

DOMINIQUE BERTEAUX

avec la collaboration de

NICOLAS CASAJUS et SYLVIE DE BLOIS

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET BIODIVERSITÉ DU QUÉBEC

VERS UN NOUVEAU PATRIMOINE NATUREL



 Presses
de l'Université
du Québec

Extrait de la publication

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET BIODIVERSITÉ DU QUÉBEC

Membre de
L'ASSOCIATION
NATIONALE
DES ÉDITEURS
DE LIVRES

Presses de l'Université du Québec

Le Delta I, 2875, boulevard Laurier, bureau 450, Québec (Québec) G1V 2M2

Téléphone : 418 657-4399

Télécopieur : 418 657-2096

Courriel : puq@puq.ca

Internet : www.puq.ca

Diffusion/Distribution :

CANADA Prologue inc., 1650, boulevard Lionel-Bertrand, Boisbriand (Québec) J7H 1N7
Tél. : 450 434-0306 / 1 800 363-2864

FRANCE AFPU-D – Association française des Presses d'université
Sodis, 128, avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny, 77403 Lagny, France – Tél. : 01 60 07 82 99

BELGIQUE Patrimoine SPRL, avenue Milcamps 119, 1030 Bruxelles, Belgique – Tél. : 02 7366847

SUISSE Servidis SA, Chemin des Chalets 7, 1279 Chavannes-de-Bogis, Suisse – Tél. : 022 960.95.32



La Loi sur le droit d'auteur interdit la reproduction des œuvres sans autorisation des titulaires de droits. Or, la photocopie non autorisée – le « photocopillage » – s'est généralisée, provoquant une baisse des ventes de livres et compromettant la rédaction et la production de nouveaux ouvrages par des professionnels. L'objet du logo apparaissant ci-contre est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit le développement massif du « photocopillage ».

DOMINIQUE BERTEAUX

avec la collaboration de

NICOLAS CASAJUS et SYLVIE DE BLOIS

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET BIODIVERSITÉ DU QUÉBEC

VERS UN NOUVEAU PATRIMOINE NATUREL

 **Presses
de l'Université
du Québec**

**Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives nationales
du Québec et Bibliothèque et Archives Canada**

Vedette principale au titre :

Changements climatiques et biodiversité du Québec :
vers un nouveau patrimoine naturel

Comprend des références bibliographiques et un index.

ISBN 978-2-7605-3950-1

1. Climat – Changements – Québec (Province). 2. Biodiversité – Facteurs
climatiques – Québec (Province). I. Berteaux, Dominique, 1965- .
II. Casajus, Nicolas. III. Blois, Sylvie de, 1957- .

QC903.2.C3C52 2014 577.2'209714 C2013-942131-9

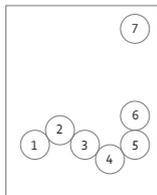
Les Presses de l'Université du Québec
reconnait l'aide financière du gouvernement du Canada
par l'entremise du Fonds du livre du Canada
et du Conseil des Arts du Canada pour leurs activités d'édition.

Elles remercient également la Société de développement
des entreprises culturelles (SODEC) pour son soutien financier.

Conception graphique

**Michèle Blondeau
Richard Hodgson**

Images de couverture



1. Jacques Larivée, Jaseur boréal (*Bombycilla garrulus*)
2. Maxim Larivée, Chêne rouge d'Amérique (*Quercus rubra*)
3. Maxim Larivée, Hespérie délicate (*Ancyloxypha numitor*)
4. Jacques Larivée, Couleuvre d'eau (*Nerodia sipedon sipedon*)
5. Jacques Larivée, Cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*)
6. Jacques Larivée, Paruline flamboyante (*Setophaga ruticilla*)
7. Jacques Larivée, Cypripède royal (*Cypripedium reginae*)

Mise en pages

Interscript

Dépôt légal : 1^{er} trimestre 2014

- › Bibliothèque et Archives nationales du Québec
- › Bibliothèque et Archives Canada

© 2014 – Presses de l'Université du Québec

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés

Imprimé au Canada

*Aux milliers de naturalistes du Québec,
sans les observations desquels la réalisation
de ce livre aurait été impossible.*



REMERCIEMENTS

Le projet de recherche CC-Bio duquel émerge ce livre a démarré en 2007 grâce au travail rassembleur de Luc Vescovi du consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques. Toujours en cours, CC-Bio a été le projet précurseur au Québec qui a permis de sensibiliser les acteurs du domaine, préparant ainsi le développement d'une programmation de recherche plus complète, soutenue par Ouranos.

CC-Bio a été principalement financé par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, grâce à une subvention du programme de projets stratégiques. Il a également reçu le soutien financier du consortium Ouranos, de l'Agence Parcs Canada, du ministère des Ressources naturelles du Québec, de Canards Illimités Canada et du Service canadien de la faune (Environnement Canada). Ces organismes ont aussi contribué intellectuellement aux recherches, de même que Conservation de la nature Canada, Regroupement QuébecOiseaux, zoo Ecomuseum de la Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, Université McGill, Université de Montréal, Université Joseph Fourier (France), Université du Maine (États-Unis) et Wright State University (États-Unis). L'Université du Québec à Rimouski (UQAR) a joué un rôle pivot en coordonnant l'ensemble du travail.

La Chaire de recherche du Canada en biodiversité nordique (UQAR), le Groupe de recherche sur les environnements nordiques BORÉAS (UQAR), le Centre d'études nordiques, le ministère des Ressources naturelles du Québec et le Fonds vert (dans le cadre de la mise en œuvre du Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012 du gouvernement du Québec et de sa mesure 26 pilotée par Ouranos) ont soutenu financièrement la production du livre. En plus des trois auteurs principaux du livre et de leurs coauteurs, des experts réviseurs ont contribué aux divers chapitres grâce à leur lecture critique. Les noms des coauteurs et réviseurs apparaissent à la section «Contributions». Un grand merci à Jacques Larivée et à Maxim Larrivée pour avoir fourni les photographies qui apparaissent en couverture. Jacques Larivée, Catherine Périé, Marylène Ricard, Sylvain Christin et Yanick Gendreau ont été les premiers lecteurs de l'ensemble du manuscrit et nous les remercions pour leurs nombreux commentaires pertinents.

