



© Frédérick Lelève - MIFFP

© Philippe Lamare

GUIDE SUR LES MESURES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : FAVORISER LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction des espèces fauniques menacées ou vulnérables (DEFAMV) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Dépôt légal – 2024

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-97936-4 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2024

Équipe de réalisation

Rédaction

Dominic Desjardins, biologiste

Bureau d'écologie appliquée (au moment de la rédaction du document)

Marylène Ricard, biologiste

Bureau d'écologie appliquée (au moment de la rédaction du document)

Étienne Raby-Chassé, biologiste

Bureau d'écologie appliquée (au moment de la rédaction du document)

Anouk Simard, biologiste

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), Direction des espèces fauniques menacées ou vulnérables (DEFAMV)

Révision

Marie-Andrée Vaillancourt, biologiste

MELCCFP, Direction principale des espèces menacées ou vulnérables (DPEMV)

Christine Dumouchel, biologiste

MELCCFP, DEFAMV

Référence à citer

DESJARDINS, D., M. RICARD, É. RABY-CHASSÉ et A. SIMARD (2024). *Guide sur les mesures d'adaptation aux changements climatiques : favoriser la conservation de la biodiversité*, Bureau d'écologie appliquée et ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction générale des écosystèmes et des espèces menacées ou vulnérables, Direction principale des espèces menacées ou vulnérables, Direction des espèces fauniques menacées ou vulnérables, gouvernement du Québec, Québec, 61 p.

Avant-propos

Le présent guide a été réalisé dans le cadre de l'action 29.2 Protection et gestion de la biodiversité et des écosystèmes du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques (ci-après PACC). Il vise à outiller les intervenants québécois du domaine de la conservation de la biodiversité et de l'aménagement des milieux naturels qui désirent adapter leurs pratiques en regard des enjeux découlant des changements climatiques. Il a pour objectif de décrire les mesures d'adaptation aux changements climatiques les plus prometteuses et de présenter des exemples d'actions concrètes. Ainsi, certaines des actions possibles sont illustrées à l'aide d'exemples concrets, dont certains sont des projets également financés dans le cadre du PACC. L'initiative vise ainsi à inciter l'ensemble des intervenants à adopter des pratiques de conservation des espèces et des écosystèmes qui tiennent explicitement compte des changements climatiques.

Résumé

Les changements climatiques sont désignés comme étant le deuxième facteur responsable de l'érosion de la biodiversité, après la perte d'habitat. De plus, ils agissent en synergie avec les autres menaces à la biodiversité telles que la perte d'habitats, la surexploitation de certaines espèces, l'arrivée d'espèces envahissantes, la pollution et les co-extinctions. Cet ensemble de menaces engendre un énorme défi pour la conservation de la biodiversité.

À eux seuls, les changements climatiques auront des répercussions sur différents paramètres écologiques, comme la phénologie des espèces, la répartition des niches climatiques favorables et, ultimement, la composition et les fonctions écologiques des écosystèmes. La connaissance de ces effets, détectés ou appréhendés dans le futur, permet de porter un jugement sur la vulnérabilité des espèces aux changements climatiques ainsi que sur celle des actions visant à atteindre des objectifs de conservation de la biodiversité.

Pour favoriser la capacité d'adaptation des espèces et la résilience des écosystèmes, les acteurs de la conservation doivent connaître les mesures d'adaptation à leur disposition. Pour éclairer cette facette, une revue de littérature a été réalisée afin de recenser les principales mesures d'adaptation proposées dans la littérature scientifique. Ce guide présente donc 18 mesures d'adaptation réparties dans 4 grands champs d'action de la conservation : la gestion et la conservation des populations, la protection et la gestion des milieux naturels, la planification et la surveillance ainsi que les politiques, les lois et la gouvernance.

Pour chacune des 18 mesures d'adaptation proposées, on présente une brève description, une justification de sa pertinence pour l'adaptation aux changements climatiques, ainsi qu'un aperçu de son applicabilité dans le contexte québécois. Les limites et les contraintes de chaque mesure sont mises en évidence, ainsi que les recommandations associées.

Les mesures d'adaptation proposées ne sont pas mutuellement exclusives et s'avèrent souvent complémentaires, mais parfois aussi concurrentes. Certaines pratiques actuelles constituent déjà des mesures pertinentes pour l'adaptation aux changements climatiques et méritent d'être poursuivies ou renforcées. D'autres mesures d'adaptation sont au contraire très innovantes et peuvent bousculer les pratiques et les courants de pensée actuels. Face à la complexité et l'incertitude liées aux changements climatiques, plusieurs solutions devront être considérées, évaluées et testées dans une optique de gestion adaptative et de gestion des risques.

Table des matières

Introduction	1
Les impacts des changements climatiques sur la biodiversité	1
Impacts sur la phénologie	3
Impacts sur la répartition des espèces	3
Impacts sur les écosystèmes	5
La vulnérabilité de la biodiversité du Québec	5
Adapter la conservation de la biodiversité à ce nouveau contexte	6
Méthodologie	8
Revue de littérature	8
Conception du guide	8
A. GESTION ET CONSERVATION DES ESPÈCES ET POPULATIONS	9
1. Accroître la résilience des espèces en atténuant les menaces autres que les changements climatiques	9
2. Concentrer les efforts de conservation sur les espèces les plus vulnérables aux changements climatiques, dont les espèces en situation précaire	11
3. Assurer la conservation <i>ex situ</i> des espèces ou des populations vouées à l’extinction en raison des changements climatiques	13
4. Effectuer la migration assistée des espèces dont la survie dans l’aire de répartition d’origine est menacée par les changements climatiques si les analyses de faisabilité et de risques sont favorables	15
5. Approfondir les recherches scientifiques visant à anticiper ou à mesurer la réponse des espèces et des écosystèmes aux changements climatiques et aux mesures d’atténuation déployées pour en réduire les impacts	17
B. PROTECTION ET GESTION DES MILIEUX NATURELS	19
6. Accroître la superficie du réseau d’aires protégées	19
7. Améliorer la représentativité et la redondance des aires protégées en tenant compte des effets anticipés des changements climatiques	21
8. Accroître et protéger la connectivité des habitats pour favoriser le déplacement des espèces	23
9. Établir et mettre en œuvre des plans de conservation dynamique à l’échelle du paysage	25
10. Aménager et restaurer les écosystèmes pour en maximiser la résilience	27
11. Assurer le maintien et la restauration des fonctions des écosystèmes plutôt que des communautés historiques	29
C. PLANIFICATION ET SURVEILLANCE	31
12. Bonifier et adapter les programmes de suivi au contexte des changements climatiques	31
13. Intégrer les effets des changements climatiques dans les plans de gestion, de conservation et de rétablissement	34

14. Mettre en pratique une gestion adaptative	37
15. Améliorer la coordination et l'échange d'information entre les organisations et les disciplines œuvrant dans l'adaptation aux changements climatiques	39
D. POLITIQUES, LOIS ET GOUVERNANCE	41
16. Intégrer la conservation des écosystèmes dans le processus d'adaptation de la société aux changements climatiques	41
17. Réviser les lois, la réglementation et les politiques existantes en matière de conservation et de gestion de la biodiversité dans un contexte d'adaptation	43
18. Intégrer les sciences sociales et le savoir traditionnel dans les processus décisionnels afin de favoriser l'acceptabilité sociale et la mobilisation citoyenne pour l'adaptation	45
Conclusion	47
Références	48

Liste des tableaux

Tableau 1. Prévisions climatiques pour lesquelles le niveau de connaissance est élevé (tiré d'Ouranos, 2015)	2
--	---

Liste des figures

Figure 1. Moyenne des températures quotidiennes de la période de 1981 à 2010 et des horizons climatiques de 2041-2070 et 2071-2100 selon un scénario d'émission de GES élevé (© Ouranos, 2021, v1.2.1)	1
Figure 2. Total annuel des précipitations de la période de 1981 à 2010 et des horizons climatiques de 2041-2070 et 2071-2100 selon un scénario d'émission de GES élevé (© Ouranos, 2021, v1.2.1)	2
Figure 3. Illustration du concept de répartition potentielle avec ou sans déplacement (inspiré de Gendreau et coll., 2018)	4
Figure 4. État (couleur) et tendance (flèche) des cibles de conservation et des menaces	38
Figure 5. Définitions des catégories d'état et de tendance des cibles de conservation et des menaces	38

Introduction

Les changements climatiques sont désignés comme étant le deuxième facteur responsable de l'érosion de la biodiversité, après la perte d'habitat (Malcom et coll., 2006; Sala et coll., 2000). De plus, les changements climatiques agissent en synergie avec les autres menaces à la biodiversité telles que la perte d'habitats, la surexploitation de certaines espèces, l'arrivée d'espèces envahissantes, la pollution et les co-extinctions (Brook et coll., 2008; Dunn et coll., 2009; Lovejoy et Hannah, 2005). Cet ensemble de menaces engendre ce qu'on surnomme maintenant « la sixième extinction du vivant sur Terre » (Brook et coll., 2008) et pose un énorme défi pour la conservation de la biodiversité.

Les impacts des changements climatiques sur la biodiversité

À l'échelle planétaire, les modèles climatiques prévoient un réchauffement global variant entre 1 et 2 degrés Celsius d'ici 2100 selon les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Si le réchauffement global franchit le seuil de 1,5 degré Celsius, les répercussions sur les extrêmes de chaleurs et de précipitations ainsi que les probabilités de sécheresse seront d'autant plus graves (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC], 2018). Dans tous les cas, le réchauffement aura de graves répercussions sur les écosystèmes et la biodiversité et des solutions devront être déployées pour y remédier (GIEC, 2018).

Au Québec, les changements anticipés incluent, entre autres, une augmentation des températures moyennes annuelles variant entre 3 et 7 degrés Celsius, en fonction des scénarios d'émissions de GES (figure 1). Selon les régions, une stabilisation ou une augmentation des précipitations sur une base annuelle est attendue (figure 2).

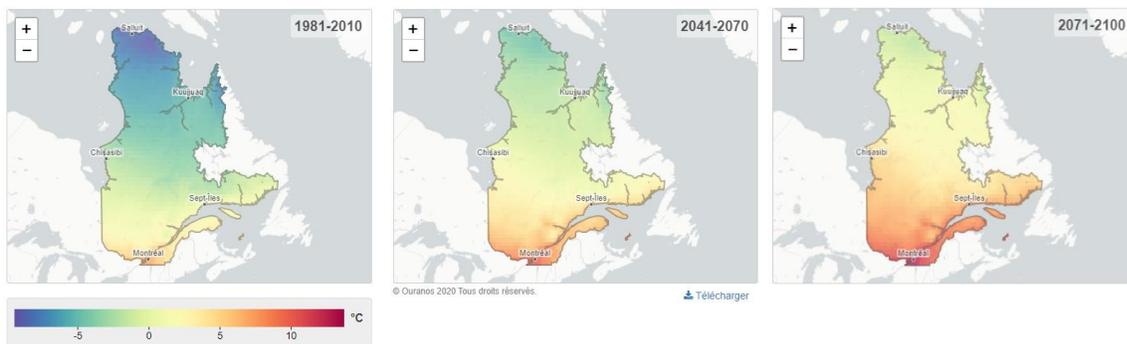


Figure 1. Moyenne des températures quotidiennes de la période de 1981 à 2010 et des horizons climatiques de 2041-2070 et 2071-2100 selon un scénario d'émission de GES élevé (© Ouranos, 2021, v1.2.1)

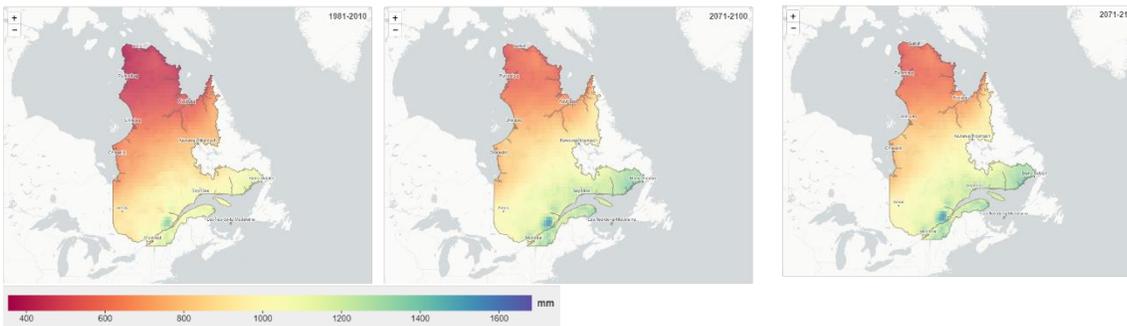


Figure 2. Total annuel des précipitations de la période de 1981 à 2010 et des horizons climatiques de 2041-2070 et 2071-2100 selon un scénario d'émission de GES élevé (© Ouranos, 2021, v1.2.1)

De manière générale, le Québec peut s'attendre à des hivers plus doux et pluvieux, ainsi que des étés plus chauds et secs. La fréquence des épisodes climatiques extrêmes devrait aussi augmenter. Les quantités maximales de précipitations sur une période de cinq jours consécutifs sont présentement à la hausse, ce qui peut entraîner davantage d'inondations. À la grandeur du Québec, il y aura une augmentation des débits hivernaux et une baisse de débit moyen au sud du Québec au printemps, à l'été et à l'automne à l'horizon 2041-2070 (Tableau 1).

