



Parlons changements climatiques: Région du Québec



Bureau du scientifique en chef des écosystèmes

Version 1.0 (11 juillet 2017)

Parlons changements climatiques : Région du Québec

Scott Parker* et Patrick Nantel
Parcs Canada, Bureau du scientifique en chef des écosystèmes

*Coordonnées: 248, chemin Big Tub, Tobermory (Ontario) N0H 2R0 (e.scott.parker@pc.gc.ca)

Un remerciement particulier aux personnes suivantes: Gilles Seutin, Ryan Eagleson, Yanick Laliberté Tremblay, Liz Nelson, Nadia Ménard, Sébastien Renard, Claude Samson, Cavan Harpur, Dan McKenney, Pia Papadopol, Jean-François Gobeil, Gavin Manson, Nicole Couture et Claire LaCroix.

Ce rapport fait partie d'une série de documents qui présentent une synthèse régionale des tendances et des répercussions observées et prévues des changements climatiques pour les parcs nationaux, les aires marines nationales de conservation et certains lieux historiques nationaux. Il s'agit d'un document interne de Parcs Canada; il a pour but d'encourager et d'éclairer des conversations élargies et d'appuyer des mesures locales de lutte contre les changements climatiques.

Les régions de la série *Parlons changements climatiques* sont définies en fonction de similitudes opérationnelles et biogéoclimatiques, et comprennent : 1) Région de l'Atlantique, 2) Région du Québec, 3) Région des Grands Lacs, 4) Région des Prairies et des plaines boréales, 5) Région des montagnes, 6) Région du Pacifique, 7) Région du Nord-Ouest et 8) Région de l'Arctique et des plaines hudsoniennes.

Ce rapport et les autres rapports de la série sont disponibles sur le site Web SharePoint Changements climatiques de Parcs Canada:

<http://collaboration/sites/PD010/SitePages/Home.aspx>

Table des matières

1. Présentation.....	4
1.1. Le concept de « solution naturelle »	4
2. Tendances climatiques observées et prévues.....	6
2.1 Méthodes.....	6
2.2 Synthèses des changements climatiques par région.....	7
2.2.1 Effets environnementaux	7
Parc national du Canada Forillon.....	11
Lieu historique national du Canada des Fortifications-de-Québec.....	12
Parc national du Canada de la Mauricie	13
Lieu historique national du Canal-de-Lachine.....	14
Réserve de parc national du Canada de l’Archipel-de-Mingan	15
Parc marin du Saguenay–Saint Laurent.....	16
2.2.2 Effets sur les ressources	21
Écosystèmes et biodiversité	21
Expérience du visiteur.....	23
Biens et infrastructures	25
Ressources culturelles	26
3. Mesures face aux changements climatiques	26
3.1 Adaptation.....	26
3.2 Atténuation.....	27
3.3 Étapes suivantes possibles	29
4. Références.....	30
Annexe 1. Projections des changements climatiques	37

1. Présentation

Le cinquième et plus récent rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014) établit que le réchauffement du système climatique planétaire est sans équivoque, et « depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis des décennies voire des millénaires ». L'activité humaine a fait augmenter les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (GES) à des niveaux jamais observés depuis au moins 800 000 ans. Dans le monde entier, l'évolution rapide du climat a de profondes répercussions sur nos systèmes socio-écologiques, en amplifiant les risques existants et en en créant de nouveaux.

Au Canada, le taux de réchauffement est environ le double du taux mondial (et encore plus important dans les régions nordiques) et les trois dernières décennies ont été les plus chaudes depuis au moins 1 400 ans. Parmi les changements observés, mentionnons une évolution de la répartition des espèces et de leur abondance, le recul des glaciers, la fonte du pergélisol, la diminution de la glace de mer, la rupture précoce des glaces, l'augmentation des feux de forêt, la montée du niveau de la mer le long de certaines côtes, des modifications à la phénologie et l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les vagues de chaleur, les sécheresses, les fortes précipitations, etc. (p. ex., Lemmen *et al.*, 2016; Warren et Lemmen, 2014). Les risques et les effets se font sentir dans l'ensemble de Parcs Canada, tant sur les écosystèmes et les ressources culturelles que nous protégeons, les installations et infrastructures que nous construisons et entretenons, que sur les expériences que nous proposons aux visiteurs. Plus préoccupant encore, ces impacts devraient augmenter dans les décennies à venir. Il s'agit d'un contexte incertain et complexe qui va mettre à l'épreuve la capacité d'adaptation et l'efficacité des politiques, de la planification et des cadres de gestion.

Afin de faire avancer les efforts d'intervention locaux face aux changements climatiques, ce document fait partie d'une série de rapports régionaux qui offrent une information résumée accessible sur les changements climatiques dans les parcs nationaux, les aires marines nationales de conservation (AMNC) et certains des lieux historiques nationaux. Pour certains sites, ce document servira de base à des échanges préliminaires sur les changements climatiques; pour d'autres, le contenu sera dépassé par le besoin d'évaluations plus détaillées de la vulnérabilité, de stratégies d'adaptation et d'outils d'aide à la décision. Dans tous les cas, l'intention est d'encourager les personnes et les différents sites à discuter de changements climatiques, de leur donner les moyens de le faire, tant à l'interne qu'à l'externe, et de tenir compte des défis dans le contexte qui leur est propre.

1.1. Le concept de « solution naturelle »

Comment Parcs Canada réagit aux changements climatiques est une question d'importance, puisque l'agence est responsable d'aires de conservation et d'aires protégées, le plus grand propriétaire de terres fédérales et le troisième gestionnaire fédéral d'actifs au pays. Dans les plans et programmes régionaux, nationaux et internationaux, Parcs Canada entend promouvoir les aires protégées en tant que « solutions naturelles » aux changements climatiques (p. ex., Dudley *et al.*, 2010; Lopoukhine *et al.*, 2012; NAWPA, 2012).

En tant que solutions naturelles, des aires protégées bien conçues et gérées de manière efficace peuvent jouer plusieurs rôles importants dont ceux-ci :

- atténuer les changements climatiques par la séquestration et le stockage du carbone par les forêts, les milieux humides côtiers (« carbone bleu ») et d'autres écosystèmes naturels;
- protéger la biodiversité en fournissant un refuge pour les espèces;
- améliorer la connectivité et les déplacements des espèces à l'intérieur et entre les réseaux d'aires protégées;
- fournir des biens et services écosystémiques essentiels tels qu'eau propre, contrôle de l'érosion, protection contre les inondations et les eaux pluviales, diversité génétique, possibilités sur le plan culturel, etc.;
- servir d'espace de référence pour la recherche et le suivi sur les changements climatiques;
- fournir un contexte d'apprentissage social, de bonne gouvernance et de gestion adaptative;
- aider les personnes et les communautés à s'adapter en soutenant des économies durables et résilientes dans les aires protégées et aux alentours, et promouvoir le bien-être social (p. ex., parcs en santé — population en santé).
- assurer une intendance environnementale par des pratiques de conservation et de conception écologique (« design vert ») et;
- susciter et faciliter des expériences significatives qui contribuent à inspirer, éclairer et orienter les mesures prises en réponse aux changements climatiques.



Figure 1. Parcs nationaux, parcs marins et lieux historiques nationaux inclus dans cette évaluation régionale.

2. Tendances climatiques observées et prévues

Ce chapitre résume spécifiquement, par site, les tendances historiques de la température et des précipitations observées ainsi que des projections du climat futur. Ces projections présentent un sous-ensemble seulement des variables climatiques disponibles aux fins d'analyse et de présentation (voir l'annexe 1).

2.1 Méthodes

Les données historiques de température moyenne mensuelle et du total des précipitations observées ont été consultées sur le site Web de Données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées (<http://www.ec.gc.ca/dccha-ahccd/default.asp?lang=Fr&n=B1F8423A-1>) pour les stations climatologiques situées dans les aires protégées ou les plus proches de celles-ci. Les stations de relevés de température et de précipitations n'étaient pas toujours situées au même endroit; on a préféré retenir les stations disposant d'enregistrements de données sur les plus longues périodes et de données les plus récentes pour une aire protégée particulière. Toutes les années disponibles ont été incluses et la tendance a été estimée en utilisant un modèle linéaire généralisé avec des intervalles de confiance de 95 % (R Core Team, 2014). Aux fins de l'analyse, l'hiver correspond aux mois de décembre, janvier et février; le printemps, aux mois de mars, avril et mai; l'été, aux mois de juin, juillet et août et l'automne, aux mois de septembre, octobre et novembre.

On a préparé un tableau avec les projections des changements climatiques pour le centroïde géographique de chaque aire protégée. On a fourni des descriptions saison par saison pour s'accorder avec les évaluations précédentes (Scott et Suffling (2000)) et tenir compte de la saisonnalité des activités et des opérations. Les projections climatiques ont été établies suivant Price *et al.* (2011) en utilisant la moyenne de quatre modèles de circulation générale (MCG) et les scénarios du profil représentatif d'évolution de concentration (RCP) de GES le plus élevé et le plus bas. Le scénario RCP 2.6 (le plus bas) suppose que des mesures sont prises et que les émissions de GES atteignent un sommet en 2010-2020 pour diminuer ensuite. Le scénario RCP 8.5 (le plus élevé) suppose qu'aucune mesure n'est prise et que les émissions continuent d'augmenter tout au long du 21^e siècle. Les figures 2 et 3 comprennent également une projection fondée sur le scénario RCP 4.5 dans lequel les émissions atteignent un sommet autour de 2040, puis diminuent.

Les niveaux d'élévation pour chaque site sont extraites de l'Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes (OCANEE, <http://www.bio.gc.ca/science/data-donnees/index-fr.php>). « Les niveaux d'élévation représentent les changements recommandés de l'élévation de l'infrastructure côtière requise pour maintenir le niveau actuel de risque d'inondation dans un scénario futur de hausse du niveau de la mer. » Ces estimations sont basées sur une projection de la hausse future du niveau de la mer au niveau régional selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 et les données historiques sur les niveaux d'eau, y compris les marées et les ondes de tempête. Les données historiques n'intègrent pas les variations prévues des marées de tempête.

2.2 Synthèses des changements climatiques par région

2.2.1 Effets environnementaux

- Depuis 1950, la moyenne annuelle de la température de l'air dans la région a augmenté de 1 à 3 °C. (Ouranos, 2015). Ce réchauffement devrait se poursuivre et les modèles indiquent une nouvelle hausse de 3 à 8 °C d'ici 2100, en fonction de l'emplacement et du scénario RCP utilisé.
- Le déplacement projeté des isothermes vers les pôles montre l'étendue et la vitesse des changements climatiques au Québec. Par exemple, l'isotherme de 5 °C qui caractérise la température annuelle moyenne de Montréal devrait remonter jusqu'à 240 km au nord d'ici 2080 (figure 7). La configuration spatiale des précipitations (isohyètes) devrait être toutefois plus stable.
- Le réchauffement sera beaucoup plus rapide dans le nord-ouest du Québec (jusqu'à 0,05 °C/an) par rapport au sud-est du Québec (jusqu'à 0,035 °C/an; voir la figure 8; Berteaux *et al.*, 2014).
- Les régimes de précipitations ont varié, avec une augmentation générale au printemps et en automne et une légère diminution des précipitations hivernales dans le sud du Québec depuis 1950 (Ouranos, 2015). Les précipitations annuelles totales devraient augmenter avec une certaine variabilité saisonnière et régionale (exception faite d'une diminution de la quantité de neige dans certaines régions du sud du Québec) (Logan *et al.*, 2011; Ouranos, 2015).
- Les débits des cours d'eau en hiver devraient augmenter dans l'ensemble du Québec (p. ex., plus d'épisodes de gel/dégel). Les débits au printemps et en automne devraient augmenter dans le nord et diminuer dans le sud (p. ex., une évapotranspiration plus importante) (Logan *et al.*, 2011; Ouranos, 2015). La sécheresse pendant l'été devrait augmenter dans le sud du Québec (GIEC, 2012; Ouranos, 2015).
- Pour la période 1979-2009, la température des eaux de surface a augmenté de 0,55 °C/décennie dans le nord-est du golfe du Saint-Laurent et de 0,36 °C/décennie dans l'estuaire du Saint-Laurent (Loder *et al.*, 2013). En général, les projections indiquent un réchauffement supplémentaire de 1 à 3 °C d'ici 2100 (Capotondi *et al.*, 2012).
- L'infiltration d'eau salée dans les eaux souterraines va devenir de plus en plus préoccupante du fait de la hausse du niveau des mers (Chang *et al.*, 2011; Rasmussen *et al.*, 2013).
- Pour la période 1998-2013, la moyenne annuelle de la couverture de glace de mer dans la région de la côte est a diminué de 1,53 %/an (Lemmen *et al.*, 2016). Dans le golfe du Saint-Laurent, les concentrations maximales de glace annuelle devraient diminuer de 67 %; le nombre de jours de la banquette de glace protectrice qui se forme le long de la plus grande partie du littoral de la région devrait également diminuer d'environ 33 jours d'ici 2041-2070 (Senneville *et al.*, 2014).
- Un déplacement vers le nord de la trajectoire des tempêtes devrait faire augmenter la fréquence des tempêtes dans la région (Loder *et al.*, 2013).
- Même s'il y a des différences locales dans l'ampleur de la hausse du niveau de la mer, à l'échelle régionale la hausse moyenne augmente plus vite que la moyenne mondiale (Church *et al.*, 2013; Ouranos, 2015). Les prévisions pour la région indiquent une

augmentation de 30 à 100 cm de la hausse relative du niveau de la mer d'ici 2100 (James *et al.*, 2014; Zhai *et al.*, 2015).

- L'importance de l'érosion côtière varie en fonction du relief. Si les falaises reculent, les marais, les dunes et les plages sont plus dynamiques et ont la capacité de se rétablir et de subir un changement morphologique (p. ex., migration vers les terres, ennoisement et érosion) (p. ex., Nye, 2010). Une étude de la dynamique côtière au parc national du Canada Forillon (p. ex. Bernatchez *et al.*, 2013) prédit que les changements climatiques (hausse du niveau de la mer) vont progressivement entraîner l'inondation du marais salé à Penouille (Gibeault *et al.*, 2016). Compte tenu cette érosion côtière et de ses, on a entrepris à Forillon, entre autres de déplacer la route et le monument historique, renaturaliser le rivage et remplacer un chemin pavé par une passerelle de bois surélevée (<https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/qc/forillon/info/cote-coastal>).