Nous remercions chaleureusement les nombreux étudiants qui ont participé au projet CC-Bio: Blache-Paul Akpoue, Volker Bahn, Frieda Beauregard, Laura Boisvert-Marsh, Dominic Chambers, Richard Feldman, Xavier Francoeur, Chantal Gagnon, Yanick Gendreau, Natalie James, Benoît Laliberté, Alexandra-Sacha Liston, Beatriz Osorio-Rodriguez et Jason Samson. Leur passion et les nombreux obstacles qu'ils ont affrontés dans leurs recherches ont été des sources importantes de motivation et de réflexion. Nos collègues Brian McGill (University of Maine), Jean-François Angers (Université de Montréal) et Murray Humphries (Université McGill) ont encadré certains de ces étudiants et apporté des expertises complémentaires aux nôtres. Merci à Wilfried Thuiller (Université Joseph Fourier de Grenoble) pour ses conseils indispensables en début de projet.

Pour finir, un grand merci aux milliers de naturalistes, dont les observations, méticuleusement archivées durant des décennies, ont rendu possible ce travail. Leurs patients et passionnés efforts nous aident aujourd'hui à mieux comprendre et à mieux apprécier les relations que nous entretenons avec notre planète, la seule qui, pour l'instant, héberge avec certitude cet étrange phénomène qu'est la vie.

Dominique Berteaux

Les redevances aux auteurs issues de la vente de cet ouvrage sont entièrement versées au Regroupement QuébecOiseaux et au zoo Ecomuseum de la Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent.



AVANT-PROPOS

Ce livre résume l'état des connaissances quant aux effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec. Il résulte du travail de près de 40 personnes collaborant depuis 2007 au projet de recherche CC-Bio (Effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec).

Le projet CC-Bio a rassemblé pour la première fois au Québec une équipe venue d'horizons divers (universités, ministères, agences gouvernementales, associations de naturalistes, organismes non gouvernementaux voués à la protection de la nature) afin de comprendre et prévoir les effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec. Les approches scientifiques les plus perfectionnées ainsi que les modèles climatiques et les données sur la biodiversité québécoise les plus à jour ont été utilisés pour atteindre cet objectif.

Nous désirions également tirer les enseignements de nos découvertes du point de vue de la gestion et de la conservation des espèces et écosystèmes. Pour ce faire, il était impératif que les résultats de nos recherches soient diffusés au-delà du cercle restreint des quelques spécialistes de la question. Le livre résulte de cette aspiration. Ainsi, les biologistes, les gestionnaires de la faune et des parcs, les étudiants et enseignants en biologie, les naturalistes avertis, les ingénieurs forestiers,

les techniciens en écologie, les professionnels et militants de la conservation de la nature ont maintenant à leur disposition une foule de connaissances à jour qui n'ont jamais été rassemblées ailleurs, ainsi que de nouvelles pistes de réflexion.

L'introduction et les trois premiers chapitres présentent le cadre général dans lequel s'inscrit l'étude des effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec. Ce contexte est riche, car la biodiversité du Québec, les climats du Québec et les liens qui les unissent sont des sujets vastes et passionnants. Leur exploration révèle à la fois certains éléments fondamentaux du patrimoine naturel du Québec et les contours de nos connaissances actuelles. Nous découvrons dans cette première partie du livre à quel point les changements climatiques sont incontournables pour penser au futur de la biodiversité du Québec.

Les chapitres 4 et 5 entrent au cœur du projet CC-Bio et des développements scientifiques les plus récents. La plupart des résultats qui y apparaissent sont publiés pour la première fois. Nous n'avons pas craint d'aborder certains aspects dont le niveau technique est parfois relevé, mais en ayant toujours à l'esprit un grand souci de clarté. Ainsi nous avons, par exemple, privilégié les représentations cartographiques aux démonstrations statistiques. Ces dernières apparaîtront dans des articles spécialisés. Nous avons aussi rassemblé dans des encadrés les notions les plus techniques. La lecture des encadrés apportera des éclaircissements aux lecteurs qui le désirent, mais elle pourra aussi être omise sans perdre le fil des raisonnements.

Le chapitre 6 tire les conséquences de tout ce qui précède en analysant les retombées pratiques de nos recherches. Il s'agit d'un chapitre essentiel, qui nous a forcés à poser des questions vitales sur la gestion et la conservation de la biodiversité du Québec. Nous y avons fait un effort particulier pour résumer l'abondante littérature, pour offrir des synthèses visuelles guidant la réflexion et pour stimuler de nouvelles idées.

La conclusion aborde des questions plus générales quant à l'utilité de notre évaluation scientifique. Nous y discutons ainsi des thèmes de l'originalité, de la légitimité, de la crédibilité et de la visibilité de la recherche. Nous traçons également les principales pistes dans lesquelles les recherches futures vont probablement s'engager, puis terminons en rappelant la place qu'occupe la science dans l'évolution de nos sociétés.

Nos analyses ont porté sur près de 1 000 espèces, parmi lesquels des homéothermes et hétérothermes (pour les animaux), des espèces herbacées et ligneuses (pour les plantes), des représentants de tous les niveaux trophiques, ainsi que des espèces d'une grande variété de milieux. Nous avons produit au cours de nos travaux des millions de cartes de répartition future potentielle, souvent réduites dans ce livre à quelques chiffres ou cartes synthétiques. Cependant, malgré l'ampleur de la tâche accomplie, il nous était impossible d'aborder en détail tout ce qui touche aux effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec.

Ainsi, nous nous sommes concentrés sur les vertébrés et les plantes vasculaires, groupes pour lesquels des informations de répartition assez précises sont disponibles. Nos analyses ne touchent pas à la diversité génétique ou au fonctionnement

des écosystèmes, des composantes importantes de la biodiversité, mais qui sont encore trop difficiles à traiter à l'échelle du Québec. Bien que nous fassions un bref survol des relations passées entre le climat et la biodiversité, nous nous concentrons surtout sur le présent et l'avenir afin de répondre aux besoins de gestion dans un climat changeant. Nous traitons de la biodiversité terrestre, sans toucher au milieu marin. C'est un monde différent qui aurait exigé une approche assez éloignée de celle que nous avons utilisée. Nous présentons des informations importantes et nouvelles sur le Québec nordique, mais nos analyses concernent surtout la biodiversité qui est au sud du 53^e parallèle. Les données disponibles sur la biodiversité située au nord de cette latitude sont malheureusement encore très parcellaires. Elles nécessitent un traitement spécifique et sont donc l'objet d'autres recherches, notamment le projet d'Atlas de la biodiversité du Québec nordique.