Tableau 1. Prévisions climatiques pour lesquelles le niveau de connaissance est élevé (tiré d'Ouranos, 2015)

Prévisions climatiques		
	Température	Hydrologie
Hiver	<ul style="list-style-type: none"> • Réchauffement des températures moyennes et des extrêmes • Diminution de la longueur de la saison de gel 	<ul style="list-style-type: none"> • Hausse des précipitations moyennes • Hausse des précipitations extrêmes • Augmentation des débits des rivières • Diminution de la neige au sol dans le Sud
Printemps	<ul style="list-style-type: none"> • Réchauffement des températures moyennes et des extrêmes • Dégel hâtif 	<ul style="list-style-type: none"> • Hausse des précipitations moyennes • Hausse des précipitations extrêmes • Augmentation des débits dans le Nord • Diminution de débits dans le Sud
Été	<ul style="list-style-type: none"> • Réchauffement des températures moyennes et des extrêmes • Allongement de la saison de croissance 	<ul style="list-style-type: none"> • Hausse des précipitations extrêmes • Étiages estivaux plus sévères et plus longs • Conditions plus sèches du sol
Automne	<ul style="list-style-type: none"> • Réchauffement des températures moyennes et des extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> • Hausse des précipitations extrêmes • Augmentation des débits dans le Nord • Diminution de débits dans le Sud

Un réchauffement des températures de l'eau est aussi déjà observé dans le bassin des Grands Lacs (Dobiesz et Lester, 2009). Ces modifications sont susceptibles d'affecter la disponibilité d'habitats thermaux, la croissance, le recrutement et la survie des espèces aquatiques et en modifieront l'abondance et la répartition (Robillard et Fox, 2006). Le réchauffement des températures de l'eau ainsi que l'augmentation des débits hivernaux et de la sévérité des étiages estivaux sont susceptibles d'être amplifiés au cours du prochain siècle (Ouranos, 2015; Poesch et coll., 2016). Les périodes, la quantité et l'épaisseur des glaces seront aussi réduites dans le futur, à un tel point qu'il est envisagé avec un haut degré de certitude que l'Arctique sera libre de glace durant la période estivale vers 2030 (Lang et coll., 2018). Une augmentation dans la fréquence et l'intensité des perturbations naturelles est également attendue. À titre d'exemple, les feux de forêt dans l'Ouest canadien sont en augmentation (Hanes et coll., 2018), tout comme la persistance des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette dans le nord des forêts québécoises (Bentz et coll., 2010).

Dans ce contexte, pour bien cerner la pertinence des mesures d'adaptation, il convient de savoir comment répondent les populations animales et végétales face aux changements climatiques. Certaines réponses s'expriment à plus large échelle, telles que les décalages dans la phénologie ou le déplacement des aires de répartition. Celles-ci sont d'ailleurs déjà documentées chez plusieurs espèces. D'autres réponses sont plutôt à l'échelle d'un écosystème ou d'une population en particulier. Bien que le présent document donne

un aperçu des principaux impacts des changements climatiques, davantage de détails sont disponibles dans l'ouvrage de Berteaux et coll. (2014).

Impacts sur la phénologie

La phénologie réfère aux différents phénomènes périodiques dans le monde vivant. Souvent dictés par les variations du climat entre les saisons, ces phénomènes annuels définissent le cycle de vie des espèces (Berteaux et coll., 2014). La floraison, la feuillaison, la fructification, le changement de couleur des feuilles, les migrations saisonnières, l'éclosion des larves d'insectes et l'hibernation en sont de bons exemples. Dans les climats froids, comme au Québec, les périodes d'activités optimales des espèces sont courtes et, par conséquent, doivent être optimisées. La capacité des espèces à adapter leur cycle de vie en fonction de l'arrivée précoce ou tardive du printemps déterminera l'ampleur de l'impact qu'auront les changements climatiques sur leur survie et leur reproduction (Berteaux et coll., 2014). Les individus trop en avance ou en retard pourraient être menacés par le gel, le manque de nourriture, la compétition ou, simplement, par le manque de temps nécessaire pour terminer leur cycle vital. Une asynchronie entre les traits biologiques, comme les dates de floraison, de ponte, d'arrivée de migration, de sortie d'hibernation ou des premiers chants, peut affecter la viabilité des individus et conditionner leur succès de reproduction (Berteaux et coll., 2014).

À l'échelle mondiale, une forte réponse phénologique aux changements climatiques est observée pour plusieurs taxons, dont les arbres et les plantes herbacées, les oiseaux, les insectes, les amphibiens et les poissons (Parmesan et Yohe, 2003). Le Québec n'échappe pas à ce phénomène. À titre d'exemple, les dates d'arrivée printanières de 113 espèces d'oiseaux migrateurs indiquent que 80 % de celles-ci sont arrivées progressivement plus tôt entre 1969 et 2008 (Francœur, 2012). La période des premiers chants chez la rainette crucifère a avancé de près de 6 jours par décennie entre 1987 et 2005 (Berteaux et coll., 2014). Le tussilage pas-d'âne fleurit quant à lui de 15 à 31 jours plus tôt aujourd'hui qu'au début du 20^e siècle (Lavoie et Lachance, 2006). Ces changements phénologiques seraient plus marqués à proximité des grandes zones urbaines qui contribuent localement au réchauffement des températures.

Impacts sur la répartition des espèces

Les changements climatiques influencent aussi la répartition géographique de nombreuses espèces. Avec le réchauffement des températures, les déplacements se dirigent généralement vers le nord et en altitude. Deux phénomènes combinés contribuent à ce mouvement progressif des aires de répartition. D'abord, les individus d'une espèce qui se trouvent à la limite sud de leur aire de répartition risquent d'y disparaître si les conditions nécessaires à leur survie se dégradent. Parallèlement, un territoire plus au nord qui se réchauffe peut être colonisé si des conditions favorables y apparaissent (Berteaux et coll., 2014). Pour 1000 espèces évaluées, le déplacement moyen de l'aire de répartition vers les pôles et en altitude atteindrait respectivement 17 km et 11 m par décennie (Chen et coll., 2011).

Au Québec, la répartition de plusieurs espèces présenterait des remontées nordiques remarquables, particulièrement chez les oiseaux qui sont très mobiles. Les données récoltées par les ornithologues amateurs indiquent qu'en 1960 le cardinal rouge était confiné à la région de Montréal. Bien qu'il soit difficile d'exclure l'effet du nourrissage par les citoyens, l'espèce est dorénavant présente jusqu'en Gaspésie et en Abitibi (Michaud, 2019). Une étude de Roy-Dufresne et coll., (2013) révèle que la souris à pattes blanches (*Peromyscus leucopus*), hôte préférentiel de la tique à patte noire (*Ixodes scapularis*) et agent de propagation de la bactérie causant la maladie de Lyme (*Borrelia burgdorferi*), colonise graduellement le territoire québécois. Alors qu'en 1970 c'est la souris sylvestre (*Peromyscus maniculatus*) qui dominait le secteur du mont Saint-Hilaire, de nos jours, la vaste majorité des captures sont des souris à pattes blanches.

Les modifications dans la répartition des espèces qui structurent fortement les écosystèmes, comme les arbres, peuvent aussi entraîner des conséquences importantes sur la biodiversité. Par exemple, au Québec, la limite nordique des arbres, dominée par l'épinette noire (*Picea mariana*), s'est déplacée de 12 km le long de la côte est de la baie d'Hudson depuis la fin des années 1800 (Lescop-Sinclair et Payette,

1995). En outre, le déplacement moyen des plantes vers le nord atteint 6,1 km par décennie à l'échelle de la planète (Parmesan et Yohe, 2003), ce qui laisse présager que la limite nordique des arbres pourrait gagner rapidement du terrain dans la toundra arctique (Callaghan et coll., 2005).

La pression des modifications du climat sur la répartition des espèces représente une menace pour plusieurs d'entre elles. L'adaptation de l'aire de répartition est tributaire de la capacité de dispersion naturelle, qui varie entre les espèces. Ainsi, certaines espèces pourraient avoir une capacité de dispersion insuffisante par rapport à la vitesse des changements climatiques, notamment plusieurs plantes qui pourraient ne pas arriver à suivre le rythme (Gendreau et coll., 2018). Qui plus est, les déplacements des organismes sont souvent restreints par des barrières naturelles et anthropiques, incluant la fragmentation des milieux naturels. Ainsi, la viabilité des populations simultanément affectées par les pressions climatiques et des barrières au déplacement pourrait être compromise. La progression nordique de plusieurs espèces pourrait aussi être limitée par les relations interspécifiques, comme la compétition avec les espèces déjà établies, des exigences spécifiques en matière de besoins alimentaires ou encore des relations symbiotiques (Berteaux et coll. 2014).

Encadré 1.1 Les niches bioclimatiques et la modélisation

Grâce à des modèles statistiques, il est possible de projeter dans le futur la répartition potentielle des conditions climatiques favorables à une espèce. Pour y parvenir, on modélise la niche bioclimatique (ou espace climatique favorable) en mettant en relation la répartition actuelle observée avec certaines variables climatiques mesurées pour une période de référence. Lorsqu'on établit une corrélation, il est ensuite possible de remplacer les valeurs des variables climatiques actuelles par celles qui sont anticipées selon les scénarios de changements climatiques pour une période future. On prédit ainsi la délimitation attendue de la niche bioclimatique de l'espèce, soit sa répartition future potentielle selon une période et un scénario donnés (Gendreau et coll., 2018; figure 3).

Il est important d'insister sur le caractère « potentiel » de cette répartition, puisqu'il est fort possible qu'une espèce soit dans l'incapacité de s'établir dans une zone climatique nouvellement favorable. Différents facteurs peuvent freiner les déplacements d'aires de répartition des espèces, et la plupart des modèles de niche n'en tiennent pas compte. Néanmoins, les modèles de niche bioclimatique demeurent des outils puissants qui permettent d'illustrer la pression climatique que subit une espèce, d'anticiper des extinctions locales ou de découvrir de nouveaux sites propices à cette espèce.