Température annuelle moyenne

Évolution par rapport au niveau de référence 1980-2010

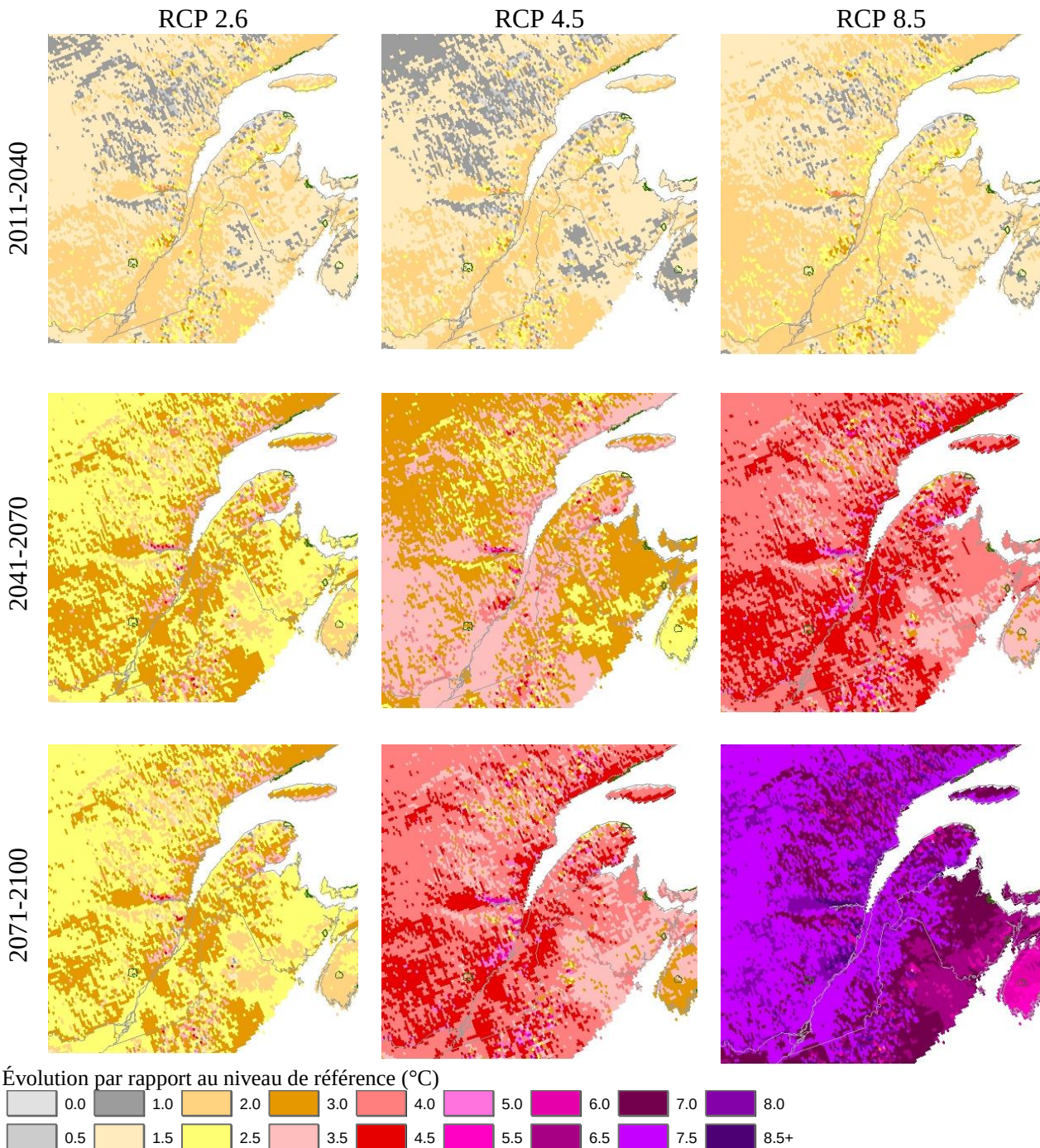


Figure 2. Les projections de température représentent un composite (moyenne) des résultats de quatre modèles de circulation générale mis à l'échelle et interpolés spatialement : CanESM2, CESM1CAM5, HADGEM2ES et MIROCESM à l'aide de trois scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (RCP) pour trois périodes futures. Données climatiques fournies par Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Sault Ste. Marie (http://scf.mcan.gc.ca/projets/3?lang=fr_CA).

Précipitations annuelles totales

Évolution par rapport à la base de référence 1980-2010

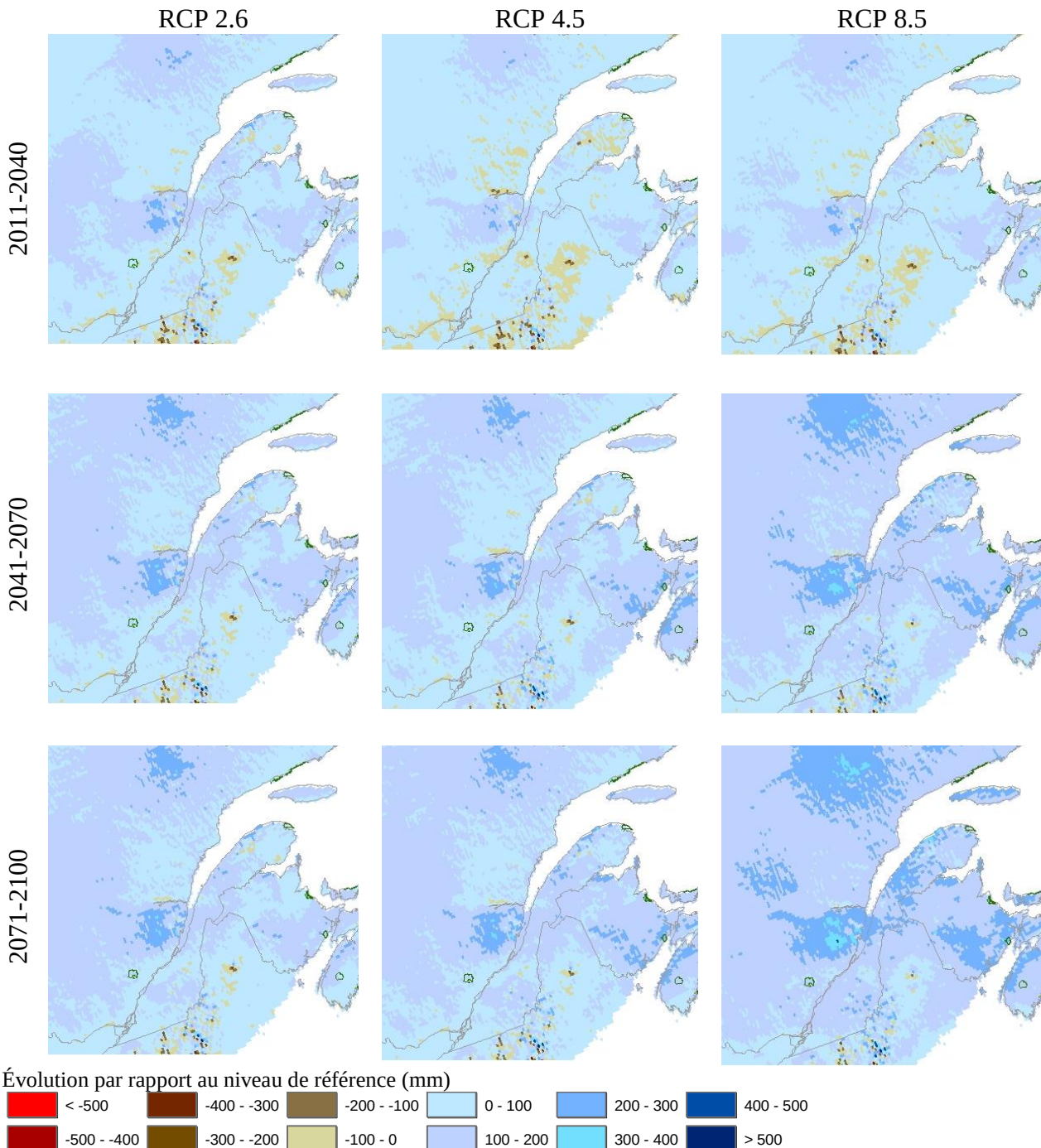
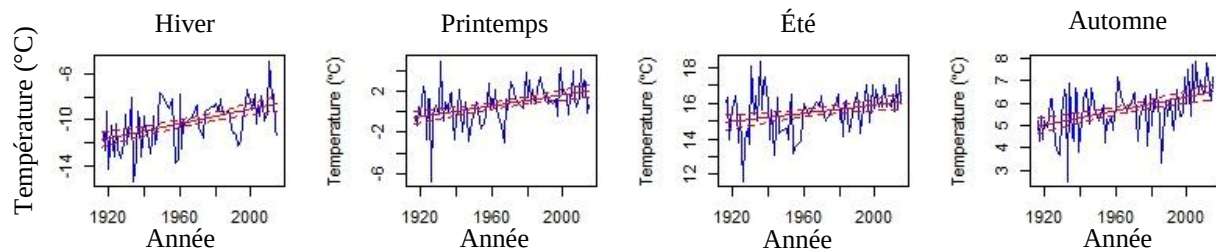


Figure 3. Les projections des précipitations représentent un composite (moyenne) des résultats de quatre modèles de circulation générale mis à l'échelle et interpolés spatialement: CanESM2, CESM1CAM5, HADGEM2ES et MIROCESM à l'aide de trois scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (RCP) pour trois périodes futures. Données climatiques fournies par Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Sault Ste. Marie (http://scf.rncan.gc.ca/projets/3?lang=fr_CA).

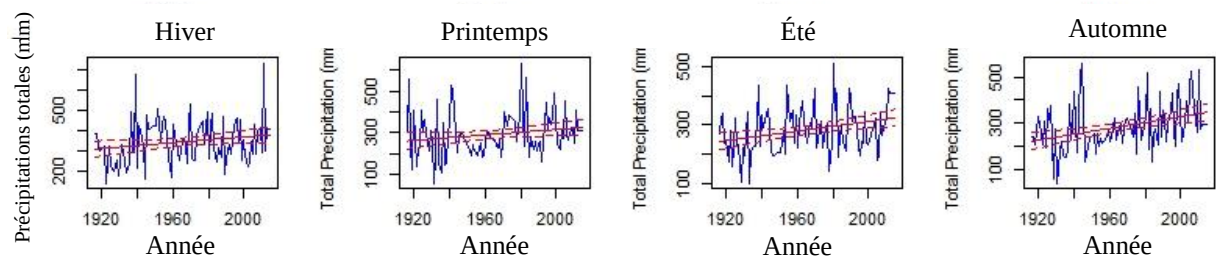
Parc national du Canada Forillon

A. Température moyenne



Température moyenne saisonnière à la station climatologique de Gaspé (7052601) de 1916 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour l'hiver (0,032 °C/an), le printemps (0,026 °C/an), l'été (0,011 °C/an) et l'automne (0,016 °C/an).

B. Précipitations totales

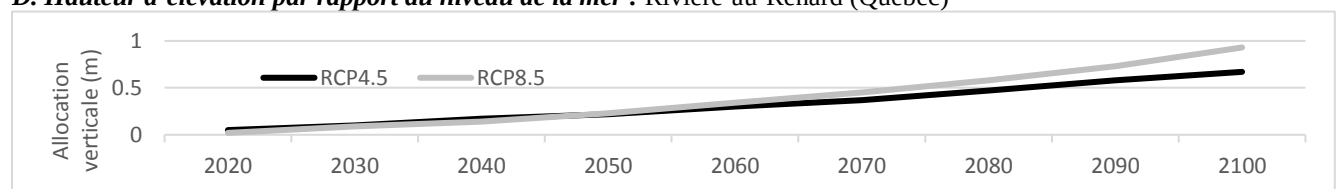


Total des précipitations saisonnières à la station climatologique de Gaspé (7052605) de 1916 à 2013. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour l'hiver (0,72 mm/an), l'été (0,81 mm/an) et l'automne (1,26 mm/an). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour le printemps.

C. Projection des changements climatiques pour le centre du parc par rapport à la moyenne de référence de 1981 à 2010 (annexe 1)

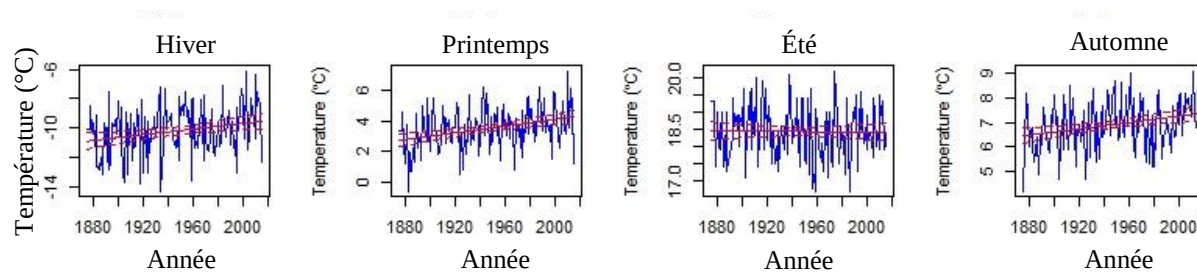
Augmentation/diminution	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Température moyenne en hiver (°C)	2,6	à 2,9	3,9	à 5,2	3,9	à 8,0
Température moyenne au printemps (°C)	2,1	à 2,1	3,5	à 4,5	3,4	à 7,5
Température moyenne en été (°C)	2,1	à 2,1	3,0	à 4,5	2,9	à 7,4
Température moyenne en automne (°C)	1,6	à 1,6	2,3	à 3,6	2,4	à 6,5
Précipitations en hiver	4%	à 6%	12%	à 13%	9%	à 23%
Précipitations au printemps	2%	à 7%	7%	à 15%	4%	à 20%
Précipitations en été	5%	à 9%	9%	à 12%	11%	à 11%
Précipitations en automne	-3%	à -6%	-2%	à -3%	-4%	à -7%
Nombre de jours de la période de croissance	21,0	à 22,0	32,0	à 43,0	32,0	à 72,0
Degré-jours de croissance pendant la période de croissance	27%	à 27%	43%	à 66%	43%	à 122%
Avance (en jours) du début de la période de croissance	8,0	à 8,0	15,0	à 21,0	16,0	à 40,0
Indice d'humidité du climat (été, de mai à septembre)	12,8	à 14	10,1	à 11,5	2,0	à 12,0

D. Hauteur d'élévation par rapport au niveau de la mer : Rivière-au-Renard (Québec)



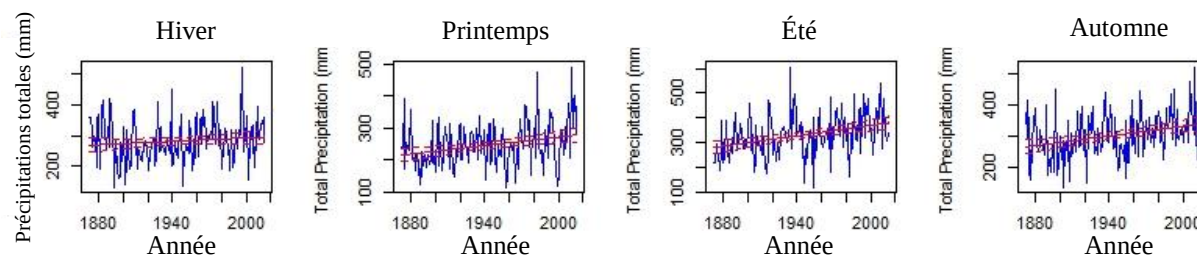
Lieu historique national du Canada des Fortifications-de-Québec

A. Température moyenne



Température moyenne saisonnière à la station climatologique de Québec (7052601) de 1875 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour l'hiver ($0,009\text{ °C/an}$), le printemps ($0,011\text{ °C/an}$) et l'automne ($0,006\text{ °C/an}$). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour l'été.

B. Précipitations totales

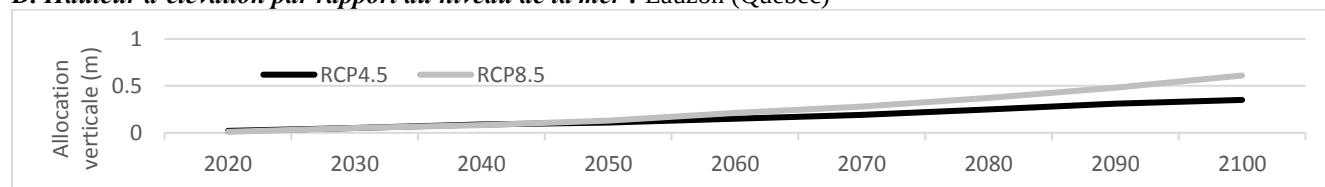


Total des précipitations saisonnières à la station climatologique de Lauzon (7024254) de 1872 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour le printemps ($0,44\text{ mm/an}$), l'été ($0,7\text{ mm/an}$) et l'automne ($5,3\text{ mm/an}$). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour l'hiver.