Les idées abordées dans cet ouvrage sont vastes. Elles touchent à tous les concepts importants pour qui s'intéresse aux changements climatiques et à la biodiversité du Québec. Nous espérons que ce livre suscitera des discussions, fera naître de nouvelles idées de recherche et influencera des décisions. Puisqu'il est le fruit d'une collaboration d'envergure, riche, stimulante et qui nous a beaucoup appris, nous espérons proposer une référence utile à toutes les personnes intéressées par l'avenir de la biodiversité du Québec.

Afin d'aider les lecteurs à poursuivre la réflexion, le site <<http://cc-bio.uqar.ca/>> (consulté le 10 septembre 2013) fournit quantité d'informations complémentaires. En particulier, près de 11 500 cartes et 4 000 tableaux, facilement accessibles grâce à des menus déroulants, permettent au lecteur d'explorer les répartitions potentielles futures de centaines d'espèces. D'autre part, toutes les figures du livre peuvent être téléchargées (JPEG ou PowerPoint) du site Web, ce qui pourra faciliter la diffusion des messages principaux découlant de notre travail.

Dominique Berteaux



CONTRIBUTIONS

Cet ouvrage est le fruit d'une intense collaboration. Un comité de rédaction a été établi avec les auteurs, en octobre 2011, les objectifs, les orientations, le style et la structure du livre. Les membres de ce comité sont tous des participants au projet CC-Bio: Marcel Darveau (Canards Illimités Canada), François Fournier (Environnement Canada), Jacques Larivée (Regroupement QuébecOiseaux), Travis Logan (consortium Ouranos), Patrick Nantel (Agence Parcs Canada), Catherine Périé (ministère des Ressources naturelles du Québec), Frédéric Poisson (ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec), Sébastien Rouleau (zoo Ecomuseum de la Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent), Jason Samson (Université de Montréal) et Robert Siron (consortium Ouranos).

Les personnes suivantes ont participé à l'élaboration du livre en fournissant, dans le cas des coauteurs de chapitres, des expertises indispensables lors de la rédaction. Les experts réviseurs ont, quant à eux, formulé de nombreux commentaires ayant permis d'améliorer le manuscrit. S'il reste des erreurs dans ce livre, les auteurs en assument l'entière responsabilité.

Chapitre 1. La biodiversité du Québec: Anouk Simard, ministère des Ressources naturelles du Québec (révisure).

Chapitre 2. Les climats du Québec: Travis Logan (coauteur) et Dominique Paquin (révisseur), consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques.

Chapitre 3. L'importance biologique des changements climatiques: Claude Lavoie, Université Laval (révisseur).

Chapitre 4. La projection écologique: une science exigeante: Catherine Périé, ministère des Ressources naturelles du Québec (coauteure); Maxim Larrivée, Insectarium de Montréal/Espace pour la vie (révisseur).

Chapitre 5. Vers un nouveau patrimoine naturel: Catherine Périé, ministère des Ressources naturelles du Québec (coauteure); Maxim Larrivée, Insectarium de Montréal/Espace pour la vie (révisseur).

Chapitre 6. L'adaptation aux changements climatiques: Robert Siron, consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques (révisseur) et Anouk Simard, ministère des Ressources naturelles du Québec (révisseur).

CONTRIBUTIONS AU PROJET CC-BIO

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

Gouvernement du Canada

Canards Illimités Canada

Regroupement QuébecOiseaux

Zoo Ecomuseum de la Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent

Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques

Ministère des Ressources naturelles du Québec

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec

Conservation de la nature Canada

CONTRIBUTIONS À LA PRODUCTION DU LIVRE

Chaire de recherche du Canada en biodiversité nordique

Ministère des Ressources naturelles du Québec

Centre d'études nordiques (CEN)

Université du Québec à Rimouski

Fonds vert du gouvernement du Québec

Groupe de recherche sur les environnements nordiques BORÉAS



À PROPOS DES AUTEURS

Dominique Berteaux a obtenu un doctorat en biologie à l'Université de Sherbrooke en 1996. Il a ensuite été chercheur postdoctoral à l'Université Laval et à l'Université de l'Alberta avant de devenir professeur en biologie de la faune à l'Université McGill en 1999. Il est depuis 2002 professeur en écologie à l'Université du Québec à Rimouski. Après avoir été, de 2002 à 2011, titulaire de la chaire de recherche du Canada junior en conservation des écosystèmes nordiques, il est depuis 2012 titulaire de la chaire de recherche du Canada senior en biodiversité nordique. Le Dr Berteaux est membre du Groupe de recherche sur les environnements nordiques BORÉAS, qu'il a dirigé de 2008 à 2012, ainsi que du Centre d'études nordiques et du Centre de la science de la biodiversité du Québec. Il a été pendant huit ans membre d'un sous-comité de spécialistes du comité sur la situation des espèces en péril au Canada et a créé en 2009 le Programme de formation FONCER du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) en sciences environnementales nordiques (EnviroNord), qu'il dirige depuis. Les recherches du Dr Berteaux portent sur l'écologie des mammifères, le fonctionnement des écosystèmes et l'effet des changements climatiques sur la biodiversité. Ses travaux se déroulent surtout au Québec, au Yukon et au Nunavut. Il dirige depuis 2007 le projet CC-Bio sur les effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec.

Nicolas Casajus a obtenu une licence en biologie des organismes, populations et écosystèmes à l'Université Paul Sabatier de Toulouse en 2006, puis un master en écologie (spécialité biostatistiques et modélisation) à la même université en 2008. Ses recherches portaient sur la modification des aires de répartition des poissons des cours d'eau français sous l'effet des changements climatiques. Il est, depuis fin 2008, professionnel de recherche à l'Université du Québec à Rimouski où il assume les responsabilités de coordonnateur, gestionnaire de bases de données et modélisateur du projet CC-Bio.