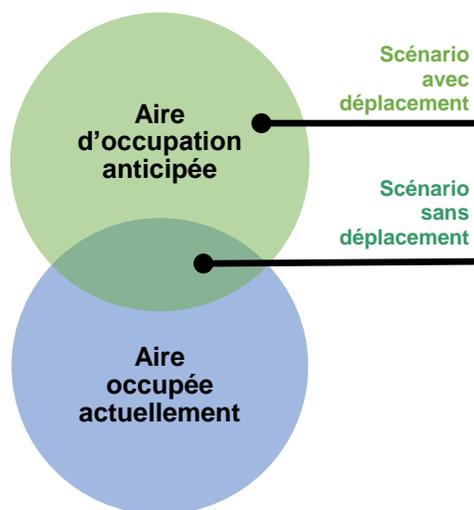


Figure 3. Illustration du concept de répartition potentielle avec ou sans déplacement (inspiré de Gendreau et coll., 2018)

Impacts sur les écosystèmes

Les réponses de chacune des espèces aux modifications du climat peuvent avoir des répercussions à l'échelle des écosystèmes. Ces répercussions sont toutefois complexes et difficiles à anticiper. D'abord, les espèces ne modifieront pas leur répartition de la même façon, et ces écarts entraîneront des changements importants dans la composition des assemblages d'espèces (Thuiller et coll., 2006). Ainsi, des espèces n'ayant jamais coexisté pourraient le faire dans le futur. Ensuite, le déplacement des niches climatiques et les modifications de la phénologie des espèces peuvent entraîner la rupture de certaines relations biotiques (Parmesan, 2006) et affecter de nouvelles espèces par le biais du réseau trophique (Duffy, 2003). Par exemple, le réchauffement des eaux d'un lac peut perturber l'équilibre entre les différentes espèces et les réseaux trophiques, ce qui peut entraîner une prolifération démesurée du phytoplancton et une eutrophisation accélérée (Jeppesen et coll., 2010).

Parmi les bouleversements que pourraient subir les écosystèmes, la propagation d'espèces envahissantes, de pathogènes et d'insectes ravageurs est particulièrement préoccupante. Une augmentation de la fréquence des infestations parasitaires et des maladies a été observée et attribuée aux modifications du climat (GIEC, 2002). En Amérique du Sud et Amérique centrale, près de 67 % des 110 espèces de grenouilles du genre *Atelopus* se sont éteintes à la suite de la prolifération d'un champignon pathogène favorisé par le changement du climat (Pounds et coll., 2006). Par ailleurs, les travaux de Walther et coll. (2009) mettent en lumière le rôle des changements climatiques sur la propagation de nombreuses plantes, invertébrés, poissons et oiseaux exotiques. Au Québec, les changements climatiques sont susceptibles de favoriser le succès d'établissement du roseau commun (*Phragmites australis*) en améliorant la survie des graines et des plantules, en plus d'augmenter la superficie d'habitats qui lui sont favorables (Albert et coll., 2016; Tougas-Tellier et coll., 2015).

Ultimement, les impacts engendrés par les changements climatiques interagiront, provoquant des effets en cascade et des rétroactions susceptibles d'affecter profondément la dynamique et les fonctions des écosystèmes (Williams et coll., 2008). De ce fait, considérant les rôles distincts occupés dans l'écosystème par chaque espèce, les liens d'interdépendance qui les unissent seront érodés. Par conséquent, l'ensemble des processus écosystémiques et, ultimement, le fonctionnement de l'écosystème dans son entièreté seront affectés (Dossena et coll., 2012). Différents outils d'analyse tentent d'anticiper ces impacts ou, à tout le moins, d'évaluer la vulnérabilité des espèces et des systèmes biologiques, de manière à cibler les éléments plus à risque.

La vulnérabilité de la biodiversité du Québec

Au Québec, quelques études utilisent la modélisation pour anticiper les impacts vraisemblables des changements climatiques sur la biodiversité. Les travaux de Berteaux et coll. (2018) portant sur le réseau québécois d'aires protégées révèlent que d'importants changements sont attendus dans la composition des assemblages de plantes vasculaires, d'oiseaux et d'amphibiens. Ce renouvellement des communautés serait attribuable à une augmentation de la richesse en espèces. Advenant un réchauffement des températures, des espèces pourraient coloniser de nouveaux territoires, incluant les aires protégées. En revanche, d'autres espèces pourraient voir une dégradation de leurs conditions climatiques préférentielles et subir des extirpations locales. Ces travaux mettent en lumière le rôle fondamental que joue la capacité de dispersion des espèces à travers une matrice d'habitats qui peut s'avérer plus ou moins fragmentée selon les régions.

Les espèces déjà en situation précaire possèdent souvent des traits biologiques qui les rendent particulièrement vulnérables aux effets des changements climatiques (Aitken et coll., 2008; Hunter, 2007; McLachlan et coll., 2007). L'analyse de Gendreau et coll. (2018) suggère que, sur 409 plantes vasculaires en situation précaire au Québec, 58 % sont aussi vulnérables aux changements climatiques et que la majorité d'entre elles ne seraient pas en mesure d'étendre adéquatement leur aire de répartition. Une analyse similaire portant sur les espèces fauniques en situation précaire montre quant à elle que 55 % des espèces à l'étude sont hautement ou extrêmement vulnérables aux changements climatiques, c'est-à-dire que leur abondance est susceptible de diminuer significativement d'ici 2050 (Ricard et coll., 2024).

Les informations sur la vulnérabilité des espèces sont précieuses, puisqu'elles permettent de faire ressortir certaines des composantes les plus à risque et d'anticiper les réponses des écosystèmes aux pressions climatiques. En ayant la capacité d'appréhender les changements, il devient possible de modifier les pratiques en conservation de la biodiversité et en aménagement des milieux naturels, afin de les adapter aux changements climatiques et ainsi d'atténuer les impacts sur la biodiversité.

Adapter la conservation de la biodiversité à ce nouveau contexte

La conservation de la biodiversité et l'aménagement des milieux naturels, tels qu'on les applique aujourd'hui, sont fondés sur une vision statique de la biodiversité, dans l'espace comme dans le temps. Cette vision nous porte à faire des choix dictés en bonne partie par la connaissance de la répartition actuelle des espèces et des écosystèmes, en l'absence de perturbations climatiques. Or les changements climatiques dynamisent les écosystèmes qui se modifient et s'adaptent au nouveau climat. Ce contexte incite à revoir les pratiques de gestion afin de maintenir un haut niveau d'efficacité en conservation de la biodiversité.

En intégrant la science des changements climatiques aux mesures de conservation, il émerge des pratiques qui favorisent l'adaptation des espèces et des écosystèmes (Bertheaux et coll., 2014). Les mesures d'adaptation aux changements climatiques proposées pour adapter la conservation de la biodiversité visent à augmenter la résilience des espèces et des écosystèmes, à diminuer leur vulnérabilité, voire à tirer profit des changements climatiques par la révision des processus décisionnels (Bertheaux et coll., 2014). Il semble cependant y avoir un décalage entre la conception théorique des mesures d'adaptation et leur applicabilité sur le terrain. Comment, quand et dans quelles conditions doit-on les implanter afin d'obtenir le maximum d'efficacité (Heller et Zavaleta, 2009)? L'objectif du présent guide est de clarifier les mesures d'adaptation à utiliser dans le domaine de la conservation de la biodiversité, en définissant leur contexte d'utilisation, leurs avantages et inconvénients et en illustrant leur applicabilité par des exemples concrets. Ce faisant, ce guide aidera les acteurs de la conservation de la biodiversité et de la gestion des milieux naturels à adapter leurs pratiques pour tenir compte des changements climatiques.

Encadré 1.2

Définition du sens attribué aux termes entourant l'adaptation aux changements climatiques, la conservation et la gestion de la biodiversité tout au long de ce guide.

Adaptation aux changements climatiques

Activité ou processus mené par l'humain ou par un système écologique qui tend à réduire les effets négatifs ou à bénéficier des effets positifs reliés aux changements climatiques.

Gestion adaptative

Amélioration continue des politiques et pratiques de gestion, en fonction des leçons tirées des résultats obtenus antérieurement.

Mesure d'adaptation

Amélioration des actions et procédés habituels en réponse aux changements climatiques en cours et anticipés afin d'augmenter la résilience ou de diminuer la vulnérabilité de certains éléments de la biodiversité.

Résilience et résistance

La résilience est la capacité avec laquelle un système écologique ou humain peut absorber des perturbations tout en conservant l'essentiel de ses propriétés et fonctions distinctives. La résistance est la capacité à résister aux perturbations afin de conserver l'intégralité de ses propriétés et fonctions distinctives.

Vulnérabilité

Indice qualitatif indiquant dans quelle mesure un système écologique peut être affecté négativement par les changements climatiques en fonction de sa sensibilité, de son exposition et de sa capacité d'adaptation aux changements climatiques.

adapté de Berteaux et coll., 2014

Conservation

Ensemble de pratiques comprenant la protection, la restauration et l'utilisation durable et visant la préservation de la biodiversité, le rétablissement d'espèces ou le maintien des services écologiques au bénéfice des générations actuelles et futures.

Protection

Ensemble de moyens visant à maintenir l'état et la dynamique naturelle des écosystèmes et à prévenir ou atténuer les menaces à la biodiversité (exemples : aménagements physiques, outils légaux comme les statuts d'espèces, les statuts d'aires protégées, plan de rétablissement des espèces désignées, sensibilisation).

Restauration

Ensemble d'actions visant, à terme, à rétablir un caractère plus naturel à un écosystème dégradé ou artificialisé, en ce qui concerne sa composition, sa structure, sa dynamique et ses fonctions écologiques (exemple : réhabilitation d'écosystèmes).

Utilisation durable

Usage d'une ressource biologique ou d'un service écologique ne causant pas ou peu de préjudices à l'environnement ni d'atteinte importante à la biodiversité (exemple : outils légaux comme la réglementation faunique ou forestière, plan de gestion des espèces, plan d'aménagement forestier durable).

adapté de Limoges et coll., 2013

Méthodologie

Revue de littérature

Différentes publications sur les mesures d'adaptation aux changements climatiques dans le domaine de la conservation de la biodiversité ont servi de sources d'information pour établir une liste de 18 mesures d'adaptation, en particulier celles de Heller et Zavaleta (2009) et de Mawdsley et coll. (2009) (voir aussi Auzel et coll., 2012; Berteaux et coll., 2010; Gillson et coll., 2013; Stein et coll., 2013). Une combinaison des mots clés « changements climatiques », « mesures d'adaptation », « biodiversité » et « conservation », ainsi que quelques synonymes et équivalents anglophones ont permis de recenser les publications. À partir de cette liste, une recherche a été effectuée dans les moteurs de recherche Google Scholar et Web of Science, sans restriction temporelle ou géographique pour repérer la littérature associée à chacune des mesures et les concepts, enjeux, contraintes et recommandations associées. À cette étape, les mots clés utilisés étaient propres à chaque mesure. Les publications en lien avec la biodiversité disponibles sur le site Internet du consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques (<https://www.ouranos.ca/publications/>) ont permis de situer l'application des mesures d'adaptation dans le contexte québécois, ainsi que de trouver certaines recommandations. L'ensemble de la revue de littérature a permis de recueillir 164 publications pertinentes produites entre 1995 et 2021.

Dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques (PACC) 2013-2020, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a chapeauté différents projets d'adaptation pour la conservation de la biodiversité et l'aménagement des milieux naturels dans un contexte de changement climatique, dont plusieurs en partenariat avec des organismes de conservation. Certains projets, tout comme ceux qui sont soutenus par le consortium Ouranos dans le cadre du programme Écosystèmes et biodiversité entre 2007 et 2019, ont permis d'illustrer plusieurs mesures d'adaptation présentées dans ce guide.

Conception du guide

Les 18 mesures d'adaptation retenues pour la rédaction de ce guide ont été regroupées en quatre catégories, selon une classification adaptée de Mawdsley et coll. (2009) :

- A. Gestion et conservation des espèces et populations
- B. Protection et gestion des milieux naturels
- C. Planification et surveillance
- D. Politiques, lois et gouvernance

Pour chaque mesure d'adaptation, l'information récoltée a permis de documenter les aspects définis ci-dessous. Malgré un souci pour assurer l'uniformité des informations et documenter les mesures de façon équivalente, certaines sont plus détaillées que d'autres, étant donné qu'il existe une disparité quant à l'information disponible.

