kansas City.
- [38] FAVILUKIS, J., S. C. LUDVIGSON, AND S. VAN NIEUWERBURGH (2017): “The Macroeconomic Effects of Housing Wealth, Housing Finance, and Limited Risk Sharing in General Equilibrium,” *Journal of Political Economy*, 125, 140–223.
- [39] FERMAN, B., C. PINTO, AND V. POSSEBOM (2020): “Cherry Picking with Synthetic Controls,” *Journal of Policy Analysis and Management*, 39, 510–532.
- [40] FIRPO, S. AND V. POSSEBOM (2018): “Synthetic Control Method: Inference, Sensitivity Analysis and Confidence Sets,” *Journal of Causal Inference*, 6.
- [41] FLAMMER, C. (2021): “Corporate green bonds,” *Journal of Financial Economics*.
- [42] FLANNIGAN, M., B. WOTTON, G. MARSHALL, W. DE GROOT, J. JOHNSTON, N. JURKO, AND A. CATIN (2015): “Fuel moisture sensitivity to temperatures and precipitation: climate change implications,” *Climatic Change*, 134, 59–71.
- [43] GALLAGHER, J. AND D. HARTLEY (2017): “Household Finance after a Natural Disaster: The Case of Hurricane Katrina,” *American Economic Journal: Economic Policy*, 9, 199–228.
- [44] GALIC, E. AND G. VERMANDEL (2020): “Weather shocks,” *European Economic Review*, 124.
- [45] GILLETT, N., A. WEAVER, F. ZWIERS, AND M. FLANNIGAN (2004): “Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires,” *Geophysical Research Letters*, 31.
- [46] GOLLIER, C. (2014): “Discounting and Growth,” *American Economic Review*, 104, 534–537.
- [47] GOOGLE CRISIS MAP (2016): “Fort McMurray Fire 2016,” .
- [48] GRAFF ZIVIN, J. AND M. NEIDELL (2014): “Temperature and the allocation of time: Implications for climate change,” *Journal of Labor Economics*, 32, 1–26.
- [49] GROEN, J. A., M. J. KUTZBACH, AND A. E. POLIVKA (2016): “Storms and Jobs: The Effect of Hurricanes on Individuals’ Employment and Earnings over the Long Term,” *Journal of Labour Economics*, 38, 653–685.
- [50] GROEN, J. A., M. J. KUTZBACH, AND A. E. POLIVKA (2020): “Storms and Jobs: The Effect of Hurricanes on Individuals’ Employment and Earnings over the Long Term,” *Journal of Labor Economics*, 38, 653–685.
- [51] HANES, C. C., X. WANG, P. JAIN, M.-A. PARISIEN, J. M. LITTLE, AND M. D. FLANNIGAN (2019): “Fire-regime changes in Canada over the last half century,” *Canadian Journal of Forest Research*, 49, 256–269.
- [52] HO, A. T., K. P. HUYNH, D. T. JACHO-CHÁVEZ, AND ÈVE VALLÉE (2023): “We didn’t start the fire: Effects of a natural disaster on consumers’ financial distress,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 119, 102790.
- [53] HO, A. T. Y., L. MORIN, H. J. PAARSCH, AND K. P. HUYNH (2022): “Consumer credit usage in Canada during the coronavirus pandemic,” *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d’économique*, 55, 88–114.
- [54] HOSONO, K., D. MIYAKAWA, T. UCHINO, M. HAZAMA, A. ONO, H. UCHIDA, AND I. UESUGI (2016): “Natural Disasters, Damage to Banks, and Firm Investment,” *International Economic Review*, 57, 1335–1370.