C. Projection des changements climatiques pour le centre du lieu historique par rapport à la moyenne de référence de 1981 à 2010 (annexe 1)

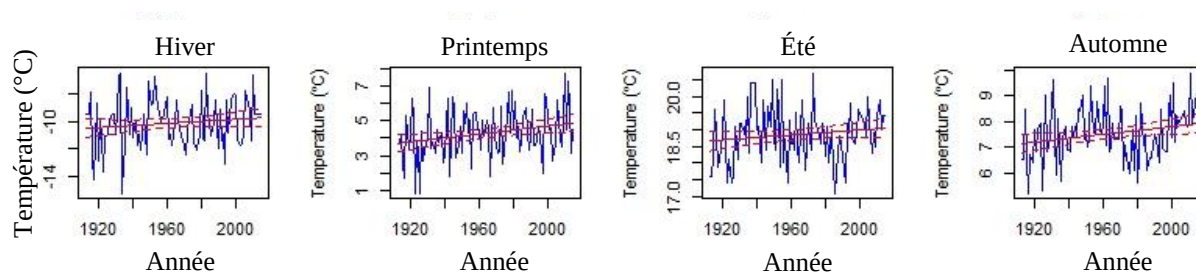
Augmentation/diminution:	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Max température en hiver (°C)	8,3	à 8,4	9,1	à 10,5	9,1	à 13,3
Max température moyenne au printemps (°C)	2,5	à 2,6	3,7	à 4,9	3,3	à 7,8
Max température moyenne en été (°C)	1,8	à 1,9	2,5	à 4,4	2,4	à 7,5
Max température moyenne en automne (°C)	9,2	à 9,4	10,0	à 11,5	9,9	à 14,9
Min température moyenne en hiver (°C)	2,6	à 2,9	3,8	à 5,7	3,9	à 9,4
Min température moyenne en été (°C)	1,6	à 1,7	2,3	à 4,0	2,4	à 7,0
Précipitations en hiver	9%	à 10%	16%	à 20%	15%	à 29%
Précipitations au printemps	8%	à 11%	4%	à 22%	11%	à 29%
Précipitations en été	5%	à 8%	8%	à 8%	5%	à 12%
Précipitations en automne	0%	à 36%	2%	à 2%	-2%	à 2%
Avance (en jours) du début de la période de croissance	14,6	à 20,0	9,4	à 11,2	13,6	à 35,4

D. Hauteur d'élévation par rapport au niveau de la mer : Lauzon (Québec)



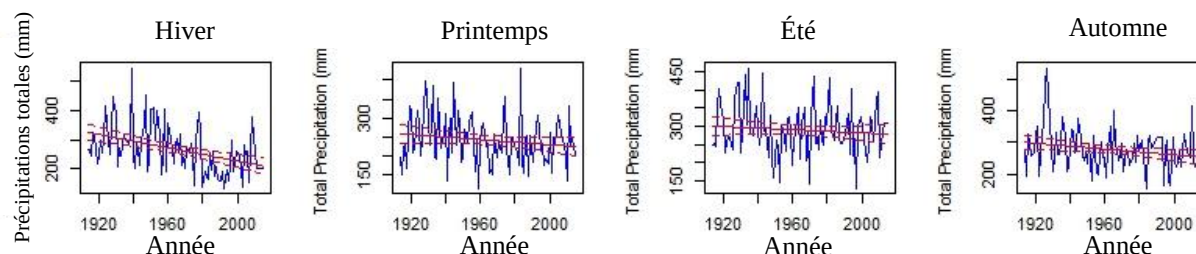
Parc national du Canada de la Mauricie

A. Température moyenne



Température moyenne saisonnière à la station climatologique de Nicolet (7025440) de 1913 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour le printemps (0,011 °C/an) et l'automne (0,007 °C/an). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour l'hiver ou l'été.

B. Précipitations totales



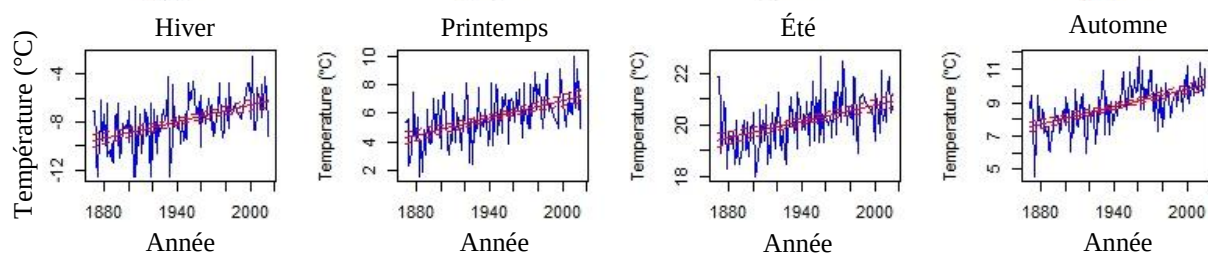
Total des précipitations saisonnières à la station climatologique de Nicolet (7025440) de 1914 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour l'hiver (-1,14 mm/an), et l'automne (-0,46 mm/an). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour le printemps ou l'été.

C. Projection des changements climatiques pour le centre du parc par rapport à la moyenne de référence de 1981 à 2010 (annexe 1)

Augmentation/diminution	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Température moyenne en hiver (°C)	2,3	à 2,6	3,4	à 5,0	3,4	à 8,4
Température moyenne au printemps (°C)	2,3	à 2,4	3,5	à 4,8	3,2	à 7,9
Température moyenne en été (°C)	1,6	à 1,6	2,3	à 4,0	2,2	à 7,2
Température moyenne en automne (°C)	1,7	à 1,8	2,5	à 3,9	2,4	à 7,4
Précipitations en hiver	6%	à 7%	12%	à 17%	11%	à 26%
Précipitations au printemps	9%	à 13%	14%	à 24%	15%	à 32%
Précipitations en été	0%	à 2%	1%	à 2%	-2%	à 7%
Précipitations en automne	-2%	à -2%	-1%	à 0%	0%	à -4%
Nombre de jours de la période de croissance	23,0	à 25,0	32,0	à 42,0	31,0	à 66,0
Degré-jours de croissance pendant la période de croissance	20%	à 22%	32%	à 55%	31%	à 106%
Avance (en jours) du début de la période de croissance	10,0	à 10,0	14,0	à 20,0	14,0	à 33,0
Indice d'humidité du climat (été, de mai à septembre)	10,6	à 11,3	5,1	à 9,7	-7,4	à 11,7

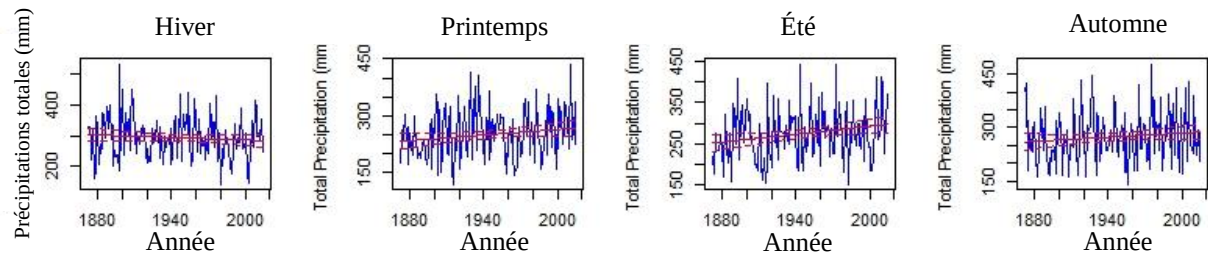
Lieu historique national du Canal-de-Lachine

A. Température moyenne



Température moyenne saisonnière à la station climatologique de Montréal (7024740) de 1871 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour l'hiver ($0,023\text{ °C/an}$), le printemps ($0,02\text{ °C/an}$), l'été ($0,01\text{ °C/an}$) et l'automne ($0,02\text{ °C/an}$).

B. Précipitations totales



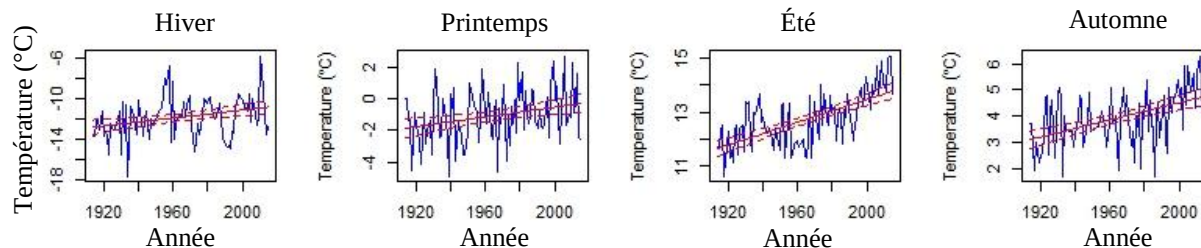
Total des précipitations saisonnières à la station climatologique de Montréal (7025250) de 1872 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour le printemps ($0,24\text{ mm/an}$) et l'été ($0,32\text{ mm/an}$). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour l'hiver ou l'automne.

C. Projection des changements climatiques pour le centre du lieu historique par rapport à la moyenne de référence de 1981 à 2010 (annexe 1)

Augmentation/diminution:	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Max température en hiver (°C)	7,4	à	7,4	8,1	à	9,5
Max température moyenne au printemps (°C)	2,3	à	2,5	3,5	à	4,7
Max température moyenne en été (°C)	2,0	à	2,0	2,6	à	4,5
Max température moyenne en automne (°C)	9,2	à	9,4	10,0	à	11,5
Min température moyenne en hiver (°C)	2,0	à	2,3	3,1	à	5,0
Min température moyenne en été (°C)	1,1	à	1,2	1,8	à	3,5
Précipitations en hiver	2%	à	2%	9%	à	12%
Précipitations au printemps	4%	à	8%	-6%	à	18%
Précipitations en été	5%	à	6%	4%	à	4%
Précipitations en automne	-1%	à	-50%	-1%	à	1%
Avance (en jours) du début de la période de croissance	13,4	à	16,8	7,6	à	9,4
				10,6	à	31,8

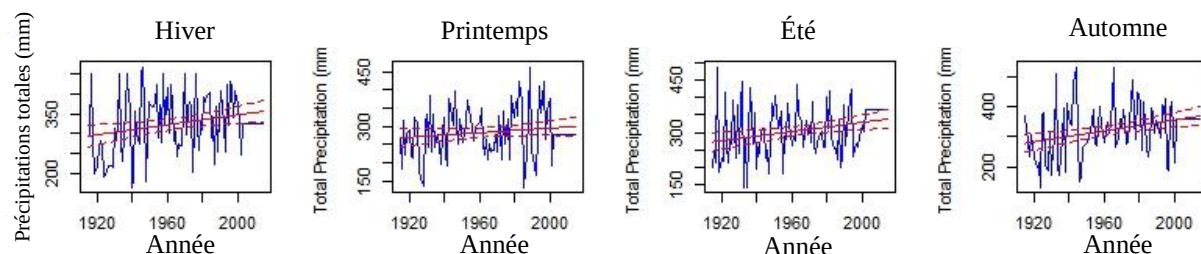
Réserve de parc national du Canada de l'Archipel-de-Mingan

A. Température moyenne



Température moyenne saisonnière à la station climatologique de Natashquan (7045401) de 1914 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour l'hiver ($0,019\text{ °C/an}$), le printemps ($0,015\text{ °C/an}$), l'été ($0,021\text{ °C/an}$) et l'automne ($0,016\text{ °C/an}$).

B. Précipitations totales

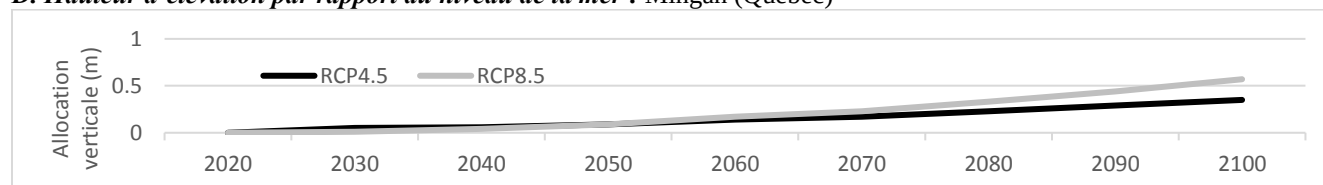


Total des précipitations saisonnières à la station climatologique de Natashquan (7045400) de 1915 à 2003. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour l'hiver ($0,63\text{ mm/an}$), l'été ($0,66\text{ mm/an}$) et l'automne ($0,9\text{ mm/an}$). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour le printemps.

C. Projection des changements climatiques pour le centre du parc par rapport à la moyenne de référence de 1981 à 2010 (annexe 1)

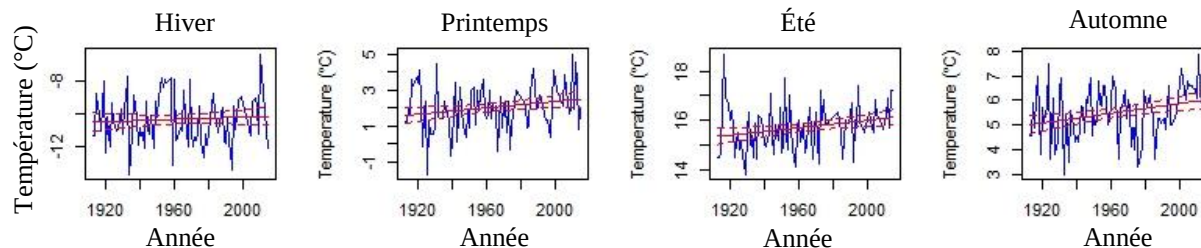
Augmentation/diminution	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Température moyenne en hiver (°C)	2,8	à 3,1	4,2	à 5,5	4,2	à 8,5
Température moyenne au printemps (°C)	2,2	à 2,2	3,8	à 4,8	3,7	à 8,0
Température moyenne en été (°C)	2,1	à 2,2	3,0	à 4,5	2,9	à 7,4
Température moyenne en automne (°C)	1,6	à 1,6	2,3	à 3,7	2,4	à 6,6
Précipitations en hiver	6%	à 6%	11%	à 16%	11%	à 26%
Précipitations au printemps	2%	à -2%	3%	à 10%	2%	à 16%
Précipitations en été	9%	à 6%	11%	à 15%	10%	à 16%
Précipitations en automne	7%	à 3%	6%	à 10%	8%	à 3%
Nombre de jours de la période de croissance	21,1	à 21,4	32,4	à 45,4	33,6	à 72,7
Degré-jours de croissance pendant la période de croissance	34%	à 34%	52%	à 82%	53%	à 150%
Avance (en jours) du début de la période de croissance	10,1	à 10,6	17,7	à 24,7	18,9	à 41,4
Indice d'humidité du climat (été, de mai à septembre)	20,3	à 19,0	18,6	à 17,3	18,2	à 10,7

D. Hauteur d'élévation par rapport au niveau de la mer : Mingan (Québec)



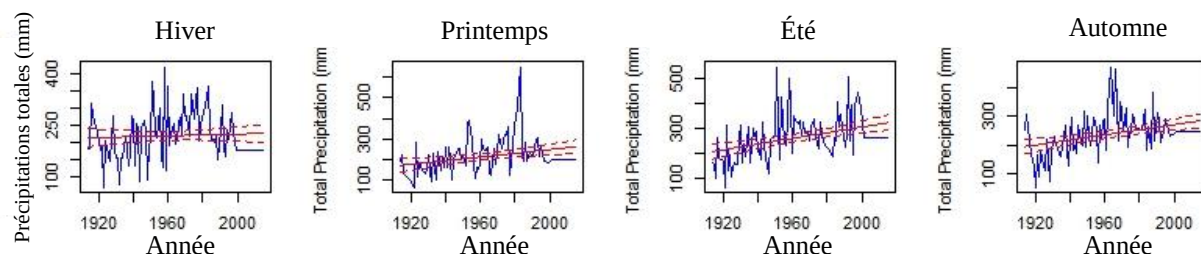
Parc marin du Saguenay–Saint Laurent

A. Température moyenne



Température moyenne saisonnière à la station climatologique de Tadoussac (7042840) de 1913 à 2015. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour le printemps (0,009 °C/an), l'été (0,007 °C/an) et l'automne (0,01 °C/an). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour l'hiver.