DESCRIPTION : mise en contexte et objectif.

CONTEXTE D'APPLICATION: contexte d'implantation actuel, procédures d'application et pertinence pour le Québec.

LIMITES ET RECOMMANDATIONS : limites et contraintes d'applicabilité fréquemment rencontrées, enjeux soulevés par l'application de la mesure et recommandations.

ACTIONS POSSIBLES SELON LES RESSOURCES DISPONIBLES: différents exemples d'applicabilité pour lesquels est estimée une catégorie d'investissement financier et humain. À titre indicatif, car ces estimations sont très variables selon l'échelle d'intervention.

EXEMPLES: projets québécois ou internationaux déjà implantés.

A. GESTION ET CONSERVATION DES ESPÈCES ET POPULATIONS

1. Accroître la résilience des espèces en atténuant les menaces autres que les changements climatiques

Description

Les espèces, les populations et les écosystèmes subissent de nombreuses pressions anthropiques, auxquelles s'ajoutent aujourd'hui les effets des changements climatiques (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Ces stressseurs climatiques et non climatiques agissent de façon additive ou synergique, exacerbant ainsi la sévérité de leurs impacts (Brook et coll., 2008). Alors que le contrôle des effets des changements climatiques est complexe à gérer, la réduction des stressseurs non climatiques s'avère souvent plus accessible. Il s'agit d'une mesure centrale pour la majorité des stratégies de conservation actuelles, et qui demeure pertinente dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques. Les populations ont en effet plus de chance d'accroître leur résilience et de faciliter leur adaptation aux nouvelles pressions de sélection climatiques (p. ex. : le décalage des saisons ou de l'hydropériode) si elles ne sont pas simultanément soumises à d'autres pressions (Berteaux et coll., 2014).

Contexte d'application

La perturbation ou la perte de milieux naturels, la surexploitation des espèces, la pollution et les espèces exotiques envahissantes sont les menaces non climatiques ayant le plus d'impacts sur la biodiversité à l'échelle mondiale (Diaz et coll., 2019). Au Québec, la menace la plus importante demeure la perte et la fragmentation d'habitats, en particulier dans le sud de la province où l'utilisation des terres est intensive. C'est dans ce secteur que l'on retrouve aussi la majorité des espèces en situation précaire (Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec [CDPNQ], 2023; Berteaux et coll., 2014). La menace des espèces exotiques envahissantes est également présente et susceptible d'augmenter à mesure que le climat se réchauffe, la rigueur de l'hiver étant souvent une barrière à leur établissement.

Connaître les menaces non climatiques pour une situation donnée permet de cibler des facteurs sur lesquels il est possible d'agir pour contribuer à l'adaptation aux changements climatiques. Diverses actions peuvent être entreprises, par exemple, contrôler les espèces exotiques envahissantes sur un site à haute valeur écologique ou important pour la reproduction, réduire la vitesse du réchauffement estival d'un plan d'eau et les apports en contaminants en revégétalisant ses berges, limiter les déversements d'eaux usées municipales d'un cours d'eau pour améliorer la qualité des habitats aquatiques ou encore limiter la mortalité accidentelle d'une espèce en implantant des passages routiers.

Limites et recommandations

Lorsque cette approche est adoptée, il importe d'optimiser les ressources généralement limitées en ciblant les actions susceptibles d'avoir le plus d'effets bénéfiques directs sur l'espèce ou l'écosystème concerné (Mawdsley et coll., 2009). Aussi, parmi les menaces identifiées dans une aire donnée, il faut prioriser celles qui touchent un grand nombre d'espèces. Une analyse coût-bénéfice permet de déterminer les actions les plus susceptibles d'améliorer l'état des populations visées avec un minimum de ressources. Un suivi des effets des actions entreprises permet finalement d'évaluer l'efficacité et la pertinence de l'approche choisie pour améliorer la capacité d'adaptation des éléments concernés.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions possibles
\$ ♀	Limiter le prélèvement ou le dérangement d'une espèce
\$ \$ ♀ ♀	Réduire le déversement de polluants ou l'impact d'une espèce exotique
\$ \$ \$ ♀ ♀ ♀	Restaurer des habitats perturbés ou détruits

Exemples d'application de la mesure

Sur les îles d'Hawaï, des populations de sept espèces d'oiseaux sont en déclin en raison de la prédation, mais aussi des mortalités causées par la malaria. Or, il est attendu que les changements climatiques accentuent la présence de la malaria dans l'ensemble des habitats fréquentés par ces oiseaux. Pour favoriser la propagation de la résistance à la malaria, déjà présente chez certains individus, un programme de contrôle des prédateurs a été mis en œuvre. L'approche adoptée vise donc à augmenter le taux de survie dans les populations pour s'assurer que la résistance à la malaria pourra se propager aux générations suivantes. Il en résultera donc l'émergence d'une adaptation (résistance à la malaria) au nouveau contexte environnemental.

Source : Kilpatrick (2006).

Le boisé Du Tremblay de Boucherville abrite la plus grande population de rainette faux-grillon (*Pseudacris maculata*) en Montérégie. Bien que plusieurs des lots abritant l'habitat de l'espèce soient protégés, ils ne sont pas à l'abri de perturbations causées par des espèces exotiques envahissantes, tels le nerprun bourdaine (*Frangula alnus*) et le nerprun cathartique (*Rhamnus cathartica*). Cette pression s'ajoute à celle qu'exercent les changements climatiques sur les conditions hydrologiques de l'habitat de la rainette faux-grillon, un élément crucial pour le maintien de la population. Pour atténuer les sources de stress non climatiques, des travaux de contrôle des nerpruns (arrachage et encapsulation) ont été entrepris. Des efforts ont aussi été investis pour inventorier et entretenir les essences d'arbres favorables à la rainette, en plus de désigner des sites de plantation pour augmenter leur présence. Améliorer l'habitat de la rainette faux-grillon en réduisant les pressions non climatiques devrait augmenter leur résilience face aux conditions climatiques changeantes.

Source : Nature-Action Québec. Mise en œuvre du plan d'intervention pour le maintien de l'habitat de la rainette faux-grillon de l'Ouest (projet réalisé dans le cadre du PACC).

2. Concentrer les efforts de conservation sur les espèces les plus vulnérables aux changements climatiques, dont les espèces en situation précaire

Description

Les changements climatiques sont déjà responsables de nombreux déclin ou d'extinctions de populations (Parmesan, 2006). Dans ce contexte, une mesure d'adaptation possible consiste à prioriser la conservation des espèces les plus vulnérables aux changements climatiques, c'est-à-dire celles qui sont les plus susceptibles de disparaître ou d'être localement extirpées en raison des effets des changements climatiques. Cette mesure est relativement intuitive, vu la longue tradition d'attribution des efforts à la protection des espèces rares ou en danger d'extinction (Mawdsley et coll., 2009). Toutefois, identifier les espèces les plus vulnérables aux changements climatiques demeure une tâche complexe qui nécessite d'intégrer plusieurs types d'informations (Thomas et coll., 2011). L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a publié des lignes directrices pour évaluer la vulnérabilité des espèces aux changements climatiques (Foden et Young, 2016) et différents indices de vulnérabilité ont été conçus dans cet objectif. Leur utilisation est cohérente avec cette mesure d'adaptation.

Contexte d'application

L'UICN intègre les risques associés aux changements climatiques dans l'évaluation de l'état de situation des espèces. Ce modèle est suivi par le gouvernement du Québec et par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) pour la désignation des espèces en situation précaire. Les analyses de risque compilées par ces organismes contribuent donc à identifier les espèces vulnérables aux changements climatiques.

De manière générale, les espèces en situation précaire, déjà fragilisées par différentes menaces, sont souvent plus vulnérables que d'autres aux effets des changements climatiques, compte tenu de certains traits biologiques prépondérants : faible capacité de dispersion, spécialisation de l'habitat, maturité sexuelle tardive ou faible fécondité (Hunter, 2007; McLachlan et coll., 2007). Au Québec, une évaluation indique que plus de la moitié des plantes vasculaires en situation précaire sont vulnérables aux changements climatiques et que la niche climatique de cinq d'entre elles risque la disparition d'ici 2080 (Gendreau et coll., 2018). Une analyse similaire portant sur les espèces fauniques en situation précaire montre quant à elle que 55 % des espèces à l'étude sont hautement ou extrêmement vulnérables aux changements climatiques, c'est-à-dire que leur abondance est susceptible de diminuer significativement d'ici 2050 (Ricard et coll., 2024).

Limites et recommandations

Dans le contexte où les changements climatiques risquent d'affecter les écosystèmes en profondeur, les approches de conservation visant des espèces spécifiques deviendront de plus en plus coûteuses et difficiles à soutenir vu le nombre grandissant d'espèces vulnérables (Lovejoy et Hannah, 2005). Les ressources seront insuffisantes pour mener des actions de conservation ciblées pour chacune d'entre elles (Mawdsley et coll., 2009) et les bénéfices pour la biodiversité pourraient être bien minces. Il faut d'ores et déjà évaluer les priorités d'actions à mettre en place selon une analyse coût-bénéfice et considérer les solutions qui touchent plus d'une espèce à la fois.

En revanche, la conservation d'une espèce vulnérable peut s'avérer bénéfique lorsqu'il s'agit d'une espèce indicatrice de l'état d'un écosystème ou d'une espèce « parapluie » dont la conservation aura un impact positif sur plusieurs autres espèces (Roberge et Angelstam, 2004). Enfin, la protection de certaines espèces charismatiques vulnérables aux changements climatiques, telles que l'ours blanc (*Ursus maritimus*), facilite la sensibilisation de la population face aux enjeux de conservation dans un contexte de changements climatiques, ce qui peut créer des retombées positives sur le plan de la conservation (Albert et coll., 2018).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions possibles
\$ ♀	Évaluer la vulnérabilité d'une espèce à statut précaire aux changements climatiques
\$ \$ ♀ ♀	Déterminer les interventions de conservation qui toucheront plus d'une espèce vulnérable aux changements climatiques
\$ \$ \$ ♀ ♀ ♀	Réaliser les interventions de conservation qui ont le meilleur bilan coûts-bénéfices

Exemple d'application de la mesure

Le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), une espèce endémique au Québec, est désigné menacé en raison des activités anthropiques qui dégradent les herbiers aquatiques utilisés comme zones d'alimentation par les adultes et comme aire d'alevinage par les juvéniles. L'espèce est aussi vulnérable aux changements climatiques, puisque la fluctuation des niveaux d'eau et la réduction du couvert de glace qui résultent des changements du climat affectent la qualité des herbiers. Ainsi, par des actions de conservation qui visent la protection des herbiers aquatiques, il est possible d'améliorer la survie de cette espèce dans un contexte de changements climatiques. Les interventions choisies incluent la sensibilisation auprès des plaisanciers et des pêcheurs pour promouvoir l'adoption de pratiques compatibles avec le maintien des herbiers et ainsi accroître la résilience de l'espèce aux perturbations climatiques. Bien que les mesures qui ont été faites visent le rétablissement du chevalier cuivré, la conservation des herbiers a aussi un impact positif sur les écosystèmes fluviaux et les autres espèces qui y vivent.

Source : Comité ZIP des Seigneuries. Sensibilisation pour la protection de l'habitat du chevalier cuivré (projet réalisé dans le cadre du PACC).