Sylvie de Blois a obtenu un doctorat en biologie avec spécialisation en écologie végétale et écologie du paysage à l'Université de Montréal en 2001. Elle a été chercheuse invitée au Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation en Australie et est depuis 2001 professeure au Département de sciences végétales et à l'École d'environnement de l'Université McGill. Elle est directrice adjointe de l'École d'environnement de McGill et membre du Centre de la science de la biodiversité du Québec. Elle participe régulièrement en tant qu'experte à des comités internationaux sur des enjeux de développement durable et sur la relève en recherche. En 2007, elle a initié avec Dominique Berteaux le projet CC-Bio sur les effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec et est membre fondatrice du Groupe Phragmites. Elle dirige depuis 2011 le projet Changements climatiques et plantes envahissantes au Québec qui vise à évaluer l'impact des changements climatiques sur les invasions biologiques. Les recherches de la D^{re} de Blois portent sur l'écologie végétale et l'écologie du paysage et en particulier sur l'effet des changements climatiques sur la diversité végétale. Ses travaux se sont déroulés surtout dans les milieux agricoles et forestiers du sud du Québec et en régions tropicales (Mexique, Australie).

Travis Logan est spécialiste en scénarios hydroclimatiques au consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques. Il a collaboré au chapitre 2 à titre de coauteur.

Catherine Périé est spécialiste en impacts des changements climatiques sur les forêts du Québec à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles du Québec. Elle a collaboré aux chapitres 4 et 5 à titre de coauteur.



TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	IX
AVANT-PROPOS	XI
CONTRIBUTIONS	XV
À PROPOS DES AUTEURS	XVII
Liste des encadrés	XXIII
Liste des figures	XXV
Liste des tableaux	XXIX
Liste des sigles et acronymes	XXXI
INTRODUCTION	1
1. Les enjeux scientifiques	2
2. Les enjeux économiques	3
3. Les enjeux politiques	4
4. Les enjeux moraux	4

PARTIE 1. LE CADRE GÉNÉRAL	7
CHAPITRE 1. LA BIODIVERSITÉ DU QUÉBEC	9
À retenir	10
Introduction	11
1. Une description de la biodiversité	11
1.1. Le catalogue de la biodiversité	11
1.2. La répartition des espèces	15
1.3. Les gradients de biodiversité	17
1.4. Les régions écologiques	18
2. Une explication de la biodiversité	19
2.1. Un regard nécessaire vers le passé	19
2.2. La hiérarchie des facteurs écologiques	21
2.3. Le concept fondamental de niche écologique	22
3. La gestion et la conservation de la biodiversité	23
3.1. À quoi sert la biodiversité?	23
3.2. Les inquiétudes que soulève la dynamique actuelle de la biodiversité	25
3.3. La gestion de la biodiversité au Québec	25
Conclusion	28
CHAPITRE 2. LES CLIMATS DU QUÉBEC	29
À retenir	30
Introduction	31
1. Les climats actuels du Québec	31
1.1. Le climat versus la météo	31
1.2. Ce qui caractérise les climats du Québec	32
2. Les changements climatiques récents	34
2.1. Les tendances observées au Québec	35
2.2. Des changements régionalisés	36
3. Les projections climatiques	36
3.1. Les modèles climatiques globaux	37
3.2. Les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre	38
3.3. Les réductions d'échelle	39
3.4. Les simulations climatiques	40
3.5. L'incertitude associée aux scénarios climatiques	42
3.6. Les climats du Québec à la fin du XXI ^e siècle	42
Conclusion	46
CHAPITRE 3. L'IMPORTANCE BIOLOGIQUE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	49
À retenir	50
Introduction	51
1. Les mécanismes d'influence du climat sur la biodiversité	51
1.1. La température	51
1.2. Les autres facteurs climatiques	54
1.3. Les nombreux effets indirects	55
1.4. Des mécanismes menant à une hypothèse simple et claire	56

2. Les effets des changements climatiques déjà observés au Québec	56
2.1. Les difficultés de détection et d'attribution	56
2.2. Les changements de phénologie des espèces	59
2.3. Les changements de répartition des espèces	64
2.4. Les changements à l'échelle des écosystèmes	68
Conclusion	68
 PARTIE 2. REGARDS VERS L'AVENIR	 69
 CHAPITRE 4. LA PROJECTION ÉCOLOGIQUE: UNE SCIENCE EXIGEANTE	 71
À retenir	72
Introduction	73
1. Les modèles de niche écologique	74
1.1. Qu'est-ce qu'un modèle de niche?	74
1.2. Les avantages et les inconvénients des modèles de niche	74
1.3. La modélisation du déplacement des espèces ou de celui des communautés?	76
2. Les données utilisées pour la modélisation	76
2.1. L'étendue spatiale et la résolution des données	78
2.2. La nature des données disponibles sur la répartition des espèces	79
2.3. Le choix des espèces étudiées	79
2.4. Les descripteurs des climats et des sols	81
3. L'élaboration des modèles	83
3.1. Le choix des algorithmes	83
3.2. La calibration	83
3.3. L'évaluation	83
3.4. La projection	85
4. La confiance dans les prévisions	86
4.1. Les sources d'incertitude	87
4.2. La projection d'ensemble	87
4.3. L'estimation de la confiance	87
Conclusion	88
 CHAPITRE 5. VERS UN NOUVEAU PATRIMOINE NATUREL	 89
À retenir	90
Introduction	91
1. Une étude de cas: le bruant chanteur	91
1.1. Une représentation visuelle des effets des changements climatiques	92
1.2. Une représentation chiffrée des effets des changements climatiques	94
1.3. Des prévisions spectaculaires à interpréter avec justesse	97