B. Précipitations totales

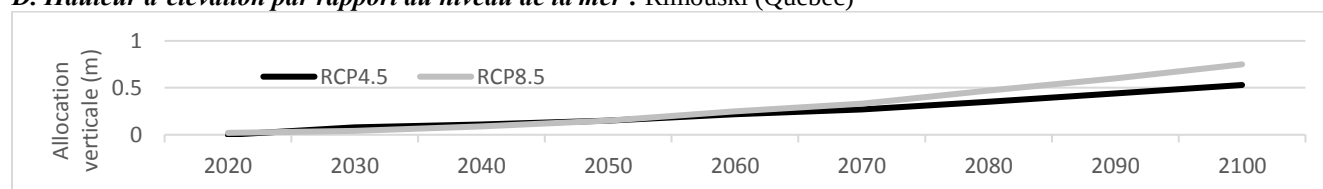


Total des précipitations saisonnières à la station climatologique de Tadoussac (7025440) de 1914 à 2004. Une tendance significative ($P < 0,05$) est observée pour le printemps (0,9 mm/an), l'été (1,15 mm/an) et l'automne (0,89 mm/an). Aucune tendance significative ($P < 0,05$) observée pour l'hiver.

C. Projection des changements climatiques pour le centre du parc par rapport à la moyenne de référence de 1981 à 2010 (annexe 1)

Augmentation/diminution	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Température moyenne en hiver (°C)	2,1	à 2,4	3,3	à 4,8	3,3	à 8,2
Température moyenne au printemps (°C)	2,5	à 2,5	3,8	à 5,0	3,5	à 8,3
Température moyenne en été (°C)	2,5	à 2,6	3,2	à 4,9	3,2	à 8,1
Température moyenne en automne (°C)	1,8	à 1,9	2,6	à 4,0	2,6	à 7,4
Précipitations en hiver	17%	à 18%	23%	à 28%	22%	à 38%
Précipitations au printemps	14%	à 18%	21%	à 31%	19%	à 41%
Précipitations en été	5%	à 6%	7%	à 8%	5%	à 10%
Précipitations en automne	2%	à 4%	6%	à 7%	3%	à 5%
Nombre de jours de la période de croissance	21,0	à 23,0	30,0	à 41,0	30,0	à 64,0
Degré-jours de croissance pendant la période de croissance	32%	à 34%	46%	à 71%	46%	à 129%
Avance (en jours) du début de la période de croissance	12,0	à 12,0	18,0	à 24,0	18,0	à 38,0
Indice d'humidité du climat (été, de mai à septembre)	10,0	à 10,1	5,8	à 9,3	-4,3	à 10,4

D. Hauteur d'élévation par rapport au niveau de la mer : Rimouski (Québec)



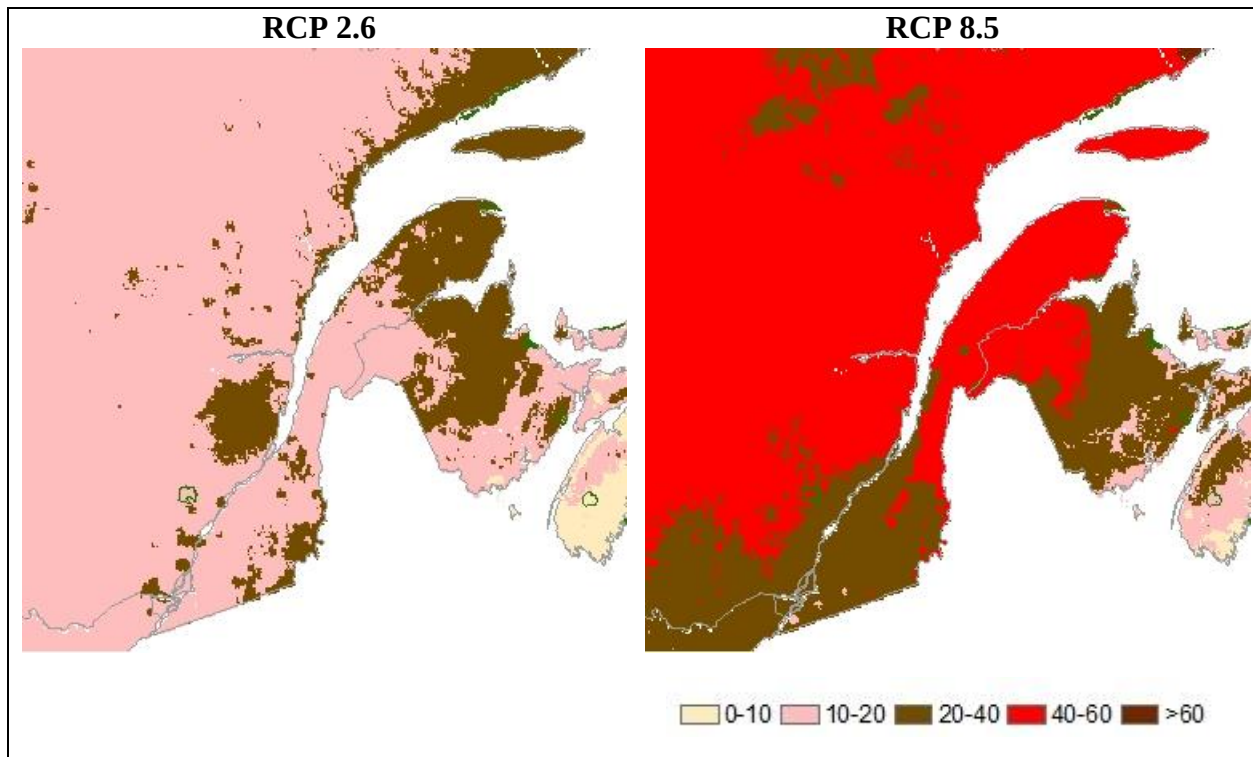


Figure 4. Augmentation de la durée (en jours) de la saison des feux de forêt selon les scénarios RCP 2.6 et 8.5.

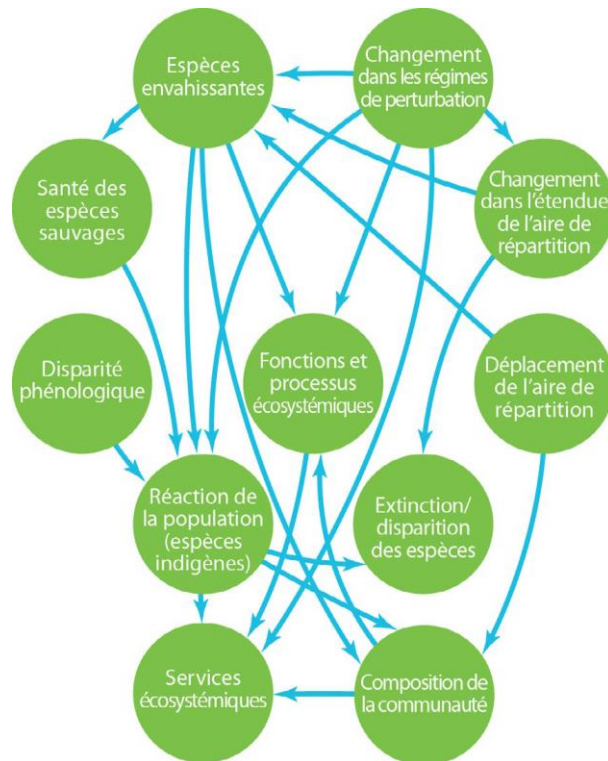


Figure 5. Les liens complexes de l'écosystème et les interactions avec les changements climatiques (de Nantel *et al.*, 2014).

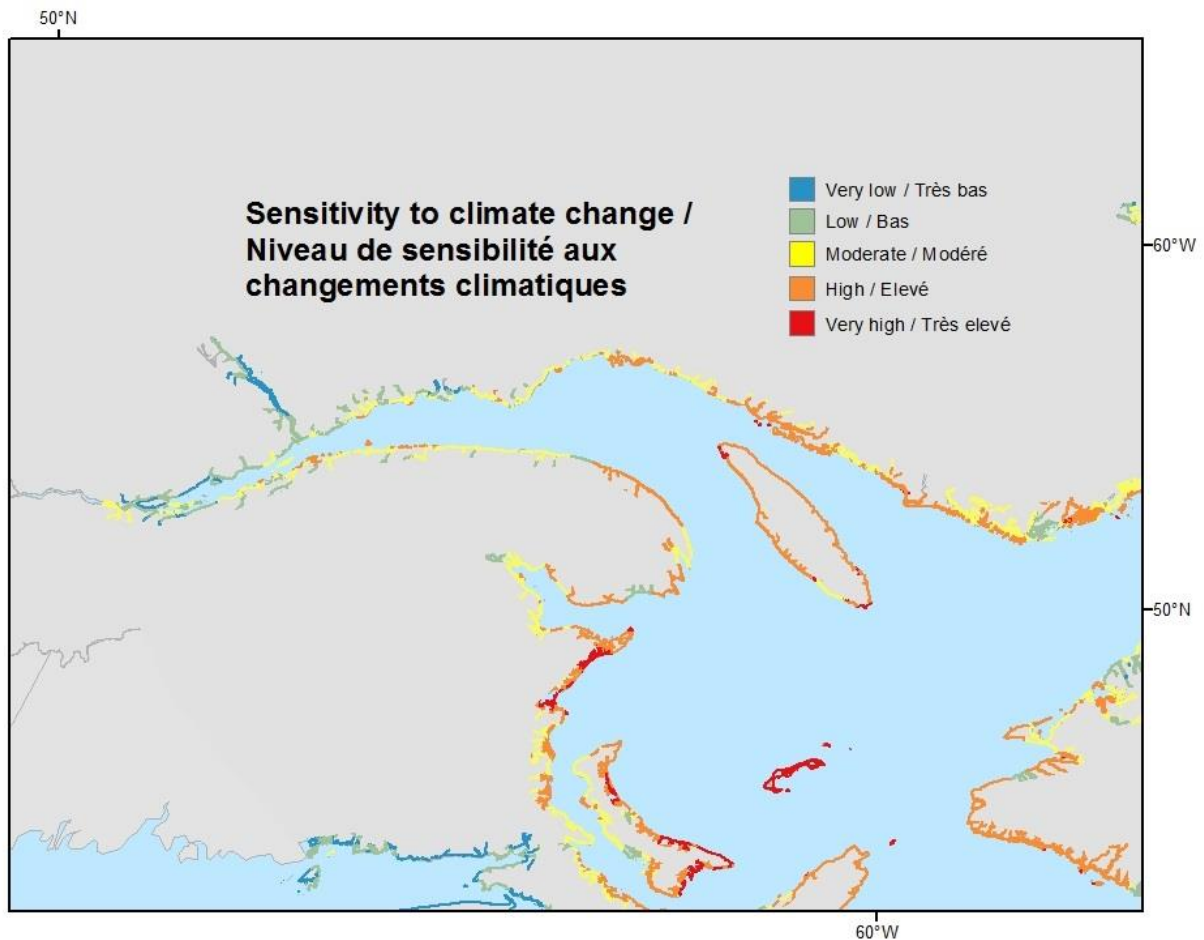


Figure 6. Carte préliminaire de la sensibilité des zones côtières aux changements climatiques. La sensibilité est fonction des matériaux de la zone côtière, du relief, de la glace au sol, de la hauteur des vagues, de l'amplitude des marées, des tendances récentes de la concentration de glace de mer et la hausse prévue du niveau de la mer jusqu'en 2050. Données fournies par Ressources naturelles Canada (Couture et Manson, 2016).

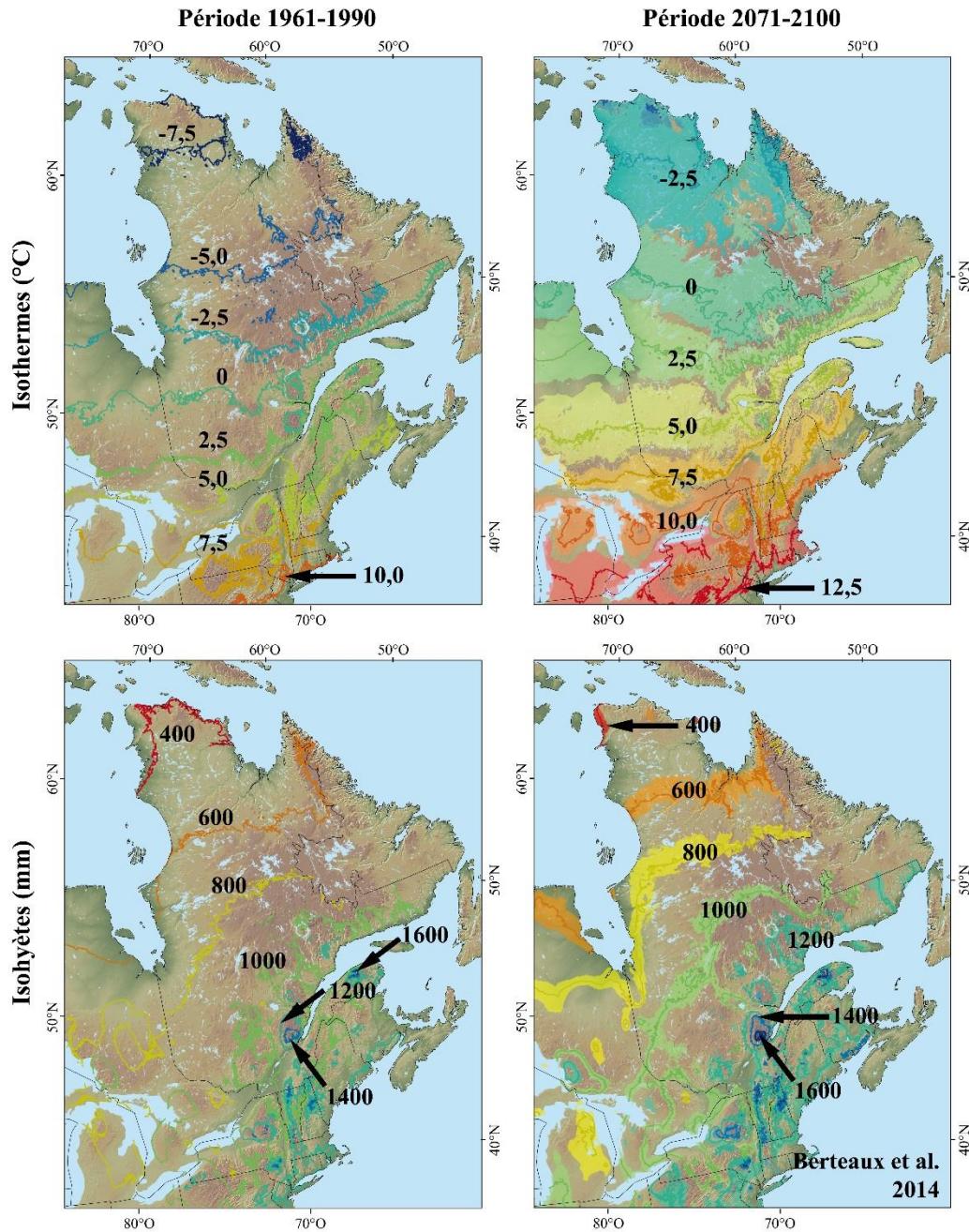


Figure 7. Isothermes des températures moyennes annuelles et isohyètes des précipitations totales dans le passé (1961-1990) et dans le futur (2071-2100), pour le Québec et la périphérie (Berteaux *et al.*, 2014).