3. Assurer la conservation *ex situ* des espèces ou des populations vouées à l'extinction en raison des changements climatiques

Description

À l'ère de l'anthropocène, le taux d'extinction des espèces atteint un sommet et les changements climatiques risquent d'empirer considérablement la situation (Stork, 2010). Pour certaines espèces vouées à disparaître en raison des changements climatiques, la conservation à l'extérieur du milieu naturel (conservation *ex situ*) semble le seul moyen d'éviter la perte irréversible d'un fragment de la biodiversité. La garde et la reproduction en captivité sont généralement réalisées par des organismes gouvernementaux, mais aussi par les jardins zoologiques, aquariums et jardins botaniques (Mawdsley et coll., 2009). Ces entreprises privées ont le potentiel de jouer un rôle important dans la conservation des espèces si elles décident d'y investir des ressources (Pritchard et coll., 2012). Les banques de semences et de gamètes sont un autre moyen d'assurer la pérennité de certains taxons (Guerrant et coll., 2004). Dans tous les cas, la conservation *ex situ* ne devrait constituer qu'un des éléments d'une stratégie d'adaptation plus vaste qui vise ultimement le rétablissement de populations à l'état sauvage (IUCN/SSC, 2014).

Contexte d'application

L'identification des espèces les plus vulnérables aux changements climatiques (voir la mesure 2) est un préalable pour l'application de cette mesure. Ensuite, il faut définir le rôle que jouera la conservation *ex situ* dans la stratégie de conservation. Par la suite, l'IUCN propose un cadre décisionnel pour déterminer si la conservation *ex situ* représente réellement un outil de conservation approprié (IUCN/SSC, 2014). Pour ce faire, il faut connaître (1) les caractéristiques que la population *ex situ* doit présenter pour pouvoir jouer son rôle dans la stratégie globale de conservation (p. ex. : nombre d'individus, diversité génétique), (2) les ressources et l'expertise nécessaires et (3) la faisabilité et les risques.

Pour certains groupes taxonomiques, les techniques d'élevage, de culture ou de reproduction sont relativement bien connues. La conservation *ex situ* des espèces floristiques est généralement plus simple et moins coûteuse à réaliser que celle des espèces fauniques. L'historique québécois des ensemencements de poissons a permis de développer une expertise et des infrastructures qui pourraient être mises à profit pour la conservation *ex situ* d'espèces aquatiques. Les amphibiens sont généralement de bons candidats pour la conservation *ex situ* vu leur faible besoin en espace, leur fécondité élevée, leur développement rapide et l'absence de soins parentaux chez la majorité des espèces (Tapley et coll., 2015). Au Québec, la garde en captivité exige un permis délivré par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). La récolte d'individus ou de semences d'espèces végétales ayant un statut légal de conservation nécessite une autorisation par le MELCCFP.

Limites et recommandations

Les ressources nécessaires pour l'élevage ou la culture d'espèces fauniques ou floristiques peuvent être considérables, si bien que cette approche ne serait applicable qu'à un nombre restreint d'espèces. Par ailleurs, les individus cultivés ou élevés en captivité peuvent développer des traits qui diminuent leur capacité à s'adapter et à survivre en milieu naturel (Grueber et coll., 2017). De plus, il est possible que l'habitat de l'espèce soit altéré en raison de l'effet des changements climatiques et rende improbable le succès de réintroduction (Harding et coll., 2016).

En plus des difficultés opérationnelles et des limites financières, la conservation *ex situ* soulève des enjeux éthiques. D'une part, le courant de pensée entourant le bien-être animal s'oppose parfois aux arguments en faveur de la garde en captivité (Minteer et Collins, 2013). De plus, le succès parfois limité des programmes de réintroduction laisse planer des doutes sur l'efficacité de cette approche (Keulartz, 2015). Pour pallier ces limites, une approche de conservation intégrée et diversifiée (conservation *in situ* et *ex situ* en complémentarité) permet d'équilibrer les avantages et les inconvénients des deux approches. Ainsi, Keulartz (2015) propose d'orienter le rôle des organismes concernés (p. ex. : les jardins zoologiques) vers

d'avantage d'éducation du public en matière de conservation de la biodiversité et d'investir une partie des revenus dans la conservation *in situ* des espèces.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions
\$ 👤	Identifier une espèce menacée d'extinction par les changements climatiques et évaluer les avantages et les inconvénients de la conservation <i>ex situ</i> pour cette espèce
\$ \$ 👤 👤	Stocker des semences ou des gamètes pour assurer la sauvegarde génétique d'une espèce
\$ \$ \$ 👤 👤 👤	Mettre en œuvre un programme d'élevage et de réintroduction pour une espèce faunique menacée par les changements climatiques

Exemple d'application de la mesure

Le chardon écailleux (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*) est une espèce floristique désignée menacée au Québec dont la seule population québécoise naturelle se trouve dans la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan (RPNAM). Cette plante est directement menacée par les changements climatiques, puisque son habitat côtier est très exposé aux tempêtes, aux vents et à l'élévation du niveau de l'eau (Bernatchez et coll., 2008). Les suivis effectués suggèrent que les colonies ne seraient pas en mesure de se maintenir sans intervention humaine. Pour sauver l'espèce, des semences ont été récoltées dans un objectif de reproduction *ex situ* et de rétablissement de la population sauvage. Des semences sont maintenant produites au Biodôme de Montréal pour pallier le taux de reproduction naturellement faible de l'espèce. Les semences récoltées et produites serviront à renforcer les colonies présentes et à créer de nouvelles colonies à la RPNAM. Le succès de ces implantations est en cours d'évaluation. Des semences envoyées au centre de recherche Gosling Research Institute for Plant Preservation permettent quant à elles des essais de micropropagation (culture *in vitro*). La méthode semble bien fonctionner et des plants ont été transférés en serre. Une banque de germoplasmes y sera aussi conservée par cryopréservation.

Source : Dénommée (2018).

4. Effectuer la migration assistée des espèces dont la survie dans l'aire de répartition d'origine est menacée par les changements climatiques si les analyses de faisabilité et de risques sont favorables

Description

Plusieurs études ont documenté la progression vers le nord et en altitude de l'aire de répartition d'un grand nombre d'espèces en réponse aux changements climatiques (Chen et coll., 2011). Toutefois, la vitesse de déplacement de la niche climatique des espèces pourrait dépasser largement leur capacité de déplacement. De plus, certains éléments du paysage peuvent représenter des obstacles infranchissables pour certaines espèces (Berteaux et coll., 2018; Gendreau et coll., 2018). La migration assistée, qui désigne le déplacement intentionnel d'organismes à l'extérieur de leur aire de répartition d'origine (IUCN, 2012), est une mesure d'adaptation qui permettrait d'éviter l'extinction de certaines espèces menacées par les changements climatiques. Au cours des dernières décennies, la migration assistée a été réalisée à des fins de conservation pour un grand nombre d'espèces fauniques et floristiques (Ricard et coll., 2024). Toutefois, à l'exception du domaine de l'aménagement forestier, pour lequel une migration des provenances génétiques d'essences d'intérêt commercial est amorcée, son utilisation en tant que mesure d'adaptation aux changements climatiques demeure marginale.

Contexte d'application

La situation d'un certain nombre d'espèces pourrait se dégrader au fur et à mesure que les conditions climatiques changeront dans le sud de leur aire de répartition, souvent située aux États-Unis (Gendreau et coll., 2016). Le Québec, par sa position nordique en Amérique du Nord, pourrait constituer un refuge climatique pour des espèces en déplacement et contribuer à leur préservation (Berteaux et coll., 2018). Toutefois, la forte fragmentation des habitats agroforestiers du sud de la province et la région urbanisée du grand Montréal risquent d'entraver considérablement ces déplacements (Berteaux et coll., 2018). Le fleuve Saint-Laurent constitue une autre barrière à la dispersion (Berteaux et coll., 2018). Ces contraintes pourraient justifier de considérer la migration assistée pour certaines espèces fortement menacées par les changements climatiques. Les travaux de Gendreau et coll. (2018) révèlent que des plantes rares, comme *Carex formosa*, *Cypripedium arietinum*, *Platanthera macrophylla*, *Pterospora andromedea* et *Spiranthes casei* var. *casei*, pourraient être extirpées de la province d'ici 2080 si aucune action de sauvetage n'est entreprise. La migration assistée pourrait aussi convenir à certaines plantes calcicoles du sud de la province, dont l'habitat est rare au nord du Saint-Laurent (Gendreau et coll., 2018). Le maintien d'espèces côtières fortement menacées par la hausse du niveau marin et l'incidence des événements météorologiques extrêmes, comme le chardon écaillé (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*), pourrait nécessiter une intervention humaine (Ricard et coll., 2021). La pression des changements climatiques pourrait aussi engendrer le confinement de certaines espèces fauniques à des habitats marginaux. Advenant une hausse progressive des températures dans les parties profondes des lacs, l'omble chevalier *oquassa* (*Salvelinus alpinus oquassa*), un poisson associé aux eaux froides de certains lacs oligotrophes, pourrait se retrouver captif à des habitats restreints (Rivière et coll., 2018).

Différents critères permettent d'identifier des espèces candidates à la migration assistée : (1) la menace que représentent les changements climatiques pour la persistance de l'espèce, (2) une capacité de dispersion limitée (Gallagher et coll., 2015) et (3) la probabilité que de nouveaux sites deviennent propices à l'espèce sous l'action des changements climatiques (Hällfors et coll., 2017). Il est également recommandé de sélectionner des espèces qui ne jouent pas un rôle écologique prépondérant dans leur milieu naturel, afin de réduire le risque associé à leur introduction (Hunter, 2007). Outre ces principaux critères, les espèces possédant des traits biologiques et démographiques sensibles aux effets des changements climatiques seraient plus convenables pour la migration assistée, par exemple une faible taille des populations, une aire de répartition restreinte, une petite taille des organismes, un faible taux de reproduction, un degré élevé de spécialisation, une position trophique supérieure ou une faible tolérance physiologique au réchauffement climatique (Gallagher et coll., 2015).

Limites et recommandations

La migration assistée est une mesure d'adaptation vivement débattue en raison des risques qu'elle comporte (Hewitt et coll., 2011), notamment le risque d'invasion par l'espèce introduite et de propagation de parasites ou d'agents pathogènes. C'est pourquoi, avant d'avoir recours à cette mesure, il est important de réaliser une étude approfondie des impacts potentiels. Plusieurs contraintes influencent aussi la faisabilité et la pertinence d'un projet de migration assistée, par exemple une mauvaise connaissance de la biologie de l'espèce, l'incertitude concernant les impacts sur les sites récepteurs, les contraintes financières ou logistiques. En revanche, la migration assistée d'une espèce peut engendrer de nombreux bénéfices, à commencer par le sauvetage d'une espèce qui risque l'extinction en raison des changements climatiques. Notons que la migration assistée ne devrait pas être utilisée comme mesure pour compenser une perte d'habitat résultant d'une intervention humaine. Les enjeux relatifs à la migration assistée ont été synthétisés par Ricard et coll. (2021), qui proposent un portait détaillé de l'utilisation de cette mesure.

L'IUCN a publié en 2012 des lignes directrices sur les déplacements d'espèces effectués à des fins de sauvegarde. Ces lignes directrices détaillent le processus décisionnel visant à établir la pertinence du déplacement d'une espèce et encadrent sa mise en œuvre, incluant l'analyse de faisabilité, l'analyse de risques, la planification, le suivi, la gestion continue et la diffusion des résultats. Elles devraient servir de référence pour l'évaluation, la planification ou la mise en œuvre de tout projet de migration assistée.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Exemples
\$ ♀	Analyser la pertinence et la faisabilité de la migration assistée pour une espèce candidate
\$ \$ ♀ ♀	Procéder à la migration assistée d'une espèce floristique en situation précaire
\$ \$ \$ ♀ ♀ ♀	Procéder à la migration assistée d'une espèce faunique en situation précaire

Exemples d'application de la mesure

Melanargia galathea et *Thymelicus sylvestris* sont deux espèces de papillons relocalisées dans le nord de l'Angleterre, à une distance respective de 65 et 35 km de la limite nord de leur aire de répartition d'origine. L'utilisation de modèles de niche climatique a permis de trouver des sites inoccupés par ces espèces où les conditions climatiques et l'habitat leur semblaient favorables. Cette étude indique que la capacité de dispersion de ces espèces était insuffisante pour assurer l'occupation de l'ensemble des sites pour lesquels les conditions climatiques devenaient favorables. La migration assistée permet ainsi de limiter l'impact des changements climatiques pour des espèces peu mobiles ou qui doivent migrer selon une matrice d'habitats fragmentés.