- [55] HSU, P.-H., H.-H. LEE, S.-C. PENG, AND L. YI (2018): “Natural Disasters, Technology Diversity, and Operating Performance,” *The Review of Economics and Statistics*, 100, 619–630.
- [56] HUSTED, T. AND D. NICKERSON (2019): “Disaster Risk, Moral Hazard, and Public Policy,” in *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, Oxford University Press.
- [57] HUYNH, K., Y. OSTROVSKY, P. R. J, AND M. VOIA (2017): “Industry shutdown rates and permanent layoffs: evidence from firm-worker matched data,” *IZA Journal of Labor Economics*.
- [58] IBRAHIM, D. (2016): “Canadians’ experiences with emergencies and disasters, 2014,” Tech. rep., Statistics Canada.
- [59] IMADA, Y., H. SHIOGAMA, C. TAKAHASHI, M. WATANABE, M. MORI, Y. KAMAE, AND S. MAEDA (2018): “Climate change increases the likelihood of the 2016 heat extremes in Asia,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99, S97–S101.
- [60] INSURANCE BUREAU OF CANADA (2021): “2021 Facts of the Property and Casualty Insurance Industry in Canada,” .
- [61] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007): “Summary for Policymakers,” Tech. rep., S. Solomon and D. Qin and M. Manning and M. Marquis and K. Averyt and M. B. Tignor and H. L. Miller and Z. Chen (Eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, New York.
- [62] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2013): “Summary for Policymakers,” Tech. rep., T. F. Stocker and D. Qin and G.-K. Plattner and M. Tignor and S. K. Allen and J. Boschung and A. Nauels and Y. Xia and V. Bex and P. M. Midgley (Eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, New York.
- [63] ISSLER, P., R. H. STANTON, C. VERGARA-ALERT, AND N. E. WALLACE (2019): “Housing and Mortgage Markets with Climate Risk: Evidence from California Wildfires,” *SSRN Electronic Journal*.
- [64] JARMIN, R. S. AND J. MIRANDA (2009): “The Impact of Hurricanes Katrina, Rita and Wilma on Business Establishments,” *Journal of Business Valuation and Economic Loss Analysis*, 4, 1–29.
- [65] JOHNSTON, C., G. VALLÉE, H. HOSSEINI, B. LINDSAY, M. MOLICO, M.-C. TREMBLAY, AND A. WITTS (2023): “Climate-Related Flood Risk to Residential Lending Portfolios in Canada,” Staff discussion paper 2023-33, Bank of Canada.
- [66] JOHNSTON, J. M., M. J. WOOSTER, R. PAUGAM, X. WANG, T. J. LYNHAM, AND L. M. JOHNSTON (2017): “Direct estimation of Byram’s fire intensity from infrared remote sensing imagery,” *International Journal of Wildland Fire*, 26, 668.
- [67] JORDÁ, O. (2005): “Estimation and Inference of Impulse Responses by Local Projections,” *American Economic Review*, 95, 161–182.
- [68] KELLENBERG, D. K. AND A. M. MOBARAK (2008): “Does rising income increase or decrease damage risk from natural disasters?” *Journal of Urban Economics*, 63, 788–802.
- [69] KILEY, M. T. (2021): “Growth at Risk From Climate Change,” *Finance and Economics Discussion Series*.
- [70] KIM, H. S., C. MATTHES, AND T. PHAN (Forthcoming): “Severe Weather and the Macroeconomy,” *American journal of economics: Macroeconomics*.
- [71] KIRCHMEIER-YOUNG, M. C., N. P. GILLET, F. W. ZWIERS, A. J. CANNON, AND F. S. ANSLOW (2019): “Attribution of the Influence of Human-Induced Climate Change on an Extreme Fire Season,” *Earth’s Future*, 7, 2–10.
- [72] KIRCHMEIER-YOUNG, M. C., F. W. ZWIERS, N. P. GILLET, AND A. J. CANNON (2017): “Attributing extreme fire risk in Western Canada to human emissions,” *Climatic Change*, 144, 365–379.