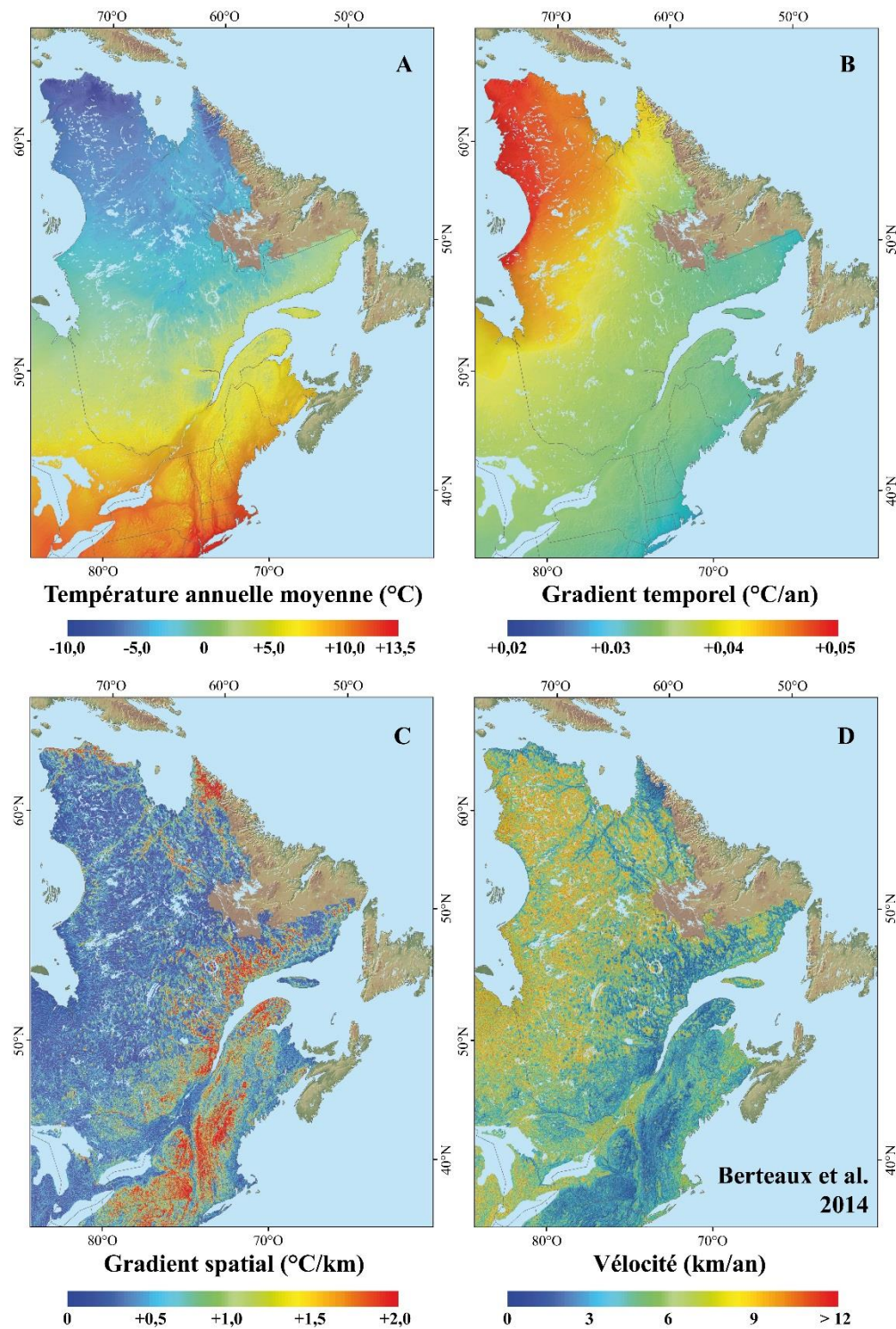


Figure 8. Gradient spatial et temporel des températures et de la vitesse des changements climatiques pour Québec et la périphérie, à partir de 1961-1990 jusqu'à 2071-2100 (Berteaux *et al.*, 2014). La vitesse combine les gradients temporels et spatiaux. Elle est plus grande là où le réchauffement est plus rapide, mais ralentit là où le gradient spatial est fort.

2.2.2 Effets sur les ressources

Écosystèmes et biodiversité

- Basés sur les modèles de niche climatique établis pour 765 espèces de plantes vasculaires, d'amphibiens et d'oiseaux, le climat futur du Québec conviendra à beaucoup plus d'espèces de ces taxons (figure 9), mais l'aire de répartition d'un grand nombre d'espèces actuellement présentes va se réduire. Dans l'ensemble, on prévoit que les niches climatiques migreront vers le nord, à raison de 45 à 70 km/décennie; très peu d'espèces seront en mesure de s'ajuster à des changements aussi rapides (Berteaux *et al.*, 2014).
- À long terme, la modification des niches climatiques pourrait entraîner des taux élevés de remplacement des espèces sur une grande partie du Québec, en particulier dans la région boréale (figure 10; Berteaux *et al.*, 2014).
- Des espèces et des écosystèmes des zones où les changements climatiques surviennent rapidement (figure 8) seront les plus exposés aux changements climatiques; ces zones connaîtront des changements écologiques profonds, en fonction de la sensibilité des espèces qui les habitent.
- Les espèces réagissent aux changements climatiques en fonction de facteurs de stress abiotiques (p. ex., isolement dans des paysages fragmentés, ou sur des îles, les conditions thermiques, etc.), biotiques (p. ex., concurrence entre espèces, habitat) et physiologiques. Certaines espèces, ou des variantes de celles-ci, vont survivre et s'adapter, alors que d'autres vont se déplacer ou disparaître (p. ex., Pecl *et al.*, 2017).
- Les changements climatiques auront une influence sur la chimie de l'environnement et des polluants, et exacerberont notamment les effets des dépôts acides (pH plus faible en raison de l'augmentation des concentrations de CO₂), de la charge en éléments nutritifs (précipitations) et de la toxicité du mercure (rejets dans des conditions anoxiques, les eaux plus chaudes augmentent la vitesse de méthylation) (p. ex., Michalak, 2016; Noyes *et al.*, 2009).
- La productivité primaire de l'océan dans la région est en baisse et semble liée au réchauffement de l'eau et à la réduction de la glace de mer (c.-à-d., la glace de mer laisse échapper du sel qui coule, déclenchant un processus de convection qui ramène des eaux moins denses, riches en nutriments à la surface) (Dufour et Ouellet, 2007; Hoegh-Guldberg and Bruno, 2010). Aucun changement significatif du pH des eaux de surface de l'océan dans ces régions n'a été observé depuis 1934 (MPO, 2012a).
- De faibles variations de la température de l'océan influent sur l'abondance et la répartition de la végétation aquatique (p. ex., les zostères), des poissons et des mollusques et crustacés (Burkett et Davidson, 2012; MPO, 2012b; Shackell *et al.*, 2013). La tendance générale est une diminution de la richesse en espèces marines commerciales dans le golfe du Saint-Laurent et à une hausse sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador en raison des tolérances thermiques (Khan, 2013).
- L'augmentation de la température des eaux intérieures peut entraîner un dépassement de la tolérance thermique pour des espèces d'eau froide (Poesch *et al.*, 2016).
- La hausse du niveau de la mer et l'augmentation de la fréquence et de l'amplitude des ondes de tempête sont des menaces potentielles pour les nids et les aires de reproduction des oiseaux aquatiques dans les milieux de faible altitude, comme les îles-barrières et les

plages (p. ex. Bourque *et al.*, 2015; Craik *et al.*, 2015; Tremblay *et al.*, 2006). Les populations de plantes arctiques-alpines rares, y compris certaines plantes endémiques, établies sur la partie supérieure des plages de la Réserve de parc national du Canada de l'Archipel-de-Mingan sont en train de perdre leur habitat, du fait de tempêtes d'hiver plus fortes et plus fréquentes. On prévoit qu'au moins une espèce endémique disparaîtra du parc au cours des 50 prochaines années.

- Alors que les conditions climatiques pour les essences d'arbres de la forêt boréale (p. ex., l'épinette noire, l'épinette blanche, le pin gris, le sapin baumier, le peuplier faux-tremble) deviennent moins favorables le long de la limite sud de la forêt, elles deviennent plus favorables pour les espèces forestières de la région Grands Lacs - Saint-Laurent (p. ex. pin blanc, pin rouge, érable à sucre, chêne rouge) (McKenney *et al.*, 2010; Sittaro *et al.*, 2017; Walker *et al.*, 2002; Warren *et al.*, 2013). La productivité pourrait diminuer pour l'érable, le sapin baumier et l'épinette en raison de la diminution de l'humidité du sol (estimée à 20-40 % de moins d'ici à en 2041-2070) (Houle *et al.*, 2012; Ouranos, 2015).
- L'évolution de la composition de la forêt boréale vers une plus grande proportion d'essences à feuilles caduques peut atténuer certaines des préoccupations liées aux changements climatiques et aux feux de forêt (Terrier *et al.*, 2013).
- On a observé un asynchronisme entre les événements dans le cycle de vie d'espèces interdépendantes. Si la photopériode ne change pas, d'autres signaux écologiques sont en train de changer, comme la température, le débit des cours d'eau, l'accumulation de chaleur, etc. Environ 80 % des espèces d'oiseaux migrateurs (pour lesquels il y a suffisamment de données) arrivent maintenant plus tôt au Québec qu'il y a 40 ans (Berteaux *et al.*, 2014). En moyenne, ces espèces arrivent 3,5 jours plus tôt; les oiseaux qui migrent sur de courtes distances arrivent beaucoup plus tôt en nombre de jours d'avance que les migrateurs sur de grandes distances. On a observé que la biomasse d'insectes et de plantes atteint un pic plus tôt qu'auparavant, ce qui peut entraîner un décalage par rapport à la croissance et au développement des oisillons. C'est le cas pour les parulines des milieux forestiers (Parulidées) et la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Knudsen *et al.*, 2011; Nituch et Bowman, 2013).
- La productivité végétale peut augmenter en raison de l'augmentation de CO₂, si les espèces ne sont pas autrement limitées par les conditions de l'habitat (p. ex., le sol, l'humidité, les éléments nutritifs, la lumière) ou des perturbations (p. ex., incendies, inondations, sécheresse) (Warren *et al.*, 2013).
- La présence et les répercussions des pathogènes et parasites devraient augmenter avec la hausse des températures et la migration des espèces vers le nord (Marcogliese, 2008; 2016). Par exemple, dans certaines régions, la diminution de la population d'originaux a été attribuée à la transmission du ver des méninges (*Parelaphostrongylus tenuis*), du fait de l'expansion des cerfs de Virginie (Pickles *et al.*, 2013).
- Les conditions climatiques, dont les hivers doux et la sécheresse, peuvent être plus favorables à la colonisation par les espèces envahissantes (Langor *et al.*, 2014; Walther *et al.*, 2009) et à de plus importantes infestations de maladies et d'insectes forestiers (p. ex. tordeuse des bourgeons de l'épinette et spongieuse) (Warren et Lemmen, 2014). La maladie corticale du hêtre et l'agrile du frêne vont bientôt atteindre la région du parc national du Canada de la Mauricie.

Expérience du visiteur

- Les activités saisonnières récréatives et de plein air sont affectées par les changements climatiques et la variabilité des conditions météorologiques (Scott et Jones, 2006; Scott *et al.*, 2007). En particulier une diminution de l'enneigement aura un effet négatif sur les activités récréatives d'hiver telles que la raquette, le ski de fond et la pêche sur glace.
- Selon une évaluation faite pour les Cantons de l'Est (Estrie) et les Laurentides, les gains socio-économiques en été pourraient ne pas compenser les pertes subies pendant l'hiver (Bleau *et al.*, 2012).
- La fréquentation d'un parc peut augmenter en raison d'un printemps précoce et d'un été et d'un automne plus chauds; il peut donc être nécessaire de prolonger la saison d'exploitation pour tenir compte de la demande et assurer la sécurité des visiteurs.
- En santé humaine, il peut y avoir des préoccupations liées à la chaleur lors d'épisodes de températures extrêmes et en raison de l'augmentation des risques de maladie. Par exemple, la maladie de Lyme (maladie bactérienne transmise par une tique infectée), auparavant limitée à des zones précises du fait de la température et de l'humidité relative, devient plus commune dans le sud du Québec (Ouranos, 2015). Aussi, l'augmentation de l'incidence du virus du Nil occidental, qui se transmet par des moustiques, est liée aux changements climatiques (Soverow *et al.*, 2009).
- Une saison des feux de forêt plus longue et plus intense aura une incidence sur la sécurité des visiteurs et leur expérience dans les parcs (p. ex., zones fermées, interdiction des feux de camp).

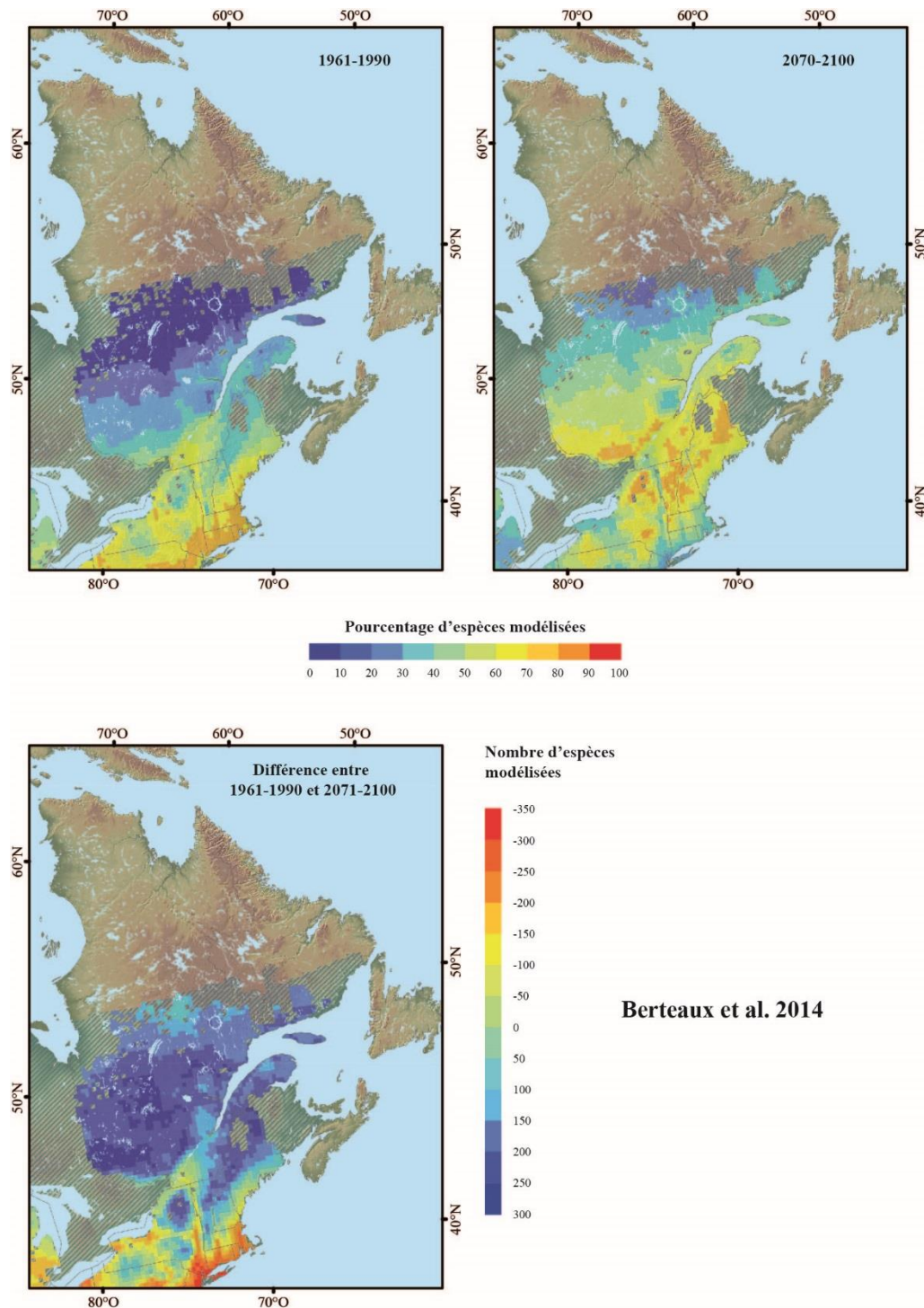


Figure 9. Distribution de la richesse en niches climatiques spécifiques, dans le passé et dans l'avenir (Berteaux *et al.*, 2014). La carte en haut à gauche indique le pourcentage de 765 espèces modélisées pour lesquelles le climat convenait de 1961 à 1990; la carte en haut à droite montre le pourcentage des mêmes espèces pour lesquelles le climat conviendra en 2071-2100. La carte du bas montre la répartition de l'augmentation de la richesse en niches climatiques spécifiques.