Source : Willis et coll. (2009).

Une récente étude a évalué le potentiel d'utilisation et la pertinence de la migration assistée pour favoriser la conservation des espèces en situation précaire au Québec. Elle a permis de documenter l'utilisation de la migration assistée dans le monde, ainsi que les bénéfices, contraintes et risques associés à cette mesure d'adaptation. Cette revue a utilisé les critères d'identification des espèces candidates pour évaluer la pertinence de la migration assistée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques pour trois espèces en situation précaire au Québec : la salamandre pourpre (*Gyrinophilus porphyriticus*), le chardon écaillé (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*) et la couleuvre brune (*Storeria dekayi*). Les résultats indiquent que le chardon écaillé s'avère être un candidat pour la migration assistée. En revanche, la pertinence de cette mesure d'adaptation pour la salamandre pourpre et la couleuvre brune est mitigée. L'étude propose une série de recommandations qui touchent l'utilisation de cette pratique.

Source : Ricard et coll. (2024).

5. Approfondir les recherches scientifiques visant à anticiper ou à mesurer la réponse des espèces et des écosystèmes aux changements climatiques et aux mesures d'atténuation déployées pour en réduire les impacts

Description

Prévoir la réponse des espèces aux changements climatiques est un exercice complexe en raison des nombreuses interactions possibles entre leur biologie et le climat. Une étude approfondie est souvent nécessaire pour anticiper les impacts climatiques et prendre des décisions de gestion ou de conservation éclairées (Weiskopf et coll., 2020). Au-delà des programmes de suivi qui permettent de connaître les tendances en cours (voir la mesure 12), la recherche scientifique améliore la compréhension des mécanismes influençant la réponse des populations et des écosystèmes (Berteaux et coll., 2014). Ainsi, il est possible de prévoir avec davantage de certitude comment les espèces fauniques et floristiques répondront aux effets des changements climatiques et, conséquemment, d'améliorer leur gestion.

L'impact des changements climatiques sur la biodiversité peut être abordé sous plusieurs angles : la phénologie, la plasticité phénotypique, la physiologie, le comportement, la génétique, la répartition, les interactions trophiques, les processus écosystémiques, etc. (Weiskopf et coll., 2020). L'étude de ces diverses réponses peut se faire en milieu tant naturel qu'expérimental (Hannah, 2011). Les données recueillies peuvent servir à alimenter la modélisation qui anticipe les réponses des espèces et des écosystèmes (p. ex. : modèles de niche bioclimatique, modèles de dynamique globale de la végétation ou modèles physiologiques). Les modèles de niche bioclimatique sont les plus couramment utilisés pour déterminer la vulnérabilité d'une espèce aux changements climatiques (Glick et coll., 2011). D'autre part, la recherche scientifique permet d'assurer une gestion adéquate des ressources fauniques et forestières.

Contexte d'application

Au Québec, les projets de recherche du programme Écosystèmes et biodiversité du consortium Ouranos s'inscrivent dans cette mesure d'adaptation, tout comme plusieurs projets menés par des chercheurs universitaires permettant d'approfondir les connaissances sur les interactions entre la faune et le climat et de prédire leur évolution dans le futur. Le gouvernement du Québec mène aussi des activités de recherche pour tenir compte de l'effet des changements climatiques dans l'élaboration des modalités de prélèvement des ressources fauniques et forestières. L'aménagement des forêts doit tenir compte des changements climatiques pour éviter de mettre en danger des espèces déjà en raréfaction et pour favoriser les espèces adéquates dans le futur, notamment lors du reboisement. À l'horizon 2100, des espèces communes comme le pin gris (*Pinus banksiana*), l'épinette blanche (*Picea glauca*), le mélèze laricin (*Larix laricina*) et le sapin baumier (*Abies balsamea*) présenteront des risques importants de dépérissement sur 20 % des territoires qu'elles occupaient à la fin du 20^e siècle. En même temps, 41 nouvelles espèces arborescentes pourraient trouver au Québec des conditions favorables à leur présence (Périé et coll. (2014). De telles considérations peuvent aussi être appliquées à la gestion des forêts privées (Annecou, 2020). Plusieurs espèces aquatiques du Québec font aussi l'objet d'un plan de gestion. La plupart d'entre elles sont très sensibles aux hausses marquées de température, dont la fréquence et la durée augmentent avec les changements climatiques. Dans le cas de la gestion du saumon atlantique (*Salmo salar*), le MELCCFP a réalisé un projet de recherche à l'été 2020 visant à vérifier l'efficacité d'une mesure réglementaire qui prévoit la fermeture des activités de pêche durant les épisodes de hausse accentuée des températures de l'eau afin de réduire les autres facteurs de stress. Dans le futur, des mesures similaires seront nécessaires pour assurer la pérennité des ressources fauniques.

Limites et recommandations

Le financement est la principale contrainte aux études évaluant l'impact des changements climatiques sur les espèces, les écosystèmes et les processus écologiques. L'enjeu demeure donc de bien cibler les priorités, possiblement les espèces particulièrement vulnérables aux changements climatiques (voir la mesure 2) ou celles ayant un statut légal de conservation ou une importance économique ou culturelle, comme les espèces pêchées, chassées ou piégées (Ouranos, 2014). Les espèces et les écosystèmes

centraux à la sécurité alimentaire des populations autochtones sont donc prioritaires. Vu leur vulnérabilité aux changements de conditions de leur habitat et la disponibilité limitée de refuges thermiques, les espèces aquatiques exploitées devraient faire l'objet de recherches approfondies dans une optique de gestion adéquate de la ressource. Si les analyses de risque permettent de connaître des facteurs augmentant la vulnérabilité des espèces et d'orienter les enjeux à résoudre, une recherche scientifique approfondie demeure essentielle lorsqu'il s'agit d'appliquer des mesures de gestion précises pour assurer la pérennité d'une ressource avec prélèvement. Améliorer la compréhension et la prévision des impacts des changements climatiques nécessite souvent une collaboration interdisciplinaire entre les sciences de la climatologie, de la paléocologie, de l'écophysiologie ou de l'écologie (Dawson et coll., 2011; voir aussi la mesure 15).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions
\$ 👤	Effectuer une analyse de risque sur la vulnérabilité d'une espèce selon la littérature
\$ \$ 👤 👤	Modéliser la vulnérabilité d'une espèce en fonction des paramètres connus
\$ \$ \$ 👤 👤 👤	Mettre en place un programme de recherche pour évaluer les paramètres de vulnérabilité d'une espèce sur le terrain

Exemples d'application de la mesure

Le projet CC-Bio (<http://cc-bio.ugr.ca/>) a été le premier projet portant sur la biodiversité et les changements climatiques appuyé par le consortium Ouranos. Son objectif était de prévoir les effets potentiels des changements climatiques sur la répartition et l'abondance d'une vaste gamme d'espèces animales et végétales du Québec pour alimenter les stratégies régionales d'adaptation pour la conservation de la biodiversité. Ce projet a permis d'établir des modèles de niches bioclimatiques pour près de 1000 espèces (oiseaux, amphibiens, arbres et autres plantes vasculaires). Cette information, combinée avec des modèles climatiques régionaux, a permis de projeter la répartition future potentielle de ces espèces. Ces résultats permettent d'identifier des espèces ou des régions prioritaires pour la conservation, suivant leur vulnérabilité aux changements climatiques. Les résultats sont disponibles sur le site Web du projet.

Source : Berteaux et coll. (2015).

Les données utilisées pour la gestion des populations d'ours noir doivent être mises à jour, puisqu'il se pourrait que son abondance ait augmenté au cours des dernières années. Les femelles pourraient en effet bénéficier des changements climatiques grâce à des saisons de croissance végétale plus longues et à un temps d'hibernation plus court. Ces changements permettraient aux ourses d'emmagasiner plus facilement les réserves énergétiques dont elles ont besoin pour la reproduction et les soins parentaux, ce qui augmenterait la taille des populations. Un projet de recherche a été mis sur pied pour acquérir des données sur les populations (reproduction, survie) ainsi sur la disponibilité des ressources alimentaires. En acquérant des connaissances sur la réponse des populations d'ours noirs aux changements du climat et en diffusant une information de qualité, il sera possible d'optimiser la gestion de l'espèce, de mieux expliquer les décisions, de maximiser les retombées économiques et de limiter les conflits ours-humains.

Source : MELCCFP. Dynamique des populations de l'ours noir dans un contexte de changements climatiques et d'aménagement forestier (projet réalisé dans le cadre du PACC).

B. PROTECTION ET GESTION DES MILIEUX NATURELS

6. Accroître la superficie du réseau d'aires protégées

Description

Les aires protégées désignées légalement procurent une grande valeur de conservation à long terme puisque les modifications anthropiques y sont restreintes (Berteaux et coll., 2014). Accroître l'étendue des milieux naturels terrestres et aquatiques protégés est une des mesures d'adaptation aux changements climatiques les plus fréquemment proposées afin de limiter les menaces non climatiques sur les écosystèmes et leurs espèces (Heller et Zavaleta, 2009). En plus d'offrir un sanctuaire où plusieurs sources de stress sont réduites, les aires protégées servent de témoins pour comprendre comment les systèmes naturels s'adaptent aux changements climatiques (Berteaux et coll., 2014). Elles permettent également d'atténuer l'amplitude des changements climatiques en préservant ou en augmentant les réservoirs de carbone (Auzel et coll., 2012).

Contexte d'application

Cette mesure d'adaptation est en cohérence avec la mise en œuvre de la Convention sur la diversité biologique, par laquelle le gouvernement du Québec s'engageait à atteindre un objectif de protection de 17 % du territoire en 2020. Cette cible a permis de consolider une superficie en aires protégées de 257 528 km², réglementées selon 32 désignations juridiques et administratives définissant les types d'activités permises (MELCC, 2022). Cette proportion est vouée à augmenter considérablement dans le futur en fonction de l'engagement du Gouvernement du Québec à adhérer au nouveau cadre mondial Kuming-Montréal lors de la COP 15, qui a notamment pour cible de protéger 30 % du territoire d'ici 2030.

En raison de sa position nordique, le Québec et son réseau d'aires protégées sont appelés à jouer un rôle de premier plan pour la conservation du patrimoine biologique de l'Amérique du Nord (Berteaux et coll., 2018). Certains sites ont été retenus comme d'importants refuges climatiques potentiels pour la biodiversité (zones subissant des impacts climatiques minimaux). C'est le cas des régions montagneuses du sud des Appalaches (Gendreau et coll., 2018) et des Chic-Chocs (Berteaux et coll., 2010), qui offrent aux espèces un gradient de température sur une faible distance. Dans le paysage naturel fortement fragmenté du sud du Québec, les secteurs pouvant contribuer à la connectivité des milieux naturels doivent être protégés (voir la mesure 8).

Limites et recommandations

Considérant les nombreux obstacles à l'agrandissement des réseaux d'aires protégées, il est peu probable que nos sociétés parviennent à protéger suffisamment de territoire pour préserver toutes les espèces (Mawdsley et coll., 2009). Il existe de nombreux enjeux associés à l'utilisation des terres, particulièrement dans le sud du Québec; on y trouve la biodiversité la plus riche de la province et un grand nombre d'espèces en situation précaire, dans des zones qui sont densément peuplées (Berteaux et coll., 2010). Les partenariats avec les propriétaires privés pour créer des servitudes de conservation y sont indispensables (Aycrigg et coll., 2013). Introduire davantage de flexibilité dans les modalités d'utilisation du territoire à l'intérieur de certaines aires protégées pourrait contribuer à augmenter sensiblement et rapidement la taille du réseau. Des désignations qui permettent une utilisation durable des ressources, tout en ayant la conservation de la biodiversité comme but premier, constituent un compromis entre la désignation d'aires protégées strictes et les besoins socioéconomiques des populations humaines locales. Le concept d'aire protégée d'utilisation durable, récemment intégré dans la *Loi sur la conservation du patrimoine naturel*, ou encore celui des zones de transition, telles qu'elles sont définies par l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture dans les réserves de la Biosphère, en sont des exemples (UNESCO, 2000). Les zones tampons peuvent aussi s'insérer adéquatement dans une planification territoriale de l'aménagement (Ouranos, 2015).