2. Des espèces en mouvement	98
2.1. Les déplacements des aires de répartition	99
2.2. Les immigrations, expansions, contractions et extirpations	99
2.3. Une très forte pression de changement	102
3. Des écosystèmes en transition	107
3.1. Davantage d'espèces : le paradoxe de la biodiversité nordique	107
3.2. Des écosystèmes en déséquilibre : le revers de la médaille	109
3.3. De multiples processus à l'œuvre	114
Conclusion	115
CHAPITRE 6. L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	117
À retenir	118
Introduction	119
1. Un changement de paradigme	119
2. Un détour vers l'éthique et les positions morales	121
3. Un nouveau cadre de réflexion	122
3.1. Les aires protégées	122
3.2. La connectivité	124
3.3. La migration assistée	126
3.4. La gestion des populations	129
3.5. Se préparer aux surprises	129
3.6. Sur la scène québécoise	133
4. Vingt questions et vingt réponses	136
Conclusion	141
CONCLUSION	143
1. L'originalité de ce livre	144
2. Ce qui fait l'utilité d'une évaluation scientifique	145
2.1. La légitimité	145
2.2. La crédibilité	145
2.3. La visibilité	145
3. Et la suite ?	147
3.1. Des recherches à poursuivre	147
3.2. Une nécessaire adaptation aux changements climatiques	147
RÉFÉRENCES	151
INDEX GÉNÉRAL	163
INDEX DES ESPÈCES	167

LISTE DES ENCADRÉS

Encadré 1.1.	Les aires protégées du Québec	27
Encadré 2.1.	Le forçage radiatif	35
Encadré 2.2.	Le consortium Ouranos	40
Encadré 3.1.	Les zones de rusticité des plantes	53
Encadré 3.2.	L'apport précieux des naturalistes	61
Encadré 4.1.	L'anticipation, la projection, la prévision et la prédiction : du pareil au même?	74
Encadré 4.2.	La modélisation de niche : un outil polyvalent pour la projection écologique.	75
Encadré 4.3.	Trois alternatives aux modèles de niche	77
Encadré 4.4.	Quelques statistiques sur la modélisation réalisée dans CC-Bio	88
Encadré 5.1.	Les cartes et les données disponibles en complément du livre	91
Encadré 5.2.	L'indice de dissimilarité de Jaccard	112
Encadré 6.1.	Le vocabulaire de l'adaptation aux changements climatiques	120

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1.	Nombre d'espèces sur la planète Terre	12
Figure 1.2.	Exemples de types de répartition géographique	16
Figure 1.3.	Gradients de richesse spécifique des oiseaux et des mammifères	17
Figure 1.4.	Écorégions de niveau I en Amérique du Nord et au Québec	18
Figure 1.5.	Principaux substrats rocheux de l'est du Canada	20
Figure 1.6.	Échelles spatiales d'influence de certains facteurs écologiques	22
Figure 1.7.	Illustration de la niche écologique d'une espèce	23
Figure 1.8.	Extension des niveaux de moralité	28
Figure 2.1.	Températures et précipitations au Québec et en périphérie en 1961-1990	33
Figure 2.2.	Zones climatiques de l'Amérique du Nord	34
Figure 2.3.	Principaux concepts de climatologie prédictive abordés	37
Figure 2.4.	Familles de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre	39

Figure 2.5.	Représentation selon les cellules d'un modèle climatique global et d'un modèle régional du climat des températures annuelles moyennes du Québec et de sa périphérie	41
Figure 2.6.	Illustration du déplacement prévu des climats dans le sud du Québec durant le XXI ^e siècle.	44
Figure 2.7.	Isothermes et isohyètes annuelles en 1961-1990 et 2071-2100 pour le Québec et sa périphérie	45
Figure 2.8.	Gradients de température et vélocité climatique au Québec et dans certaines régions voisines entre 1961-1990 et 2071-2100	47
Figure 3.1.	Interactions écologiques et influences climatiques dans un écosystème forestier du sud du Québec	57
Figure 3.2.	Quatre espèces de plantes dont la floraison au Québec est devenue plus précoce durant le XX ^e siècle	60
Figure 3.3.	Changement de la date d'arrivée printanière de 113 espèces d'oiseaux migrateurs nichant au Québec	62
Figure 3.4.	Changement de la date de premier chant de la rainette crucifère dans le sud du Québec.	63
Figure 3.5.	Déplacements nordiques récents d'aires de répartition au Québec	65
Figure 3.6.	Progression nordique du cardinal rouge au Québec depuis 50 ans	66
Figure 4.1.	Zone d'étude pour étudier les effets potentiels des changements climatiques sur la biodiversité du Québec	78
Figure 4.2.	Étapes pour élaborer un modèle de niche et prévoir la répartition future potentielle d'une espèce	84
Figure 4.3.	Performances de 380 760 modèles statistiques calibrés durant le projet CC-Bio	86
Figure 5.1.	Bruant chanteur	92
Figure 5.2.	Résultats graphiques issus de la modélisation de la niche climatique du bruant chanteur	93
Figure 5.3.	Réponses de type « déplacement avec expansion », « déplacement avec contraction » et « déplacement net »	100
Figure 5.4.	Réponses de type « immigration », « expansion », « contraction » et « extirpation »	101
Figure 5.5.	Réponse potentielle de 765 espèces aux changements climatiques du XXI ^e siècle dans le Québec méridional	103
Figure 5.6.	Amplitude de déplacement des niches de 740 espèces en réponse aux changements climatiques du XXI ^e siècle au Québec	106

Figure 5.7.	Direction de déplacement de niche induite par les changements climatiques du xxi^e siècle pour 383 espèces présentant une réponse de type « déplacement »	108
Figure 5.8.	Effets potentiels sur 765 espèces modélisées des changements climatiques prévus entre 1961-1990 et 2071-2100	110
Figure 5.9.	Écorégions de niveau III chevauchant la partie québécoise de notre zone d'étude et changements entre 1961-1990 et 2071-2100 du nombre d'espèces modélisées pour lesquelles les conditions climatiques sont favorables dans chaque écorégion.	111
Figure 5.10.	Remaniement potentiel de la biodiversité entre 1961-1990 et 2071-2100 dans le sud du Québec et certaines régions voisines	113
Figure 5.11.	Pourcentage d'espèces pour lesquelles les conditions climatiques étaient favorables en 1961-1990, mais ne le seront plus en 2071-2100	113
Figure 6.1.	Arbres de décision pour la gestion des populations face aux changements climatiques	130
Figure C.1.	Appartenance institutionnelle et fonctions principales des spécialistes ayant participé aux recherches	146
Figure C.2.	Quatre phases du processus d'adaptation aux changements climatiques	148