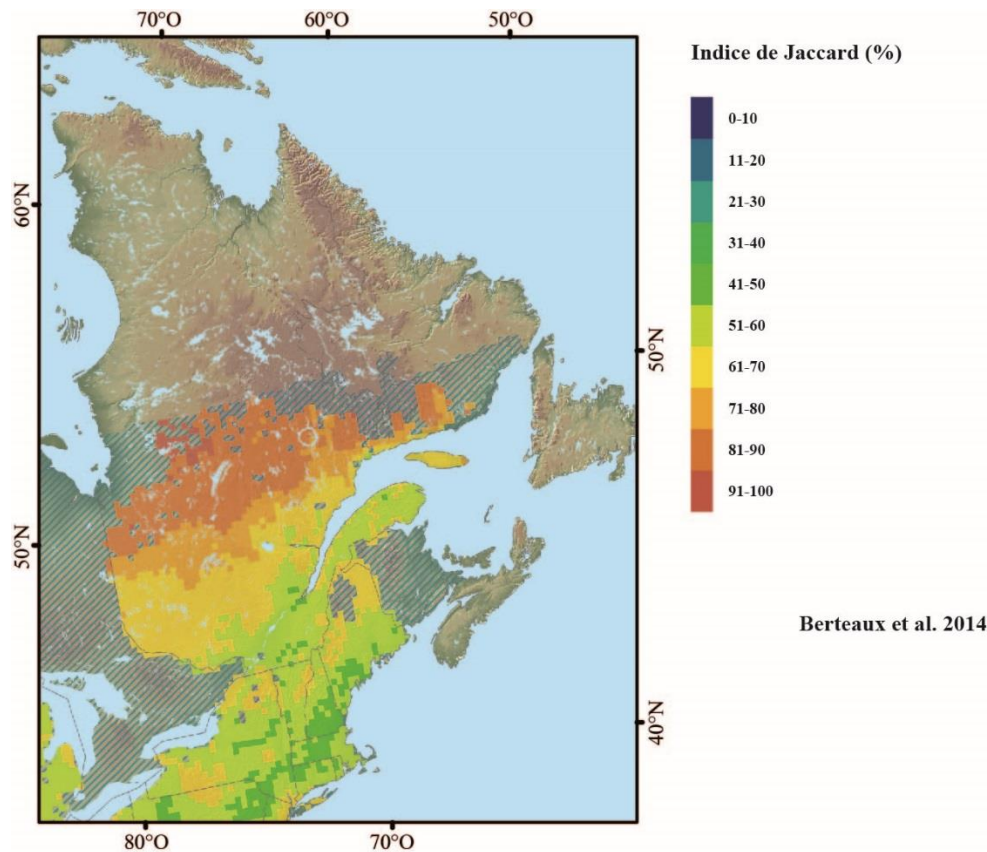


Figure 10. Distribution du taux de remplacement des niches climatiques spécifiques, de 1961-1990 à 2071-2100 (Berteaux *et al.*, 2014). L'indice de Jaccard est une mesure de la dissimilarité entre la composition des espèces actuelles et la composition future projetée, de sorte que plus la valeur est élevée, plus la future composition sera différente de la situation actuelle.

Biens et infrastructures

- L'augmentation de l'intensité des tempêtes et la diminution de la couverture de glace contribuent à accroître le risque d'inondations et d'érosion côtière. Par exemple, une étude complète de la dynamique côtière de la presqu'île de Penouille dans le parc national du Canada de Forillon a déterminé les zones vulnérables et orienté, entre autres choses, le déplacement du bâtiment et du sentier (Bernatchez *et al.*, 2013).
- La hausse du niveau de la mer prévue (voir les prévisions de hauteur d'élévation dans chacun des résumés par site) endommagera et détruira certaines infrastructures côtières (Lemmen *et al.*, 2016), entraînant des frais d'entretien ou de réinstallation.
- L'infiltration d'eau salée dans les nappes phréatiques peut avoir un impact sur les sources d'eau potable.
- Les inondations liées à des phénomènes météorologiques extrêmes peuvent surcharger les capacités du système de drainage des eaux pluviales.
- Il y a un risque croissant pour les biens et les infrastructures du fait des feux de forêt dans certaines zones. Alors que le feu n'est pas généralement reconnu comme facteur important de l'écosystème dans les forêts caroliniennes ou des Grands Lacs et du Saint-Laurent, par rapport à la forêt boréale, les événements météorologiques plus graves susceptibles d'entraîner des feux (chaleur et sécheresse) peuvent créer des conditions où

la suppression du feu devient impossible ou inefficace (Colombo, 2008; Flannigan *et al.*, 2005).

Ressources culturelles

- Les inondations, les ondes de tempête et les feux peuvent endommager des sites archéologiques.
- Il y a un risque de détérioration des bâtiments et des objets (p. ex., absence de ventilation mécanique à l'intérieur) du fait des changements de température, de l'humidité et des fortes précipitations (Brimblecombe, 2014; Brimblecombe and Brimblecombe, 2016; Horowitz *et al.*, 2016).

3. Mesures face aux changements climatiques

En général, la plupart des organismes chargés des aires protégées au Canada ne font que commencer à envisager et à élaborer des politiques relatives aux changements climatiques, aux outils de planification et aux cadres de gestion (Lemieux *et al.*, 2011) (note : la version provisoire d'une stratégie en matière de lutte contre les changements climatiques de Parcs Canada, version 4.4, a été révisée pour la dernière fois en 2008). Il existe cependant des exemples de mesures d'adaptation et d'atténuation déjà en cours dans les différents sites et dans d'autres administrations qui peuvent inspirer et guider les mesures à prendre (p. ex., US NPS, 2010). Pour le Québec, le document de Berteaux *et al.* (2014) représente une analyse accessible du changement projeté de la biodiversité avec une discussion intéressante des stratégies d'adaptation et des lacunes dans les connaissances.

3.1 Adaptation

L'adaptation est un ajustement des systèmes naturels ou humains face à des répercussions prévues ou réelles des changements climatiques. L'adaptation dans les zones protégées implique souvent la mise en œuvre de pratiques de gestion écosystémiques. Ces mesures peuvent représenter un scénario « **sans regrets** » puisqu'elles favorisent largement l'intégrité écologique et commémorative d'un site, quelle que soit la vitesse des changements climatiques. Il s'agit notamment de travailler avec des partenaires régionaux pour gérer les perturbations au niveau du paysage; de protéger et de restaurer des écosystèmes pour leur résilience; de prévenir la propagation des espèces envahissantes; de protéger les espèces en péril; d'assurer la conservation du patrimoine bâti dans les sites historiques; de s'appuyer sur des conceptions plus durables et résilientes pour remplacer les ressources et les infrastructures endommagées par les tempêtes et de répondre aux besoins et aux intérêts changeants des visiteurs.

Voici quelques exemples régionaux d'adaptation :

- Intégrer le concept et les pratiques de « solution naturelle » dans les stratégies régionales d'adaptation et d'atténuation.
- Concevoir ou mettre à niveau des réseaux d'eaux pluviales et des ouvrages hydrauliques afin de pouvoir accommoder le nouveau régime « normal » de précipitations et de température. Par exemple, remplacer des ponceaux à l'identique est inefficace s'ils

demeurent trop petits ou continuent à se remplir de débris. De plus grandes structures peuvent servir à la fois pour le drainage et comme « écopassage » pour les routes, rendant ainsi le paysage plus perméable à l'écoulement de l'eau et aux déplacements des espèces.

- Communiquer des renseignements sur les changements climatiques au moyen des programmes des parcs et des expositions, y compris les risques pour la biodiversité et les écosystèmes, et le lien entre la réduction des GES et l'intendance des parcs.
- Revoir les documents de Gregg *et al.* (2012), Lemieux *et al.* (2010) et Gross *et al.* (2016).
- Un retrait planifié des infrastructures situées sur les côtes (p. ex., routes, terrains) peut être la mesure la plus efficace pour maintenir les processus naturels et gérer les biens.
- Le projet CARRA (Évaluation des risques pour les ressources archéologiques des zones côtières) aide les gestionnaires à répondre aux impacts des risques côtiers sur les ressources archéologiques (Pollard-Belsheim *et al.*, 2014).
- Une des principales organisations d'information et d'orientation de l'adaptation aux changements climatiques dans la région est Ouranos (<https://www.ouranos.ca>). Leur *Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec* est une excellente ressource (Ouranos, 2015).

3.2 Atténuation

L'atténuation désigne les interventions humaines qui réduisent la source de GES ou améliorent les puits de GES. Le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux, la vapeur d'eau et l'ozone sont les principaux GES dans l'atmosphère terrestre, en plus des substances fabriquées qui contiennent du brome et du chlore. L'équipe de gestion des biens et de l'environnement de Parcs Canada offre un leadership fonctionnel, de l'expertise et un appui afin de réduire les GES. Les sites intéressés à travailler à la réduction des GES et à mettre en œuvre une exploitation plus durable devraient communiquer avec cette équipe. Par exemple, chaque année cette équipe fait le suivi des dépenses énergétiques des unités de gestion et des émissions de GES, et produit des rapports des progrès réalisés vers les objectifs de réduction du gouvernement fédéral. L'objectif actuel est de 40 % de réduction des émissions de GES provenant des parcs de véhicules et des bâtiments fédéraux en dessous du niveau de 2005 d'ici 2030 (Canada, 2016) ; il est clair que cela exige un programme ambitieux et des efforts concertés de la part de tous.

Voici quelques exemples d'atténuation :

- Évaluer les progrès réalisés par rapport aux objectifs de réduction des GES des unités de gestion et de Parcs Canada.
- Demander des conceptions écologiques et à haut rendement énergétique pour les projets de construction et de rénovation.
- Réduire le nombre et/ou la taille des véhicules et des navires des parcs en fonction des besoins et en maximiser l'efficacité. Fournir des véhicules hybrides ou électriques dans la mesure du possible.
- Utiliser des véhicules de service et pour les pelouses fonctionnant à l'électricité pour l'entretien des terrains de camping.
- Installer des systèmes anti-ralenti et de récupération de la chaleur dans la cabine des camions.

- Utiliser les produits à haut rendement énergétique, promouvoir l'efficacité énergétique et la conservation de l'eau, réduire les déchets et offrir d'autres moyens de transport.
- Offrir des infrastructures et des services adaptés et accueillants pour les cyclistes et les randonneurs; promouvoir des activités à zéro émission, comme la randonnée, le canotage, le kayak et la voile.

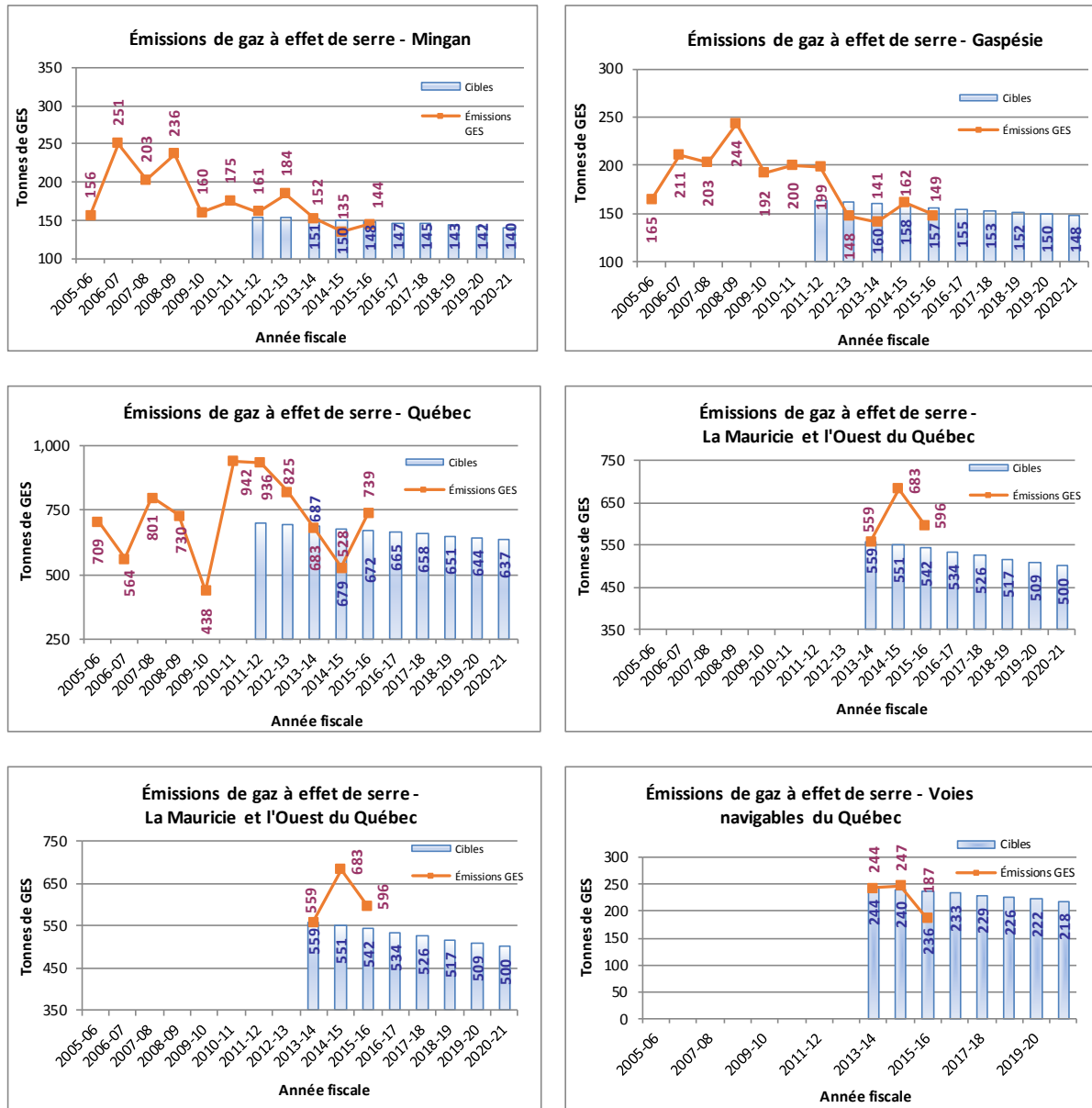


Figure 11. Émissions de gaz à effet de serre par unité de gestion. Les émissions sont calculées à partir des dépenses énergétiques (p. ex., chauffage, électricité) et de carburant, à l'exclusion des voyages, des vols nolisés et de quelques autres sources. Les émissions de GES calculées à partir des dépenses énergétiques sont ajustées selon la source (p. ex., charbon, hydroélectricité, diesel, etc.). Les cibles indiquées dans ces chiffres sont les objectifs de réduction de 2015 (Parks Canada, 2015). Des objectifs révisés et inférieurs moins élevés doivent être communiqués en 2017 (Canada, 2016).

3.3 Étapes suivantes possibles

Ce rapport doit être un point de départ à partir duquel les personnes et les sites sont encouragés à étudier la meilleure façon de faire avancer les mesures de lutte contre les changements climatiques dans leur propre contexte. Voici une liste d'idées qui pourraient présenter un intérêt particulier ou être pertinentes.

- ☑ Améliorer les connaissances du personnel sur les changements climatiques (p. ex., Peterson *et al.*, 2011; US NPS, 2012b).
- ☑ Entreprendre une analyse plus détaillée des tendances du climat, y compris une modélisation des impacts (p. ex., l'hydrologie, les feux de forêt, l'infrastructure à risque, la visualisation des zones côtières) et des événements météorologiques extrêmes (p. ex., Charron, 2016).
- ☑ Planifier des scénarios futurs et envisager les opérations dans un cadre de conditions futures nouvelles, mais plausibles. Utiliser des scénarios (« tunnel aérodynamique ») pour mettre à l'essai les décisions stratégiques et orienter les plans d'urgence (p. ex., Gross *et al.*, 2016; US NPS, 2013).
- ☑ Effectuer une évaluation de la vulnérabilité des espèces, des écosystèmes ou des structures de gouvernance. La vulnérabilité est la mesure selon laquelle un système est sensible aux impacts des changements climatiques et incapable d'y faire face (p. ex., Edwards *et al.*, 2015; Gleeson *et al.*, 2011; Gross *et al.*, 2016).
- ☑ Inclure les effets des changements climatiques et des stratégies d'adaptation dans la planification de l'aménagement. Redéfinir les objectifs de gestion face aux changements des écosystèmes, à la nouveauté du système et à la perte de la résilience (p. ex., Lemieux *et al.*, 2011).
- ☑ Réviser les plans de gestion des visiteurs et les plans opérationnels en réponse à l'évolution des habitudes des visiteurs et de leur utilisation des sites (p. ex., Fisichelli *et al.*, 2015; Hewer *et al.*, 2016). Dans des endroits avec des moyens appropriés, envisager de diversifier les expériences des visiteurs pour offrir d'autres activités qui ne dépendent pas des conditions météorologiques.
- ☑ Quantifier les stocks et la dynamique du carbone (p. ex., US NPS, 2012a).
- ☑ Évaluer et communiquer la valeur des biens et des services écologiques (p. ex., eau propre, air pur, disponibilité des aliments, maintien de la biodiversité, tourisme axé sur la nature, stockage du carbone, etc.) et gérer d'une manière qui assure la durabilité de ces services (p. ex., Gross *et al.*, 2016).
- ☑ Maintenir une liste de mesures liées à la science du climat et des mesures de gestion pour aider à orienter et influencer les messages diffusés dans les parcs.