Pour répondre spécifiquement à la menace des changements climatiques, certaines aires protégées pourraient cibler l'intégration de refuges climatiques ou encore la protection d'éléments du paysage qui sont susceptibles de favoriser le déplacement des organismes vers leur nouvelle niche climatique (Lemieux et coll., 2011). Les aires protégées de petite taille (p. ex. : parcs régionaux, municipaux et privés) sont non négligeables pour leur contribution à la représentativité et la redondance des aires protégées (voir la mesure 7).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions
\$ 👤	Accroître la superficie d'une aire protégée existante
\$ \$ 👤 👤	Cession d'un territoire municipal pour créer une nouvelle aire protégée
\$ \$ \$ 👤 👤 👤	Création d'une aire protégée par l'acquisition de terres privées

Exemples d'application de la mesure

Le papillon *Euphydryas editha* est vulnérable aux changements climatiques en raison d'un décalage phénologique avec les espèces végétales hôtes. Pour la sous-espèce *E. e. quino*, menacée aux États-Unis, les projections indiquent que la quasi-totalité de l'aire de répartition deviendrait inadéquate d'ici 2050, mais que de nouveaux sites pourraient devenir propices environ 400 km plus au nord. Toutefois, la dispersion de cette espèce vers le nord est fortement limitée par l'urbanisation. Pour faciliter la réponse de cette espèce aux pressions climatiques, un habitat essentiel bénéficiant d'une protection légale a été désigné en périphérie de sa répartition actuelle, dans un secteur où les conditions climatiques pourraient bientôt devenir propices à l'espèce. Il s'agit là d'un exemple qui témoigne de la flexibilité dont doivent faire preuve les mécanismes de désignation des aires protégées pour tenir compte des effets des changements climatiques.

Source : Parmesan et coll. (2015).

Les pressions anthropiques croissantes, notamment le développement résidentiel et l'engouement envers la villégiature, minent les chances d'adaptation de la tortue des bois aux changements climatiques dans le secteur de la rivière Missisquoi Nord. En effet, le développement résidentiel perturbe et fragmente le territoire et limite les possibilités de migration vers le nord. La tortue des bois est désignée vulnérable au Québec, sa survie est donc précaire. L'organisme Corridor appalachien déploie des efforts pour mobiliser les propriétaires privés à protéger des habitats de la tortue des bois à perpétuité au moyen de la conservation de propriétés. La rencontre de propriétaires ciblés et le transfert d'information concernant l'importance de leur propriété pour le maintien de la population de tortues des bois contribuent à la sensibilisation aux enjeux de conservation et favorisent leur éventuelle contribution à l'élargissement du réseau d'aires protégées.

Source : Corridor appalachien. Protection de l'habitat de la tortue des bois dans le secteur de la rivière Missisquoi Nord en Estrie (projet réalisé dans le cadre du PACC).

7. Améliorer la représentativité et la redondance des aires protégées en tenant compte des effets anticipés des changements climatiques

Description

Les réseaux d'aires protégées sont habituellement conçus pour être représentatifs de la diversité en espèces et en écosystèmes d'un territoire (Kittel et coll., 2011a, 2011b). Les cibles de représentativité sont, entre autres, fondées sur des critères biologiques. Les changements climatiques représentent toutefois un défi pour l'atteinte et le maintien des objectifs de représentativité, puisque les modifications du climat auront sans contredit une incidence sur la répartition des espèces (Parmesan, 2006) et la composition des communautés (Berteaux et coll., 2018). Les nouveaux écosystèmes et assemblages d'espèces qui émergeront ne seront plus conformes aux cibles actuelles de représentativité et ne seront pas nécessairement bien représentés à l'intérieur des limites actuelles des aires protégées (Lemieux et coll., 2011).

Pour remédier à ce problème, une autre possibilité consiste à déterminer les cibles de représentativité à partir de critères physiographiques plus stables dans le temps, comme la géologie, le relief et la pédologie. Une bonne représentativité de ces éléments abiotiques dans les réseaux d'aires protégées offrirait aux espèces l'occasion de retrouver des sites aux conditions similaires à celles qu'elles ont dû délaisser à cause des changements climatiques (Lemieux et coll., 2011). L'idée est donc de protéger l'ensemble des conditions physiographiques propices aux espèces, plutôt que les espèces elles-mêmes. Une telle approche est déjà employée pour la sélection des nouvelles aires protégées au Québec.

Le concept de redondance fait référence à la présence de plus d'un exemplaire de chacun des éléments représentatifs à l'intérieur du réseau d'aires protégées. La redondance permet de faire face à l'incertitude associée aux impacts futurs des changements climatiques. Elle permet d'augmenter les chances de maintenir au moins un exemplaire de chacun des éléments ciblés, advenant que certains soient altérés.

Contexte d'application

Au Québec, certaines régions présentent des éléments physiographiques particuliers selon lesquels leur protection devrait être valorisée. Par exemple, les sols calcaires situés au nord du Saint-Laurent, beaucoup plus rares qu'au sud du fleuve, constituent un élément abiotique d'importance pour la conservation à long terme de plusieurs espèces floristiques (Gendreau et coll., 2018).

Cette mesure s'applique essentiellement lorsqu'on planifie ou conçoit de nouvelles aires protégées. Toutefois, même lorsqu'aucun changement de superficie ou de lieu n'est envisagé, il demeure pertinent de réviser les critères de représentativité des aires protégées existantes dans une perspective de changements climatiques. La prise de connaissance des éléments physiographiques sous-jacents aux écosystèmes ou aux espèces que l'on cherche à protéger orientera la prise de décision dans le futur.

Limites et recommandations

En revisitant les cibles de représentativité des aires protégées selon des critères stables face aux changements climatiques, on devrait améliorer leur efficacité à long terme. Toutefois, il semble peu probable que cette approche parvienne à assurer la conservation de la totalité des espèces (Beier et Brost, 2010). Il s'agit d'une approche de type « filtre grossier », dont l'accent est mis sur le paysage plutôt que sur les espèces. Il est parfois suggéré de compléter les approches de filtre grossier avec des approches de filtre fin (Tingley et coll., 2014), comme maintenir certains critères de conservation biologique spécifiques aux espèces vulnérables aux changements climatiques. Une option pour la conception future des aires protégées serait de coupler l'utilisation de modèles de niches bioclimatiques aux critères physiographiques, assurant ainsi la protection de sites susceptibles de présenter des conditions propices aux espèces les plus vulnérables dans le futur.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions possibles
\$ ♀	Évaluer si la diversité des éléments physiographiques régionaux est représentée à l'intérieur du réseau des aires protégées
\$ \$ ♀ ♀	Planifier les nouvelles superficies à protéger de manière à obtenir une redondance des éléments physiographiques
\$ \$ \$ ♀ ♀ ♀	Créer de nouvelles aires protégées pour atteindre l'ensemble des nouvelles cibles québécoises de représentativité physiographique

Exemples d'application de la mesure

Pour sélectionner des sites de conservation dans l'écorégion centrale-intérieure de la Colombie-Britannique, Kittel et coll. (2011a, 2011b) ont relevé les éléments physiographiques propres à chacun des écosystèmes de la région. Une proposition de sites à protéger a ensuite été formulée en fonction de ces éléments. Au terme de l'exercice, les sites sélectionnés couvraient l'ensemble des conditions physiographiques régionales (sol, géologie, pente, altitude). Cette stratégie a été considérée comme la meilleure approche pour protéger les processus écologiques et évolutifs impliqués dans le développement de nouveaux écosystèmes fonctionnels. Les sites sélectionnés offraient en effet une topographie variée pour favoriser l'adaptation des espèces aux conditions climatiques changeantes. Ainsi, la protection des paysages au relief prononcé permettra à certaines espèces de retrouver des habitats convenables en effectuant de courts déplacements en altitude, alors que les paysages à la topographie plus plane (p. ex. : les plateaux montagneux) seront propices à la migration vers le nord des espèces associées aux prairies.

Source : Kittel et coll. (2011a, 2011b).

8. Accroître et protéger la connectivité des habitats pour favoriser le déplacement des espèces

Description

Accroître la connectivité des habitats est l'une des recommandations les plus fréquemment énoncées en matière d'adaptation aux changements climatiques (Heller et Zavaleta, 2009). Cette mesure permet d'améliorer la capacité du paysage à soutenir l'adaptation de la répartition des espèces en réponse aux changements climatiques. La connectivité augmente aussi la capacité de rétablissement des populations à la suite de perturbations ponctuelles en permettant, par exemple, la colonisation de nouveaux habitats, la recolonisation d'un habitat perturbé (Bernhardt et Leslie, 2013) ou le réapprovisionnement en nouveau matériel génétique (Timpane-Padgham et coll., 2017). La connectivité entre les écosystèmes contribue aussi à la régulation des processus abiotiques essentiels, par exemple le mouvement, la température et la qualité de l'eau (Timpane-Padgham et coll., 2017). Le maintien et l'amélioration de la connectivité des habitats nécessitent d'identifier, de protéger et de restaurer des habitats propices aux déplacements des espèces et des populations, notamment les corridors de déplacement pour la faune terrestre, les habitats résiduels entre les aires protégées, les haltes migratoires pour les oiseaux migrateurs, les passes migratoires dans les rivières et l'accès à des refuges climatiques (Baron et coll., 2008; Mawdsley et coll., 2009).

Dans le contexte des changements climatiques, la connectivité doit aussi être envisagée sur une échelle temporelle. La persistance d'une espèce sur le territoire dépendra nécessairement de sa capacité à suivre le déplacement de son habitat (Årevall et coll., 2018). Toutefois, des obstacles pourraient l'empêcher de se déplacer adéquatement. Il faut donc définir dès maintenant les éléments de paysage qui permettront le déplacement des espèces dans le futur. Les modèles de répartition des espèces et des habitats qui incluent des prévisions peuvent être utilisés pour estimer les besoins futurs en matière de connectivité (Phillips et coll., 2008).

Contexte d'application

Au Québec, les projections climatiques soulignent l'importance d'accroître la connectivité des habitats selon un gradient sud-nord ou sud-ouest–nord-est afin de faciliter le déplacement potentiel des espèces vers des conditions climatiques favorables (Berteaux et coll., 2010). L'amélioration de la connectivité est particulièrement importante quand la matrice du paysage est fortement fragmentée par l'agriculture et l'urbanisation (Mawdsley et coll., 2009). En outre, la présence d'un grand nombre d'espèces en situation précaire dans le sud du Québec, dont plusieurs sont menacées par les effets des changements climatiques, met en lumière l'importance de répondre aux enjeux de connectivité dans cette région (Gendreau et coll., 2018). Actuellement, la région urbanisée du grand Montréal et les habitats agroforestiers fortement fragmentés du sud du Québec représentent des barrières importantes au déplacement des organismes.