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1.	Nombre approximatif d'espèces décrites dans le monde et au Québec pour certains groupes taxonomiques	14
Tableau 1.2.	Concepts utiles pour décrire la dynamique de la biodiversité	26
Tableau 2.1.	Changements de températures et précipitations observés entre 1961 et 2005 dans les six écorégions de niveau I du Québec	36
Tableau 2.2.	Changements climatiques prévus entre 1961-1990 et 2071-2100 dans les six écorégions de niveau I du Québec	43
Tableau 2.3.	Déplacements latitudinaux des isothermes annuelles entre 1961-1990 et 2041-2070 et entre 1961-1990 et 2071-2100	46
Tableau 4.1.	Bases de données d'occurrence d'espèces étudiées dans le projet CC-Bio	80
Tableau 4.2.	Nombre d'espèces dont la répartition a été modélisée dans le projet CC-Bio	81
Tableau 4.3.	Liste des variables climatiques utilisées dans les modèles de niche	82

Tableau 4.4.	Bases de données environnementales utilisées dans le projet CC-Bio pour modéliser la répartition des espèces	82
Tableau 4.5.	Valeurs seuils d'AUC et de Kappa utilisées pour juger la performance des modèles	85
Tableau 5.1.	Résultats quantitatifs issus de la modélisation de la niche climatique du bruant chanteur	95
Tableau 5.2.	Réponses géographiques potentielles des espèces face aux changements climatiques	98
Tableau 5.3.	Les douze espèces étudiées dont la niche climatique pourrait disparaître du Québec méridional au cours du XXI ^e siècle	104
Tableau 5.4.	Surface cumulée occupée au Québec par les niches de 765 espèces en 1961-1990 et 2071-2100.	105
Tableau 5.5.	Évaluation simplifiée du potentiel de réorganisation spatiale de quatre groupes d'espèces face au déplacement de leur niche climatique durant le XXI ^e siècle.	107
Tableau 5.6.	Changements potentiels projetés pour l'érable à sucre entre 1961-1990 et 2071-2100.	114
Tableau 5.7.	Relation entre les changements climatiques contemporains et dix phénomènes structurant les écosystèmes du Québec.	115
Tableau 6.1.	Articles scientifiques traitant des stratégies d'adaptation aux changements climatiques dans le domaine de la biodiversité.	123
Tableau 6.2.	Adaptations aux changements climatiques pour conserver la biodiversité	134



LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

AARQ	Atlas des amphibiens et des reptiles du Québec
AUC	<i>Area under the receiver operating characteristic curve</i>
CC-Bio	Projet de recherche Effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec
ÉPOQ	Étude des populations d'oiseaux du Québec
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GRIL	Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie
MCCG	Modèle couplé du climat du globe
MCG	Modèle climatique global
MEA	Millenium Ecosystem Assessment
MRC	Modèle régional du climat
MRNF	Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
UICN	Union internationale de conservation de la nature
UQAR	Université du Québec à Rimouski
USDA	United States Department of Agriculture



INTRODUCTION

Le réchauffement global et la perte mondiale de biodiversité sont les deux plus importantes questions environnementales. Depuis 1988, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) analyse les études scientifiques relatives au climat. Les conclusions sont claires: le climat change rapidement à cause de nos émissions de gaz à effet de serre. C'est un changement que nous pouvons mesurer et en bonne partie prédire, mais que nous n'arrivons pas à contrôler.

Un groupe équivalent au GIEC, mais consacré à la biodiversité, est né officiellement en avril 2012 après plusieurs années de négociations internationales. Cette Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (c'est son nom) documentera la crise globale de la biodiversité, en évaluera les conséquences pour les humains et fera la promotion des actions nécessaires pour l'enrayer. Nous cheminons de toute évidence vers l'extinction imminente de nombreuses formes de vie. Cette crise est encore plus difficile à mesurer, prédire et contrôler que la crise climatique.

Le climat et la vie sont en étroite relation sur notre planète. Depuis plus de trois milliards d'années, la vie a modelé le climat en changeant la composition de l'atmosphère et le climat a modelé la vie en influençant son évolution. Mais à l'échelle de temps à laquelle nous pouvons agir (les prochaines décennies), ce

sont les effets qu'ont les changements climatiques sur la biodiversité qui sont les plus préoccupants. D'ici la fin du siècle, la température moyenne de l'atmosphère pourrait monter de près de 5 °C, suivant les scénarios climatiques les plus extrêmes publiés par le GIEC (Alexander *et al.*, 2013). Ce réchauffement s'ajouterait à celui déjà enregistré depuis le XIX^e siècle, se poursuivrait après la fin du XXI^e siècle, et serait amplifié dans les régions arctiques (Alexander *et al.*, 2013). L'amplitude des réchauffements récent et projeté a conduit l'Union internationale des sciences géologiques à étudier la définition d'une nouvelle ère géologique, l'Anthropocène. Le changement climatique va-t-il altérer radicalement la biodiversité planétaire et balayer une partie des bénéfices qu'elle nous procure ?

La question des effets des changements climatiques sur la biodiversité soulève de nombreux enjeux. Certains sont universels alors que d'autres sont propres au Québec. Nous résumons ici la nature de ces enjeux en les découpant artificiellement en quatre catégories : scientifique, économique, politique et morale. Évidemment, ces catégories ne sont pas étanches. Les enjeux économiques et moraux influencent, par exemple, les enjeux politiques.

1.

LES ENJEUX SCIENTIFIQUES

La biologie des changements climatiques (en anglais *climate change biology*) analyse les nombreux liens entre les changements climatiques et les systèmes vivants. Cette discipline scientifique, située à la frontière entre l'écologie et la climatologie, est en pleine émergence et la progression de sa littérature spécialisée est stupéfiante. Les enjeux scientifiques qui lui sont propres sont nombreux, mais quatre semblent dominer.

La description et la compréhension des effets actuels et passés des changements climatiques sur la biodiversité constituent le fondement de la biologie des changements climatiques. Elles exigent

d'abord de détecter les changements en biodiversité, de discerner ceux qui sont attribuables aux changements climatiques, pour finalement établir les relations de cause à effet. Cet enjeu scientifique existait bien avant l'avènement des changements climatiques d'origine anthropique, puisque les biologistes ont compris depuis longtemps l'importance des variations climatiques dans le façonnement et l'organisation des formes de vie. Il a cependant pris une dimension nouvelle depuis que les humains influencent le climat.