- ☑ Établir des réseaux et collaborer à plusieurs niveaux (p. ex., le PN des Lacs-Waterton, crownmanagers.org).
- ☑ Tenir compte du protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) (<https://pievc.ca/fr/le-protocole-dingenierie-du-cviip>) dans les projets d'infrastructures vulnérables aux changements climatiques.
- ☑ « Reconnaître explicitement les changements climatiques comme un problème de gestion dans les rapports sur l'état des parcs et dans les cadres de suivi ». Cette option d'adaptation a été l'une des deux options parmi 165 considérées comme nécessaires et « définitivement réalisables » par les décideurs pour le réseau de parcs de l'Ontario (Lemieux et Scott, 2011).

Veillez communiquer avec le bureau du scientifique en chef des écosystèmes pour toute question ou pour approfondir l'une de ces étapes. De plus, des copies PDF de toutes les références et les données climatiques sont disponibles gratuitement sur demande.

4. Références

- Bernatchez, P., Quintin, C., Fraser, C., Neumeier, U., Jolivet, Y., Houde-Poirier, M., Hétu, B., Gibeault, C., Boucher-Brossard, G., and Marie, G. (2013). *Dynamique de l'écosystème côtier de la péninsule de Penouille dans un contexte de changements climatiques, Parc national du Canada Forillon: Rapport final*. Université du Québec à Rimouski, Rapport remis au Parc national du Canada Forillon. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières
- Berteaux, D., Casajus, N., and de Blois, S. (2014). *Changements climatiques et biodiversité du Québec: vers un nouveau patrimoine naturel*. Québec, Canada: Presses de l'Université du Québec. <http://cc-bio.uqar.ca/>.
- Bleau, S., Germain, K., Archambault, M., and Matte, D. (2012). *Analyse socioéconomique des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques de l'industrie touristique québécoise*. Ouranos. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportArchambault2012_FR.pdf.
- Bourque, N. R., Villard, M. A., Mazerolle, M. J., Amirault-Langlais, D., Tremblay, E., and Jolicoeur, S. (2015). Piping Plover response to coastal storms occurring during the nonbreeding season. *Avian Conservation and Ecology*, 10(1). doi:10.5751/ace-00734-100112.
- Brimblecombe, P. (2014). Refining climate change threats to heritage. *Journal of the Institute of Conservation*, 37(2), 85-93. doi:10.1080/19455224.2014.916226.
- Brimblecombe, P. and Brimblecombe, C. (2016). Climate Change and Non-mechanically Ventilated Historic Interiors. *APT Bulletin*, 47(1), 31-38. <http://www.jstor.org/stable/43799261>
- Burkett, V. and Davidson, M. (Eds.). (2012). *Coastal Impacts, Adaptation, and Vulnerabilities: A Technical Input Report to the 2013 National Climate Assessment*. Washington, District of Columbia: Island Press

- Canada. (2016). *A Federal Sustainable Development Strategy for Canada 2016–2019*.
<http://fsds-sfdd.ca/index.html#/en/intro/>.
- Capotondi, A., Alexander, M. A., Bond, N. A., Curchitser, E. N., and Scott, J. D. (2012). Enhanced upper ocean stratification with climate change in the CMIP3 models. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 117, 23. doi:10.1029/2011jc007409.
- Chang, S. W., Clement, T. P., Simpson, M. J., and Lee, K. K. (2011). Does sea-level rise have an impact on saltwater intrusion? *Advances in Water Resources*, 34(10), 1283-1291. doi:10.1016/j.advwatres.2011.06.006.
- Charron, I. (2016). *A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions, 2016 Edition*. Ouranos.
<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Guidebook-2016.pdf>.
- Church, J. A., Clark, U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D., Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D., and Unnikrishnan, A. S. (2013). Sea Level Change. In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf.
- Colombo, S. J. (2008). *Ontario's Forests and Forestry in a Changing Climate*. Ontario Ministry of Natural Resources. <https://www.ontario.ca/document/ontarios-forests-and-forestry-changing-climate>.
- Couture, N. J. and Manson, G. K. (2016). *CanCoast: a tool for helping to assess climate vulnerability*. Natural Resources Canada. Geological Survey of Canada
- Craik, S. R., Hanson, A. R., Titman, R. D., Mahoney, M. L., and Tremblay, E. (2015). Potential Impacts of Storm Surges and Sea-level Rise on Nesting Habitat of Red-breasted Mergansers (*Mergus serrator*) on Barrier Islands in New Brunswick, Canada. *Waterbirds*, 38(1), 77-85. doi:10.1675/063.038.0110.
- DFO. (2012a). *Canada's State of the Oceans Report*. A Report by the Fisheries and Oceans Canada Centre of Expertise on the State of the Oceans. <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/346701.pdf>.
- DFO. (2012b). *Risk-based assessment of climate change impacts and risks on the biological systems and infrastructure within Fisheries and Oceans Canada's mandate - Atlantic Large Aquatic Basin*. Fisheries and Oceans Canada, Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2012/044. http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScR-RS/2012/2012_044-eng.pdf.
- Dudley, N., Stolton, S., Belokurov, A., Krueger, L., Lopoukhine, N., MacKinnon, K., Sandwith, T., and Sekhran, N. (2010). *Natural Solutions: Protected areas helping people cope with climate change*. IUCN WCPA, TNC, UNDP, WCS, The World Bank and WWF, Gland, Switzerland, Washington DC and New York, USA. <https://www.iucn.org/content/natural-solutions-protected-areas-helping-people-cope-climate-change>.
- Dufour, R. and Ouellet, P. (2007). *Estuary and Gulf of St. Lawrence Marine Ecosystem Overview and Assessment Report*. Department of Fisheries and Oceans, Mont-Joli, Québec. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/329836.pdf>.

- Edwards, J. E., Pearce, C., Ogden, A. E., and Williamson, T. B. (2015). *Climate Change and Sustainable Forest Management in Canada : A Guidebook for Assessing Vulnerability and Mainstreaming Adaptation into Decision Making*. Canadian Council of Forest Ministers. <http://www.ccfm.org/english/coreproducts-cc.asp>.
- Fisichelli, N. A., Schuurman, G. W., Monahan, W. B., and Ziesler, P. S. (2015). Protected Area Tourism in a Changing Climate: Will Visitation at US National Parks Warm Up or Overheat? *PLoS ONE*, 10(6), 13. doi:10.1371/journal.pone.0128226.
- Flannigan, M. D., Logan, K. A., Amiro, B. D., Skinner, W. R., and Stocks, B. J. (2005). Future Area Burned in Canada. *Climatic Change*, 72(1), 1-16. doi:10.1007/s10584-005-5935-y.
- Gibeault, C., Neumeier, U., and Bernatchez, P. (2016). Spatial and Temporal Sediment Dynamics in a Subarctic Salt Marsh (Gulf of St. Lawrence, Canada). *Journal of Coastal Research*, 32(6), 1344-1361. doi:10.2112/jcoastres-d-15-00160.1.
- Gleeson, J., Gray, P., Douglas, A., Lemieux, C. J., and Nielsen, G. (2011). *A Practitioner's Guide to Climate Change Adaptation in Ontario's Ecosystems*. Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources, Sudbury, Ontario. http://www.mnr.gov.on.ca/en/Business/ClimateChange/Publication/STDPROD_091282.html.
- Gregg, R. M., Feifel, K. M., Kershner, J. M., and Hitt, J. L. (2012). *The State of Climate Change Adaptation in the Great Lakes Region*. EcoAdapt, Bainbridge Island, WA. http://ecoadapt.org/data/library-documents/EcoAdapt_GreatLakesAdaptation.pdf.
- Gross, J. E., Woodley, S., Welling, L. A., and Watson, J. E. M. (Eds.). (2016). *Adapting to Climate Change: Guidance for Protected Area Managers and Planners* (Vol. No. 24). Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/46685>.
- Hewer, M., Scott, D., and Fenech, A. (2016). Seasonal weather sensitivity, temperature thresholds, and climate change impacts for park visitation. *Tourism Geographies*, 18(3), 297-321. doi:10.1080/14616688.2016.1172662.
- Hoegh-Guldberg, O. and Bruno, J. F. (2010). The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems. *Science*, 328(5985), 1523-1528. doi:10.1126/science.1189930.
- Horowitz, A. D., Lopez, M. F., Ross, S. M., and Sparenberg, J. A. (2016). *Climate Change and Cultural Heritage Conservation. A Literature Review*. Association for Preservation Technology (APT), Technical Committee on Sustainable Preservation's Education and Research focus group. <http://www.apti.org/clientuploads/Technical%20Committees/2015-2016/APT%20TC-SP%20Literature%20Review%20Climate%20Change%20%20Cultural%20Heritage%20Conservation%202016June30.pdf>.
- Houle, D., Bouffard, A., Duchesne, L., Logan, T., and Harvey, R. (2012). Projections of Future Soil Temperature and Water Content for Three Southern Quebec Forested Sites. *Journal of Climate*, 25(21), 7690-7701. doi:10.1175/jcli-d-11-00440.1.
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The Summary for Policymakers of the Working Group II contribution to the Fifth Assessment Report. <http://www.ipcc.ch/index.htm>.

- James, T. S., Henton, J. A., Leonard, L. J., Darlington, A., Forbes, D. L., and Craymer, M. (2014). *Relative Sea-level Projections in Canada and the Adjacent Mainland United States*. Natural Resources Canada, Geological Survey of Canada, Ottawa, Ontario. http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/rncan-nrcan/M183-2-7737-eng.pdf.
- Khan, A. (2013). *Potential impacts of climate change on ranges of commercial marine species in the northwest Atlantic*. (M.Sc.), McGill University.
- Knudsen, E., Linden, A., Both, C., Jonzen, N., Pulido, F., Saino, N., Sutherland, W. J., Bach, L. A., Coppack, T., Ergon, T., Gienapp, P., Gill, J. A., Gordo, O., Hedenstroom, A., Lehikoinen, E., Marra, P. P., Moller, A. P., Nilsson, A. L. K., Peron, G., Ranta, E., Rubolini, D., Sparks, T. H., Spina, F., Studds, C. E., Saether, S. A., Tryjanowski, P., and Stenseth, N. C. (2011). Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews*, 86(4), 928-946. doi:10.1111/j.1469-185X.2011.00179.x.
- Langor, D. W., Cameron, E. K., MacQuarrie, C. J. K., McBeath, A., McClay, A., Peter, B., Pybus, M., Ramsfield, T., Ryall, K., Scarr, T., Yemshanov, D., DeMerchant, I., Foottit, R., and Pohl, G. R. (2014). Non-native species in Canada's boreal zone: diversity, impacts, and risk. *Environmental Reviews*, 22(4), 372-+. doi:10.1139/er-2013-0083.
- Lemieux, C. J., Beechey, T. J., and Gray, P. A. (2011). Prospects for Canada's protected areas in an era of rapid climate change. *Land Use Policy*, 28, 928– 941.
- Lemieux, C. J., Beechey, T. J., Scott, D. J., and Gray, P. A. (2010). *Protected Areas and Climate Change in Canada - Challenges and Opportunities for Adaptation*. Canadian Council on Ecological Areas (CCEA). http://ccea.org/Downloads/en_papers_occasional19.pdf.
- Lemieux, C. J. and Scott, D. J. (2011). Changing Climate, Challenging Choices: Identifying and Evaluating Climate Change Adaptation Options for Protected Areas Management in Ontario, Canada. *Environmental management*, 48(4), 675-690. doi:10.1007/s00267-011-9700-x.
- Lemmen, D. S., Warren, F. J., James, T. S., and Mercer Clarke, C. S. L. (Eds.). (2016). *Canada's Marine Coasts in a Changing Climate*. Ottawa, ON: Government of Canada. <http://www.nrcan.gc.ca/environment/resources/publications/impacts-adaptation/reports/assessments/2016/18388>.
- Loder, J. W., Han, G., Galbraith, P. S., Chassé, J., and van der Baaren, A. (Eds.). (2013). *Aspects of Climate Change in the Northwest Atlantic off Canada*. Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Nova Scotia: Fisheries and Oceans Canada. http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/mpo-dfo/Fs97-6-3045-eng.pdf.
- Logan, T., Charron, I., Chaumont, D., and D., H. (2011). *Atlas of Climate Scenarios for Québec Forests*. Ouranos and Ministère des Ressources naturelles and de la Faune du Québec. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/FicheLogan2011_EN.pdf.
- Lopoukhine, N., Crawhall, N., Dudley, N., Figgis, P., Karibuhoye, C., Laffoley, D., Miranda Londoño, J., MacKinnon, K., and Sandwith, T. (2012). Protected areas: providing natural solutions to 21st Century challenges. *S.A.P.I.E.N.S.*, 5.2. <https://sapiens.revues.org/1254>
- Marcogliese, D. J. (2008). The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, 27(2), 467-484.
- Marcogliese, D. J. (2016). The Distribution and Abundance of Parasites in Aquatic Ecosystems in a Changing Climate: More than Just Temperature. *Integrative and Comparative Biology*, 56(4), 611-619. doi:10.1093/icb/icw036.

- McKenney, D. W., Pedlar, J. H., Lawrence, K., Gray, P. A., Colombo, S. J., and Crins, W. J. (2010). *Current and Projected Future Climatic Conditions for Ecoregions and Selected Natural Heritage Areas in Ontario*. Ontario Ministry of Natural Resources, Sault Ste. Marie, ON. http://www.climateontario.ca/MNR_Publications/stdprod_088016.pdf.
- Michalak, A. M. (2016). Study role of climate change in extreme threats to water quality. *Nature*, 535(7612), 349-350.
- Nantel, P., Pellatt, M. G., Keenleyside, K. A., and Gray, P. A. (2014). Biodiversity and Protected Areas. In F. J. Warren and D. S. Lemmen (Eds.), *Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation* (pp. 159-190). Ottawa, ON: Government of Canada. <http://www.nrcan.gc.ca/environment/resources/publications/impacts-adaptation/reports/assessments/2014/16309>.
- NAWPA. (2012). *North American Protected Areas as Natural Solutions for Climate Change*. North American Intergovernmental Committee on Cooperation for Wilderness and Protected Area Conservation. <http://nawpacommittee.org/wp-content/uploads/2012/08/NAWPA-CCWG-Brochure.pdf>.
- Nituch, L. A. and Bowman, J. (2013). *Community-Level Effects of Climate Change on Ontario's Terrestrial Biodiversity*. Ontario Ministry of Natural Resources. http://www.climateontario.ca/MNR_Publications/CCRR-36.pdf.
- Noyes, P. D., McElwee, M. K., Miller, H. D., Clark, B. W., Van Tiem, L. A., Walcott, K. C., Erwin, K. N., and Levin, E. D. (2009). The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world. *Environment International*, 35(6), 971-986. doi:10.1016/j.envint.2009.02.006.
- Nye, J. (2010). *Climate Change and its effects on Ecosystems, Habitats and Biota: State of the Gulf of Maine Report*. Prepared for the Gulf of Maine Council on the Marine Environment and the National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.gulfofmaine.org/2/wp-content/uploads/2014/03/climate-change-and-its-effects-on-ecosystems-habitats-and-biota.pdf>.
- Ouranos. (2015). *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*. Édition 2015, Montréal, Québec. <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SyntheseRapportfinal.pdf>.
- Parks Canada. (2015). *Master Plan For the Reduction of Greenhouse Gas (GHG) Emissions within Parks Canada's Operations*. http://intranet2/media/2163749/master_plan_for_ghg_reduction_2015.pdf
- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I.-C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H. I., Martin, V. Y., McCormack, P. C., McDonald, J., Mitchell, N. J., Mustonen, T., Pandolfi, J. M., Pettoirelli, N., Popova, E., Robinson, S. A., Scheffers, B. R., Shaw, J. D., Sorte, C. J. B., Strugnelli, J. M., Sunday, J. M., Tuanmu, M.-N., Vergés, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E., and Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332). doi:10.1126/science.aai9214.
- Peterson, D. L., Millar, C. I., Joyce, L. A., Furniss, M. J., Halofsky, J. E., Neilson, R. P., and Morelli, T. L. (2011). *Responding to climate change in national forests: a guidebook for developing adaptation options*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR. <https://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/39884>.