- [73] KNUTSON, T. R., J. KAM, F. ZENG, AND A. T. WITTENBERG (2018): “CMIP5 model-based assessment of anthropogenic influence on record global warmth during 2016,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99, S11–S15.
- [74] KOROBILIS, D. (2013): “Assessing the transmission of monetary policy using time-varying parameter dynamic factor models,” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 75, 157–179.
- [75] KOUSKY, C. (2019): “The Role of Natural Disaster Insurance in Recovery and Risk Reduction,” *Annual Review of Resource Economics*, 11, 399–418.
- [76] KOUSKY, C. AND R. COOKE (2012): “Explaining the Failure to Insure Catastrophic Risks,” *The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice*, 37, 206–227.
- [77] KPMG (2017): “Lessons Learned and Recommendations from the 2016 Horse River Wildfire,” Tech. rep., Regional Municipality of Wood Buffalo.
- [78] KREMENS, R. L., M. B. DICKINSON, AND A. S. BOVA (2012): “Radiant flux density, energy density and fuel consumption in mixed-oak forest surface fires,” *International Journal of Wildland Fire*, 21, 722.
- [79] KUMAR, S. S., D. P. ROY, L. BOSCHETTI, AND R. KREMENS (2011): “Exploiting the power law distribution properties of satellite fire radiative power retrievals: A method to estimate fire radiative energy and biomass burned from sparse satellite observations,” *Journal of Geophysical Research*, 116.
- [80] LEDUC, S. AND D. J. WILSON (2024): “Snow Belt to Sun Belt Migration: End of an Era?” *Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper*, 2024-21.
- [81] LEWIS, T. AND D. NICKERSON (1989): “Self-insurance against natural disasters,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 16, 209–223.
- [82] LINNEROOTH-BAYER, J., R. MECHLER, AND S. HOCHRAINER (2011): “Insurance against Losses from Natural Disasters in Developing Countries. Evidence, Gaps and the Way Forward,” *IDRiM Journal*, 1, 59–81.
- [83] MAMUJI, A. A. AND J. L. ROZDILSKY (2018): “Wildfire as an increasingly common natural disaster facing Canada: understanding the 2016 Fort McMurray wildfire,” *Natural Hazards*, 98, 163–180.
- [84] MEIER, S., R. J. ELLIOTT, AND E. STROBL (2023): “The regional economic impact of wildfires: Evidence from Southern Europe,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 118, 102787.
- [85] MINISTERS RESPONSIBLE FOR EMERGENCY MANAGEMENT (2017): “An Emergency Management Framework for Canada,” Third edition, Public Safety Canada.
- [86] MIYAMOTO, W., T. L. NGUYEN, AND V. SHEREMIROV (2019): “The effects of government spending on real exchange rates: Evidence from military spending panel data,” *Journal of International Economics*, 116, 144–157.
- [87] MORDEL, A. AND N. STEPHENS (2015): “Residential Mortgage Securitization in Canada: A Review,” *Bank of Canada Financial System Review*.
- [88] MORSE, A. (2011): “Payday lenders: Heroes or villains?” *Journal of Financial Economics*, 102, 28 – 44.
- [89] NGFS (2019): *A call for action: Climate change as a source of financial risk*.
- [90] OECD (2003): *Emerging Risks in the 21st Century*, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- [91] OUAZAD, A. AND M. E. KAHN (2019): “Mortgage Finance in the Face of Rising Climate Risk,” Working Paper 26322, National Bureau of Economic Research.