Notre capacité à prédire les effets futurs des changements climatiques sur la biodiversité constitue un autre enjeu important. Il suscite des recherches très actives et très techniques où dominent les biostatistiques et la manipulation d'immenses quantités de données. Ce champ, situé à l'interface de la modélisation climatique et de la modélisation écologique, constitue un enjeu majeur, car toutes les indications qu'il nous donne quant aux transformations attendues de la biodiversité ont des conséquences directes sur la gestion de celle-ci. Ces indications ont aussi des impacts, plus flous, mais bien réels, sur la perception que nous avons de notre capacité à vivre en harmonie avec notre environnement.

La gestion de la biodiversité est également un enjeu incontournable. L'intendance des espèces à statut précaire et des espaces protégés (parcs, réserves, etc.) repose en effet grandement sur une conception statique de la biodiversité dans un climat assez stable. Par exemple, la notion d'intégrité écologique (l'état jugé caractéristique d'une région naturelle et susceptible de durer) est centrale à la gestion des parcs nationaux. On devine que le changement rapide du climat vient bousculer ce fondement important. D'autre part, la gestion de la biodiversité repose sur de nombreuses mesures (établissement de corridors, protection de berges, restauration d'écosystèmes, etc.) dont l'efficacité à long terme peut varier beaucoup selon que le climat est statique ou changeant. Finalement, la gestion de la biodiversité se fait aussi par de multiples plans d'action impliquant une population précise (p. ex. le caribou de la Gaspésie), une espèce donnée (p. ex. l'épinette noire récoltée par l'industrie forestière),

un groupe d'espèces bien identifié (p. ex. les insectes ravageurs de cultures), un écosystème entier (p. ex. un lac de villégiature), voire des paysages au complet (p. ex. un bassin versant). Dans tous ces cas, une bonne compréhension des implications des effets des changements climatiques représente un atout précieux pour prendre les meilleures décisions de gestion.

Notre ignorance de pans entiers de la biodiversité est mise cruellement en lumière par la biologie des changements climatiques et constitue un quatrième enjeu notable. Cette ignorance ne touche pas qu'à la taxonomie (la plupart des espèces n'ayant pas été décrites), mais aussi à la répartition des espèces, aux relations qu'elles ont entre elles et à l'importance de la multiplicité des formes de vie pour le fonctionnement des écosystèmes et le bien-être humain. L'approfondissement de nos connaissances sur la biodiversité était un enjeu scientifique connu avant que ne se développe la biologie des changements climatiques, mais l'importance de cet enjeu est exacerbée par les nombreuses questions nouvelles que provoque le changement rapide du climat.

Aucun de ces enjeux scientifiques n'est spécifique au Québec. Mais les climats, la biodiversité et l'utilisation du territoire du Québec ont des caractéristiques uniques qui créent des besoins de connaissances particuliers. Ces besoins commencent à être reconnus; la communauté scientifique québécoise consacre des efforts de plus en plus coordonnés pour étudier les effets des changements climatiques sur la biodiversité.

Parmi les programmes stimulant efficacement ces études, notons les Plans d'action sur les changements climatiques du gouvernement du Québec. Bien que visant principalement la réduction ou l'évitement des émissions de gaz à effet de serre, ils comportent aussi des volets visant l'adaptation aux changements climatiques. Ainsi, le Plan d'action 2006-2012 contenait parmi ses mesures un soutien pour déterminer la vulnérabilité des forêts québécoises aux changements climatiques, ainsi qu'un soutien pour développer des recherches sur la biodiversité et les écosystèmes.

Le Plan d'action 2013-2020 comporte quant à lui une priorité sur l'évaluation, la protection et la gestion de la biodiversité et des écosystèmes. Les sommes investies demeurent faibles par rapport à celles dont sont dotés d'autres secteurs comme la santé ou les infrastructures, mais elles n'en constituent pas moins de puissants leviers pour la communauté scientifique. Elles permettent en effet à de nombreux chercheurs d'inclure la question des effets des changements climatiques sur la biodiversité dans leur programmation de recherche, ainsi que de former de nouveaux experts dans le domaine.

2.

LES ENJEUX ÉCONOMIQUES

L'économie du Québec a déjà presque entièrement reposé sur sa biodiversité. Les animaux à fourrure, les arbres, les mammifères marins et les poissons ont été historiquement des ressources primordiales pour l'économie de la province. Aujourd'hui, l'économie du Québec ne repose pas que sur les ressources naturelles et dépend beaucoup des services. Cependant, la biodiversité joue encore un rôle très important, et des enjeux économiques notables sont liés à la question des effets des changements climatiques sur la biodiversité.

En 2010, plus de 60 000 emplois étaient attribués à l'industrie québécoise des produits forestiers, soit près de 15 % des emplois de l'activité manufacturière totale du Québec (MRNF, 2010, 2011). La valeur matérielle de certaines essences forestières est donc très grande. Les activités récréatives liées à la faune et à la nature sont quant à elles pratiquées par 3,4 millions de personnes, ce qui contribue à créer ou maintenir 32 100 emplois (MRNF, 2011; gouvernement du Québec, 2012a). Ce sont surtout les valeurs esthétique et spirituelle de la faune et de la nature en général qui génèrent ces activités récréatives. Les valeurs non matérielles de la biodiversité québécoise sont d'ailleurs un puissant moteur de l'économie touristique du Québec. Elles contribuent à ce qu'environ dix millions de touristes visitent la province chaque année.

Ces quelques chiffres touchent à des services directs rendus par la biodiversité du Québec. Il existe cependant de nombreux autres services, dont l'importance économique est primordiale, mais qui ne sont pas quantifiés. Par exemple, la régulation des crues par les écosystèmes forestiers et par les milieux humides a une énorme valeur, de même que le maintien de la fertilité des terres agricoles par la biodiversité des sols.

L'impossibilité actuelle de bien mesurer l'importance économique de la biodiversité empêche de saisir convenablement les enjeux monétaires liés aux effets des changements climatiques sur la biodiversité. Cependant, certains cas sont clairs. Par exemple, les changements de la forêt québécoise qui pourraient être induits par le réchauffement climatique soulèvent des enjeux économiques majeurs qu'il est urgent de bien comprendre.