- Pickles, R. S. A., Thornton, D., Feldman, R., Marques, A., and Murray, D. L. (2013). Predicting shifts in parasite distribution with climate change: a multitrophic level approach. *Global Change Biology*, 19(9), 2645-2654. doi:10.1111/gcb.12255.
- Poesch, M. S., Chavarie, L., Chu, C., Pandit, S. N., and Tonn, W. (2016). Climate Change Impacts on Freshwater Fishes: A Canadian Perspective. *Fisheries*, 41(7), 385-391. doi:10.1080/03632415.2016.1180285.
- Pollard-Belsheim, A., Storey, M., Robinson, C., and Bell, T. (2014). *The CARRA project: developing tools to help heritage managers identify and respond to coastal hazard impacts on archaeological resources*. Paper presented at the Oceans '14, St. John's, Newfoundland and Labrador.
- Price, D. T., McKenney, D. W., Joyce, L. A., Siltanen, R. M., Papadopol, P., and Lawrence, K. (2011). *High-Resolution Interpolation of Climate Scenarios for Canada Derived from General Circulation Model Simulations*. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. <http://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=32971>.
- R Core Team. (2014). R: A Language and Environment for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>
- Rasmussen, P., Sonnenborg, T. O., Goncear, G., and Hinsby, K. (2013). Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 421-443. doi:10.5194/hess-17-421-2013.
- Scott, D. and Jones, B. (2006). *Climate Change and Nature-Based Tourism. Implications for Park Visitation in Canada*. University of Waterloo, Department of Geography, Waterloo, ON. <http://lib.icimod.org/record/12663>.
- Scott, D., McBoyle, G., and Minogue, A. (2007). Climate change and Quebec's ski industry. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 17(2), 181-190. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.05.004.
- Scott, D. and Suffling, R. (2000). *Climate Change and Canada's National Park System: A screening level assessment*. Adaptation and Impacts Research Group, Environment Canada, and University of Waterloo. <http://publications.gc.ca/site/eng/249276/publication.html>.
- Senneville, S., St-Onge, S., Dumont, D., Bihan-Poudec, M. C., Belemaalem, Z., Corriveau, M., Bernatchez, P., Belanger, S., Tolszczuk-Leclerc, S., and Villeneuve, R. (2014). *Rapport final : Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques*. Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec  Rimouski (UQAR). <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1147874.pdf>.
- Shackell, N. L., Greenan, B. W., Pepin, P., Chabot, D., and Warburton, A. (Eds.). (2013). *Climate Change Impacts, Vulnerabilities and Opportunities (IVO) Analysis of the Marine Atlantic Basin* (Vol. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences 3012). Dartmouth, NS: Fisheries and Oceans Canada. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/350962.pdf>.
- Sittaro, F., Paquette, A., Messier, C., and Nock, C. A. (2017). Tree range expansion in eastern North America fails to keep pace with climate warming at northern range limits. *Global Change Biology*, n/a-n/a. doi:10.1111/gcb.13622.

- Soverow, J. E., Wellenius, G. A., Fisman, D. N., and Mittleman, M. A. (2009). Infectious Disease in a Warming World: How Weather Influenced West Nile Virus in the United States (2001-2005). *Environmental Health Perspectives*, 117(7), 1049-1052. doi:10.1289/ehp.0800487.
- Terrier, A., Girardin, M. P., Périé, C., Legendre, P., and Bergeron, Y. (2013). Potential changes in forest composition could reduce impacts of climate change on boreal wildfires. *Ecological Applications*, 23(1), 21-35. doi:10.1890/12-0425.1.
- Tremblay, E., Hanson, A., and Parkes, G. (2006). Impacts of storm surge on Piping Plover nesting success at Kouchibouguac National Park. In R. Daigle (Ed.), *Impacts of sea-level rise and climate change on the coastal zone of southeastern New Brunswick*: Environment Canada. <http://publications.gc.ca/site/eng/9.688767/publication.html>.
- US NPS. (2010). *National Park Service Climate Change Response Strategy*. National Park Service Climate Change Response Program, U.S. Department of the Interior, Fort Collins, Colorado. <http://www.nps.gov/subjects/climatechange/resources.htm>.
- US NPS. (2012a). *Green Parks Plan. Advancing Our Mission through Sustainable Operations*. <https://www.nps.gov/greenparksplan/>.
- US NPS. (2012b). *National Park Service Climate Change Action Plan 2012-2014*. National Park Service Climate Change Response Program, U.S. Department of the Interior, Fort Collins, Colorado. <http://www.nps.gov/subjects/climatechange/resources.htm>.
- US NPS. (2013). *Using Scenarios to Explore Climate Change: A Handbook for Practitioners*. National Park Service Climate Change Response Program. Fort Collins, Colorado. <http://www.nps.gov/subjects/climatechange/upload/CCScenariosHandbookJuly2013.pdf>.
- Walker, K. V., Davis, M. B., and Sugita, S. (2002). Climate change and shifts in potential tree species range limits in the Great Lakes region. *Journal of Great Lakes Research*, 28(4), 555-567.
- Walther, G. R., Roques, A., Hulme, P. E., Sykes, M. T., Pysek, P., Kuhn, I., Zobel, M., Bacher, S., Botta-Dukat, Z., Bugmann, H., Czucz, B., Dauber, J., Hickler, T., Jarosik, V., Kenis, M., Klotz, S., Minchin, D., Moora, M., Nentwig, W., Ott, J., Panov, V. E., Reineking, B., Robinet, C., Semchenko, V., Solarz, W., Thuiller, W., Vila, M., Vohland, K., and Settele, J. (2009). Alien species in a warmer world: risks and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12), 686-693. doi:10.1016/j.tree.2009.06.008.
- Warren, F. J. and Lemmen, D. S. (Eds.). (2014). *Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation*. Ottawa, ON: Government of Canada. http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Full-Report_Eng.pdf.
- Warren, R., VanDerWal, J., Price, J., Welbergen, J. A., Atkinson, I., Ramirez-Villegas, J., Osborn, T. J., Jarvis, A., Shoo, L. P., Williams, S. E., and Lowe, J. (2013). Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*, 3(7), 678-682. doi:10.1038/nclimate1887.
- Zhai, L., Greenan, B. J. W., Hunter, J., James, T. S., Han, G., MacAulay, P., and Henton, J. A. (2015). Estimating Sea-Level Allowances for Atlantic Canada using the Fifth Assessment Report of the IPCC. *Atmosphere-Ocean*, 53(5), 476-490. doi:10.1080/07055900.2015.1106401.

Annexe 1. Projections des changements climatiques

Les changements climatiques ont été déterminés pour le centroïde géographique¹ de chaque parc national et aire marine nationale de conservation. La méthode utilisée pour préparer la carte a suivi Price *et al.* (2011) et a utilisé les scénarios de concentrations de GES adoptés par le GIEC (2014) et les modèles de circulation générale (MCG)².

Dans les quatre scénarios de concentrations de GES du GIEC, on a retenu les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) 2.6 et 8.5. Ces profils sont nommés d'après les valeurs possibles de forçage radiatif dans l'année 2100 par rapport aux valeurs de l'ère préindustrielle (c.-à-d., +2,6 et +8,5 W/m², respectivement). RCP 2.6 suppose que les émissions annuelles de GES (mesurée en équivalents CO₂) atteignent un sommet en 2010-2020, puis baissent sensiblement par la suite. Dans le scénario RCP 8.5, les émissions de GES continuent d'augmenter pendant tout le 21^e siècle.

Afin de produire une carte climatique à haute résolution, des données mensuelles de séries chronologiques ont été obtenues pour chaque MCG représentant à la fois le 20^e siècle (1981-2010) et les scénarios de concentration de GES pour le 21^e siècle. Chaque valeur mensuelle à chaque nœud de grille de MCG a été normalisée, soit en soustrayant (dans le cas des variables de température), soit en divisant par (pour les autres variables climatiques) la moyenne des valeurs pour le mois donné au cours de la période de référence de 30 ans, de 1981 à 2010. On a calculé la moyenne des changements projetés de températures et de précipitation au moyen des MCG sur des périodes de 30 ans, puis, par l'algorithme ANUSPLIN, on a interpolé les valeurs des changements aux emplacements des stations climatiques situées au Canada et aux États-Unis. Ces données ont ensuite été combinées aux normales observées aux stations pour la période 1981-2010 afin de générer des normales projetées pour trois périodes consécutives de 30 ans, soit 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100.

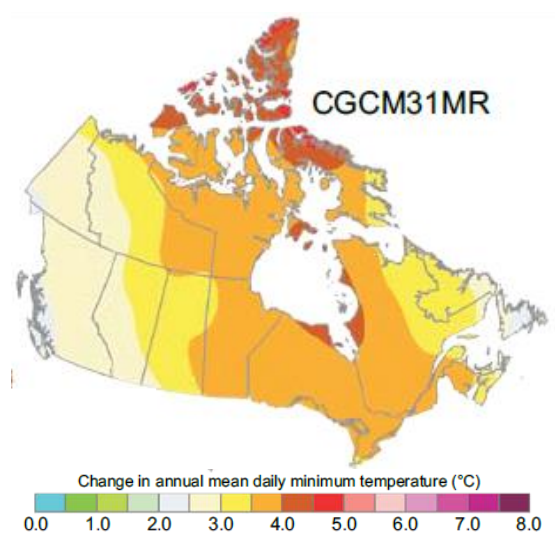


Figure A1. Changement projeté de la température minimale quotidienne annuelle pour 2041-2070, par rapport à 1961-1990 (Price *et al.*, 2011).

On a utilisé la méthode d'interpolation de Bessel pour générer des séquences de températures et de précipitations quotidiennes qui tendent vers les valeurs mensuelles de façon monotone. On a ainsi pu estimer pour ces périodes une série de variables bioclimatiques indicatrices incluant, par exemple, la durée moyenne de la saison de croissance et les précipitations durant la saison de croissance. (tableau A1) On a créé et utilisé un ensemble de cartes composites de la moyenne des

¹ Dans le cas de parcs nationaux pour lesquels le centroïde géographique se situe en mer, nous avons extrait de Google Maps cinq coordonnées à l'intérieur du parc.

² CANESM2, CESM1CAM5, HADGEM2ES et MIROCESM.

valeurs des quatre MCG pour extraire les données climatiques pour les parcs et les AMNC à chaque centre géographique.

Aucun modèle exécuté en tenant compte des scénarios de changements climatiques à venir ne pourra jamais fournir des réponses définitives à des questions concernant des résultats particuliers (p. ex., quelle est l'importance des changements qui se produiront à un emplacement déterminé d'ici une certaine date?). Cependant, les projections de température concordent avec les tendances récentes et il semble y avoir un solide accord sur l'ampleur du réchauffement attendu à court terme (jusqu'à 2030-2040), indépendamment des scénarios RCP. En effet, une bonne partie du réchauffement prévu pour les deux à trois dernières décennies est un « réchauffement irréversible » résultant d'émissions de GES qui ont déjà eu lieu. Ce n'est qu'après environ 2040 que les trajectoires de réchauffement divergent, lorsque les premières mesures d'atténuation (scénario RCP 2.6) commenceraient à avoir un effet positif. De manière plus lointaine dans l'avenir, l'éventail des possibilités de réchauffement, s'élargit en grande partie du fait de la divergence entre les différentes trajectoires d'émissions de GES.

Tableau A1. Variables bioclimatiques cartographiées pour les climats passé et futur^a

N°	Variable ^b	Description
1	Température annuelle moyenne	Moyenne annuelle des températures moyennes mensuelles
2	Plage des températures diurnes moyennes	Moyenne annuelle des plages de température journalière moyenne mensuelle
3	Isothermalité	Variable 2 ÷ variable 7
4	Saisonnalité de la température	Écart-type des estimations de la température moyenne mensuelle, exprimé en pourcentage de leur moyenne
5	Température maximale de la période la plus chaude	Température maximale mensuelle la plus élevée
6	Température minimale de la période la plus froide	Température minimale mensuelle la plus basse
7	Plage des températures annuelles	Variable 5 – variable 6
8	Température moyenne du trimestre le plus humide	Température moyenne des trois mois les plus humides consécutifs
9	Température moyenne du trimestre le plus sec	Température moyenne des trois mois les plus secs consécutifs
10	Température moyenne du trimestre le plus chaud	Température moyenne des trois mois les plus chauds
11	Température moyenne du trimestre le plus froid	Température moyenne des trois mois les plus froids
12	Précipitations annuelles	Cumul des précipitations mensuelles
13	Précipitations de la période la plus humide	Précipitations du mois le plus humide
14	Précipitations de la période la plus sèche	Précipitations du mois le plus sec
15	Saisonnalité des précipitations	Écart-type des estimations des précipitations mensuelles, exprimé en pourcentage de leur moyenne
16	Précipitations du trimestre le plus humide	Total des précipitations des trois mois consécutifs les plus humides
17	Précipitations du trimestre le plus sec	Total des précipitations des trois mois consécutifs les plus secs
18	Précipitations du trimestre le plus chaud	Total des précipitations des trois mois consécutifs les plus chauds
19	Précipitations du trimestre le plus froid	Total des précipitations des trois mois consécutifs les plus froids
20	Début de la période de croissance	Date du premier jour où la température moyenne de la journée atteint ou dépasse 5 °C pendant cinq jours consécutifs au printemps.
21	Fin de la période de croissance	Date de la première baisse de la température minimale quotidienne en dessous de -2 °C après le 1 ^{er} août
22	Longueur de la période de croissance	Variable 21 – variable 20
23	Précipitations totales dans les trois mois avant le début de la période de croissance	Précipitations totales dans les trois mois avant variable 20
24	Total des précipitations durant la période de croissance	Total des précipitations pendant variable 22
25	Degré-jours de croissance pendant la période de croissance	Total des degrés-jours pendant la variable 22, accumulés pour tous les jours où la température moyenne est supérieure à 5 °C
26	Température annuelle minimale	Moyenne annuelle des températures minimales mensuelles
27	Température annuelle maximale	Moyenne annuelle des températures maximales mensuelles
28	Température moyenne au cours de la période de croissance	Température moyenne pendant variable 22
29	Plage de température pendant la période de croissance	Température la plus élevée moins la température la plus basse pendant la variable 22.
30	Indice d'humidité du climat (mensuel)	Précipitations moins l'évapotranspiration potentielle

^a dans tous les cas, les descriptions doivent être considérées comme des estimations plutôt que des valeurs réelles.

^b Variables 1-19 générées par ANUCLIM; variables 20-29 générées par SEEDGROW. L'approche utilisée crée une séquence quotidienne de température et des précipitations minimales et maximales, avec les valeurs forcées d'une façon monotone vers les valeurs mensuelles. Les valeurs qui en découlent sont destinées à représenter les conditions moyennes seulement, étant donné que les conditions météorologiques d'une année spécifique devraient produire des résultats différents, en raison de la variabilité interannuelle.