- [92] PAUDEL, J. (2021): “Environmental Disasters and Property Values: Evidence from Nepal’s Forest Fires,” *Land Economics*, 98, 115–131.
- [93] PAUDEL, J. (2021): “Short-run environmental effects of COVID-19: Evidence from forest fires,” *World Development*, 137, 105120.
- [94] PEDERSEN, L. H., S. FITZGIBBONS, AND L. POMORSKI (2020): “Responsible investing: The ESG-efficient frontier,” *Journal of Financial Economics*.
- [95] RATCLIFFE, C., W. CONGDON, D. TELES, A. STANCZYK, AND C. MARTÍN (2020): “From Bad to Worse: Natural Disasters and Financial Health,” *Journal of Housing Research*, 29, S25–S53.
- [96] RAYKOV, R. AND C. SILVA-BUSTON (2020): “Holding company affiliation and bank stability: Evidence from the US banking sector,” *Journal of Corporate Finance*, 65, 101739.
- [97] RAYKOV, R. S. (2014): “Catastrophe insurance equilibrium with correlated claims,” *Theory and Decision*, 78, 89–115.
- [98] STATISTICS CANADA (2017): “Infographic: Fort McMurray 2016 Wildfire – Economic Impact,” Tech. Rep. 11-627-M2017007, Statistics Canada.
- [99] STRACHAN, R. W. AND H. K. VAN DIJK (2013): “Evidence on features of a DSGE business cycle model from Bayesian model averaging,” *International Economic Review*, 54, 385–402.
- [100] TEDIM, F., V. LEONE, M. AMRAOUI, C. BOUILLON, M. R. COUGHLAN, G. M. DELOGU, P. M. FERNANDES, C. FERREIRA, S. MCCAFFREY, T. K. MCGEE, J. PARENTE, D. PATON, M. G. PEREIRA, L. M. RIBEIRO, D. X. VIEGAS, AND G. XANTHOPOULOS (2018): “Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts,” *Fire*, 1.
- [101] THE INSURANCE INSTITUTE OF CANADA (2020): “Climate Risks: Implications for the Insurance Industry in Canada,” Tech. rep., The Insurance Institute of Canada.
- [102] TRAN, B. R. AND D. J. WILSON (2023): “The local economic impact of natural disasters,” *Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper*.
- [103] TRANSUNION (2015): “Negative Credit Impact from Plunge in Oil Prices May Have Only Begun in Alberta and Saskatchewan,” Tech. rep., TransUnion Oil Study.
- [104] VINCENT, L. A., M. M. HARTWELL, AND X. L. WANG (2020): “A Third Generation of Homogenized Temperature for Trend Analysis and Monitoring Changes in Canada’s Climate,” *Atmosphere-Ocean*.
- [105] WALSH, J. E., R. L. THOMAN, U. S. BHATT, P. A. BIENIEK, B. BRETTSCHEIDER, M. BRUBAKER, S. DANIELSON, R. LADER, F. FETTERER, K. HOLDERIED, K. IKEN, A. MAHONEY, M. MCCAMMON, AND J. PARTAIN (2018): “The high latitude marine heat wave of 2016 and its impacts on Alaska,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99, S39–S43.
- [106] WILLIAMS, N. (2016): “Canada fire hit as government cut spending on prevention, planes,” *Reuters*.
- [107] WILSON, D. J. (2019): “Clearing the Fog: The Predictive Power of Weather for Employment Reports and Their Asset Price Responses,” *American Economic Review: Insights*, 1, 373–88.
- [108] ZEENAT FOUZIA, S., J. MU, AND Y. CHEN (2020): “Local labour market impacts of climate-related disasters: a demand-and-supply analysis,” *Spatial Economic Analysis*, 15, 336–352.

Geneviève C. VALLÉE

Essais sur les risques physiques du changement climatique pour l'économie et le système financier canadiens

Résumé :

Cette thèse présente trois papiers de recherche qui visent à mettre en lumière la propagation des chocs des catastrophes naturelles à travers l'économie et le système financier. Étant donné que le changement climatique mondial augmente la fréquence et la gravité des catastrophes naturelles, il est essentiel de comprendre quels sont les agents économiques les plus exposés et comment ces risques sont transférés dans l'économie afin d'élaborer des politiques solides visant à atténuer les effets des catastrophes. Ainsi, le premier chapitre étudie l'effet des catastrophes naturelles sur les marchés du travail et constate un effet significatif sur la croissance des salaires. Le deuxième chapitre examine plus en détail les finances des ménages et révèle une augmentation significative des défauts de paiement des prêts hypothécaires à la suite de feux de forêt. Enfin, le dernier chapitre examine les risques encourus par les prêteurs hypothécaires. Il constate que les risques sont principalement supportés par les ménages, ce qui atténue l'impact sur les prêteurs hypothécaires résidentiels. Toutefois, certains prêteurs dont le portefeuille de prêts est plus concentré géographiquement sont confrontés à un risque accru de catastrophes naturelles.

Mots clés : Inférence causale, Risques physiques, Changement climatique, Finances des ménages, Contrôle synthétique, Méthode de projection locale

Essays on physical risks of climate change on the Canadian economy and financial system

Abstract :

This thesis presents three research papers that aim to shed light on the propagation of natural disaster shocks across the economy and financial system. Since global climate change is increasing the frequency and severity of natural disasters, understanding which economic agents hold the most risk and how these risks are transferred in the economy is key to developing robust policies to mitigate the impacts from disasters. As such, the first chapter explores the effect of natural disasters on labour markets and find a significant effect on wage growth. The second chapter delves deeper into household finances and finds a significant increase in mortgage defaults from a wildfire. Finally, the last chapter tracks these risk to mortgage lenders. It finds that risks are primarily born by households, effectively mitigating the impact on residential mortgage lenders. However, some lenders which have a higher degree of geographical concentration of their lending portfolio do face heighten risk from natural disasters.

Keywords : Causal inference, Physical risks, Climate change, Household finance, Synthetic control, Local projection method