3. LES ENJEUX POLITIQUES

Les enjeux politiques sont imbriqués en trois niveaux. La question des effets des changements climatiques sur la biodiversité résonne d'abord dans les opinions publiques, ce qui influence les politiques nationales, pour finalement infléchir les politiques internationales.

Les effets des changements climatiques sur la biodiversité engendrent des images puissantes. Des espèces exotiques envahissent de nouveaux territoires. La fonte de la banquise réduit l'habitat des ours blancs. Ces images restent fixées dans les esprits, elles cristallisent des peurs profondes de l'autre et du lendemain. Elles sont d'ailleurs utilisées efficacement dans les campagnes de sensibilisation des mouvements de protection de la nature, qui ont connu un essor considérable depuis 50 ans.

Le verdissement des opinions influence l'exercice du pouvoir. Aussi la grande majorité des nations bénéficie maintenant de ministères de l'Environnement ainsi que de lois, politiques et stratégies en matière de biodiversité. Nos connaissances sur la

façon dont les changements climatiques affectent les espèces et les écosystèmes finissent par percoler jusque dans ces lois, politiques et stratégies.

Au niveau international, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, adoptée lors du Sommet de la Terre de Rio en 1992, fut la première tentative de l'Organisation des Nations Unies pour remédier aux changements climatiques. La Convention reconnaît l'importance des systèmes biologiques comme indicateur de la limite de réchauffement planétaire à ne pas dépasser, celle qui nous ferait basculer dans le domaine des dangereuses interférences avec le système climatique. Cette notion de dangereuse interférence, maintenant centrale à toute discussion sur les changements climatiques, est évaluée selon trois références : la sécurité alimentaire, la protection des écosystèmes et un développement économique durable. Ainsi, les effets des changements climatiques sur la biodiversité constituent maintenant un enjeu crucial des négociations internationales. Les biologistes font face à une nouvelle responsabilité, celle de contribuer à définir la notion de « dangereuse interférence avec le système climatique ».

4. LES ENJEUX MORAUX

Nos normes morales expriment nos valeurs et sont façonnées par les conséquences, proches ou lointaines, de nos actions. Elles évoluent en fonction des nouvelles informations dont nous disposons. Ainsi, les dernières connaissances scientifiques quant aux changements climatiques et à leurs effets sur la biodiversité font vibrer au moins deux cordes morales. La première tient à notre attitude vis-à-vis des autres formes de vie. Étant donné que le changement rapide du climat risque d'avoir un effet destructeur sur des milliers d'espèces, elle pose la question de notre responsabilité vis-à-vis d'espèces créées par des centaines de milliers d'années d'évolution biologique. La seconde est liée aux disparités entre humains quant aux bénéfices qu'ils tirent de la nature. Est-il moral de réchauffer le climat si cela

change la biodiversité au point où d'autres humains encourent des pertes ou des risques importants ? Est-il moral de diminuer le patrimoine naturel dont hériteront les générations futures ?

On peut déceler une hiérarchie « en poupées russes » des normes morales : au centre l'individu, puis en s'éloignant du centre, la famille, la nation, l'humanité entière, toutes les formes de vie, voire la planète au complet. Plus on s'éloigne de l'individu, moins les normes morales sont définies et moins elles sont renforcées par des lois. En soulevant des questions quant à notre influence sur la biosphère, le changement du climat nous pousse à réfléchir aux cercles les plus larges de la réflexion morale.

Les enjeux soulevés par la question des effets des changements climatiques sur la biodiversité sont donc nombreux et variés. Certains ont une portée planétaire alors que d'autres ne touchent qu'à des questions locales. Tous appellent cependant à une meilleure compréhension des façons dont le changement du climat affecte les espèces et les écosystèmes, la partie vivante de notre patrimoine naturel.



CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET BIODIVERSITÉ DU QUÉBEC

VERS UN NOUVEAU PATRIMOINE NATUREL

Les changements climatiques sont une question environnementale majeure de ce siècle. Afin de comprendre et de prévoir leurs effets sur la biodiversité du Québec, des climatologues, des biologistes, des naturalistes et des gestionnaires de notre patrimoine naturel ont collaboré durant cinq années pour produire cet ouvrage.

Ils ont analysé les répartitions de près de 1 000 espèces d'animaux et de plantes et ont tenté d'anticiper les changements potentiels de ces répartitions pour la fin du XXI^e siècle. En utilisant des approches scientifiques parmi les plus perfectionnées ainsi que des modèles climatiques et des informations sur la biodiversité parmi les plus à jour, ils ont dressé un tableau saisissant des changements profonds qui sont anticipés sur le territoire québécois.

Les premiers chapitres présentent avec clarté le patrimoine naturel et les climats du Québec. Le lecteur est ensuite amené, à partir de résultats de modélisation publiés ici pour la première fois, à se projeter dans l'avenir pour entrevoir l'évolution du patrimoine naturel québécois. Les conséquences des recherches sur la gestion des espèces, des aires protégées et des écosystèmes sont enfin exposées.

Les biologistes, les naturalistes, les techniciens en écologie, les gestionnaires de la faune et des parcs, les ingénieurs et les techniciens forestiers, les professionnels et les militants de la conservation de la nature, les décideurs ainsi que les étudiants et enseignants en biologie trouveront tous dans ce livre matière à d'intenses réflexions. Les points à retenir sont résumés, des dizaines de cartes en couleur sont présentées et de multiples figures illustrent les messages importants. Un site Web fournit des milliers de cartes complémentaires et permet de télécharger toutes les figures du livre.

DOMINIQUE BERTEAUX, Ph. D., est professeur en écologie à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), où il est aussi titulaire de la Chaire de recherche du Canada en biodiversité nordique.

Il dirige depuis 2007 le projet CC-Bio, une vaste étude sur les effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec.

NICOLAS CASAJUS est professionnel de recherche à l'UQAR, où il assume les responsabilités de coordonnateur, de gestionnaire de bases de données et de modélisateur du projet CC-Bio.

SYLVIE DE BLOIS, Ph. D., est professeure au Département de sciences végétales et à l'École d'environnement de l'Université McGill. Elle a lancé avec Dominique Berteaux le projet CC-Bio et dirige le projet Changements climatiques et plantes envahissantes au Québec.

Ont également collaboré
Travis Logan et Catherine Périé