Limites et recommandations

L'amélioration de la connectivité rencontre de nombreux défis, particulièrement en zone anthropisée, puisque cette mesure implique des actions qui entrent souvent en conflit avec les autres usages du territoire. Les acteurs du milieu de la conservation sont fréquemment aux prises avec de telles situations, par exemple lorsque le développement résidentiel et routier menace la pérennité d'un massif naturel. Dans ce contexte, les partenariats avec les propriétaires privés et les acteurs du développement régional sont primordiaux. De plus, outre la protection légale de secteurs d'intérêt pour la connectivité, des pratiques alternatives en zone agricole, telles que le maintien de bandes riveraines élargies, ont le potentiel de contribuer à la connectivité des habitats dans le paysage. Il s'agit de pratiques essentielles à considérer pour améliorer la connectivité dans les secteurs où les enjeux liés aux activités anthropiques sont importants. Dans les régions moins anthropisées, comme le nord de la forêt boréale commerciale, il est avantageux d'agir dès maintenant, en protégeant des portions de territoires qui tiennent compte des besoins en connectivité et en appliquant des pratiques adaptées d'aménagement durable des forêts pour maintenir la connectivité écologique du territoire (Ouranos, 2015). En ce sens, la connectivité des habitats doit s'intégrer d'emblée dans la planification du développement du territoire québécois.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions possibles
\$ ♀	Intégrer les besoins en connectivité dans les schémas d'aménagement et de développement des MRC
\$ \$ ♀ ♀	Réaliser des aménagements pour améliorer la connectivité : ponceaux, passages routiers, bandes riveraines, etc.
\$ \$ \$ ♀ ♀ ♀	Conserver des corridors écologiques à l'échelle régionale et interrégionale par l'acquisition de massifs naturels, en les restaurant au besoin

Exemples d'application de la mesure

Dans la municipalité de Bristol, au Québec, les tortues mouchetées sont contraintes, lors des déplacements saisonniers, à traverser des tronçons routiers qui scindent leur habitat, ce qui cause des mortalités et nuit à leur rétablissement. Des ponceaux ont été installés pour permettre la circulation des tortues, puis l'emprise des routes a été surélevée pour décourager les tortues d'y monter et les inciter à demeurer dans le milieu humide. De plus, l'aménagement de prébarrages a réduit les risques de colmatage des ponceaux par les castors, simplifiant ainsi la gestion hydrique des sites. Ces divers aménagements non seulement facilitent la circulation de la faune, mais réduisent également les risques d'inondation, alors que les épisodes de précipitations intenses sont plus fréquents avec les changements climatiques (Ouranos, 2015). Ce type d'intervention à petite échelle contribue à la connectivité des habitats et facilite le déplacement des espèces.

Source : Centre d'enseignement et de recherche en foresterie. Restauration de la connectivité des milieux humides dans l'habitat de la tortue mouchetée – Municipalité de Bristol (projet réalisé dans le cadre du PACC).

À une échelle plus vaste, l'organisme Corridor appalachien contribue à accroître la connectivité à proximité de zones densément peuplées du secteur des montagnes Vertes dans l'écorégion des Appalaches, qui chevauche la frontière canado-américaine. La protection des milieux riverains aux abords de la rivière Missisquoi Nord a permis d'améliorer la qualité de l'habitat de la tortue des bois (*Glyptemys insculpta*), en plus de relier deux des plus grands massifs forestiers de la région. Cette connectivité accrue profite à de nombreuses espèces occupant de grands domaines vitaux, comme l'orignal (*Alces alces*), l'ours noir (*Ursus americanus*) et le lynx roux (*Lynx rufus*). De plus, cette initiative s'insère dans la mission de l'organisme Deux pays, Une forêt qui vise la protection des écosystèmes et le maintien de la connectivité pour l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie, au Québec et dans le nord-est des États-Unis.

Sources : Corridor appalachien (2020) et Deux pays, Une forêt (2020).

9. Établir et mettre en œuvre des plans de conservation dynamique à l'échelle du paysage

Description

Les plans de conservation de la biodiversité et des milieux naturels sont généralement issus d'une analyse écologique d'un territoire donné et décrivent ensuite des priorités de conservation nécessaires au maintien du paysage écologique et des fonctions écosystémiques (Dimitrakopoulos et Troumbis, 2018). Toutefois, les changements climatiques entraînent une adaptation de la répartition de la biodiversité dans l'espace et le temps. Les espèces et écosystèmes prioritaires pour la conservation pourraient alors se retrouver en dehors des aires protégées, sur un territoire dynamique, puisqu'il serait constamment altéré par les changements climatiques par le développement humain. Dans ce contexte, il devient nécessaire d'établir un plan de conservation pour l'ensemble du paysage en tenant compte de sa dynamique (Hannah et Hansen, 2005).

Une planification de la conservation qui tient compte des changements climatiques doit donc regarder au-delà des aires protégées et considérer également les éléments du territoire non protégés importants pour la biodiversité (Whited et coll., 2000). Pour chacun de ces éléments (protégés et non protégés), il y aura lieu d'établir les états désirés à court et à long terme, ainsi que les états intermédiaires qui permettront la transition entre les deux. Les conditions futures désirées doivent tenir compte des prévisions climatiques et des projections dans la répartition de la biodiversité. Une planification adéquate précise également le rôle de chacun des intervenants pour l'atteinte des objectifs de conservation.

Contexte d'application

Au Québec, les secteurs fortement anthropisés du sud de la province, particulièrement riches en biodiversité, devraient être pourvus d'un plan de conservation dynamique et concerté à l'échelle du paysage, qui intègre non seulement les aires protégées, mais aussi des territoires urbanisés et agroforestiers pour lesquels des mesures de conservation devraient être définies. À l'heure actuelle, les schémas d'aménagement et de développement des MRC permettent d'attribuer des objectifs de conservation à certains éléments du paysage. Ces schémas d'aménagement peuvent ainsi être utilisés pour étendre la planification de la conservation de la biodiversité au-delà des aires protégées.

Pour atteindre des objectifs de conservation à l'échelle du paysage, il convient d'utiliser un éventail d'outils de conservation. Outre les aires protégées strictes, il est possible d'instaurer des zones tampons autour de celles-ci, d'établir des ententes de conservation volontaire ou des servitudes de conservation, ou encore d'améliorer la restauration et la protection des bandes riveraines jouant le rôle de corridor de connectivité (mesure 8). Ces actions devront être périodiquement évaluées pour déterminer si elles demeurent appropriées pour atteindre les objectifs de conservation ou si des modifications sont nécessaires pour les adapter à la réalité changeante.

Limites et recommandations

La planification de la conservation à l'échelle du paysage comporte plusieurs défis. Cette mesure dépend de la collaboration des gestionnaires de territoires traditionnellement non voués à la conservation. Il peut s'avérer difficile de convaincre ces acteurs de participer à la planification régionale de la conservation, puisque les bénéfices économiques qui en découlent sont souvent perçus comme faibles (Bertheaux et coll., 2010). Ensuite, un plan de conservation pour des paysages dynamiques pourrait nécessiter l'arrêt de certaines activités, afin de permettre la restauration d'éléments pouvant faciliter le mouvement futur des espèces. Évidemment, ce type d'enjeu implique une discussion ouverte entre les parties concernées afin de trouver un terrain d'entente. Planifier la conservation sur des territoires non protégés implique assurément de faire des compromis dans une perspective où les populations humaines qui vivent sur ce territoire en retirent des bénéfices, ce qui favorise la mobilisation et l'acceptabilité sociale.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Action
\$ ♂	Faire l'inventaire des éléments régionaux à conserver qui se situent en dehors des aires protégées
\$ \$ ♂ ♂	Déterminer l'état futur souhaité pour ces éléments, en tenant compte des prévisions climatiques et des modèles de répartition des espèces et instaurer des actions pour y parvenir
\$ \$ \$ \$ ♂ ♂ ♂	Mettre en place une table de concertation régionale afin de concevoir et de mettre en œuvre un plan de conservation dynamique qui précise le rôle et le calendrier d'action des différents acteurs

Exemple d'application de la mesure

L'African Wildlife Foundation (AWF) a adopté une approche de conservation à l'échelle du paysage sur des territoires définis par la présence d'écosystèmes et l'utilisation du territoire. Ces territoires comprennent donc des parcs et des réserves, ainsi que les communautés humaines environnantes. L'organisme poursuit des objectifs de conservation, mais aussi d'amélioration de la qualité de vie des habitants, grâce à son programme African Heartland. Ce dernier vise à maintenir les espèces sauvages et les processus écologiques sur de vastes territoires composés d'une mosaïque de terres gérées par des individus, des communautés et l'État. Les stratégies employées incluent la protection d'habitats et de corridors, le développement d'entreprises basées sur la conservation, le soutien à la recherche, le soutien au développement d'un leadership local en conservation et un engagement direct de l'organisme dans les processus menant à l'élaboration des politiques et des lois. La collaboration avec plusieurs acteurs locaux et la mise en place d'activités de conservation qui permettent à la population de participer et d'y trouver du travail rendent possible d'étendre la planification de la conservation à l'extérieur des aires protégées et ainsi d'être plus efficace dans l'adaptation aux changements climatiques sur l'ensemble du territoire.

Source : Henson et coll. (2009).

10. Aménager et restaurer les écosystèmes pour en maximiser la résilience

Description

L'aménagement et la restauration des écosystèmes s'avèrent des solutions de premier plan face au déclin de la biodiversité (Menz et coll., 2013). Toutefois, ces pratiques sont aujourd'hui confrontées à la réalité des changements climatiques, qui ont le potentiel d'altérer à long terme les conditions écologiques et la composition en espèces des écosystèmes ciblés, donc de compromettre le résultat des efforts investis. Pour favoriser l'adaptation aux changements climatiques, il est proposé d'adopter des pratiques d'aménagement et de restauration visant spécifiquement à maximiser la résilience des écosystèmes plutôt qu'à restaurer systématiquement des conditions écologiques passées (Harris et coll., 2006, voir la mesure 11).

Un écosystème résilient a la capacité d'absorber les perturbations et de s'adapter pour conserver ou retrouver l'essentiel de ses structures et fonctions (Berteaux et coll., 2014; Gunderson et coll., 2012). Cette capacité d'un système à « absorber les perturbations », soit sa résilience, est le résultat combiné de sa capacité à résister aux perturbations sans se modifier et à se rétablir après avoir été perturbé (Hodgson et coll., 2015). Pour améliorer la résilience des systèmes naturels et atteindre des objectifs de conservation à long terme, l'aménagement et la restauration doivent viser des conditions qui pourront se maintenir en dépit des perturbations à venir.

Contexte d'application

Pour favoriser la résilience dans les projets d'aménagement et de restauration, il est recommandé de travailler simultanément sur plusieurs échelles biologiques : les individus, les populations, les communautés, les écosystèmes et les fonctions écosystémiques (Gunderson, 2000; Timpane-Padgham et coll., 2017). Des cibles doivent être établies pour chacune de ces échelles, selon des paramètres différents à chaque niveau, par exemple :

- **individus** : durée de vie, taux de croissance, potentiel de dispersion;
- **populations** : nombre d'individus, densité, structure d'âge;
- **communautés** : complexité des assemblages d'espèces, richesse spécifique, diversité fonctionnelle;
- **écosystèmes** : taille, qualité et hétérogénéité de l'habitat, connectivité;
- **fonctions** : sédimentation, productivité, fixation du carbone, cyclage des nutriments, taux de décomposition.

En outre, la diversité apparaît comme un facteur clé pour la résilience, peu importe l'échelle visée, c'est-à-dire qu'elle concerne les gènes, les espèces ou la physiographie des habitats. Si la diversité favorise la flexibilité, qui est caractéristique de la résilience, il semble aussi primordial de chercher à renforcer les sources de renouvellement biologique (Gunderson, 2000), comme favoriser le taux de reproduction ou la connectivité entre populations (voir la mesure 8).

Limites et recommandations

Les mesures favorisant la résilience ne peuvent remplacer complètement les actions visant la résistance au changement (Heller et Zavaleta, 2009). Par exemple, procéder à des aménagements résilients, mais qui ne permettraient pas de maintenir certains attributs spécifiques de l'état historique d'un habitat, pourrait s'avérer néfaste pour des populations déjà hautement fragilisées et nuire à leur capacité d'adaptation. En fait, les approches axées sur la résilience pourraient être appropriées pour la restauration des communautés et des écosystèmes, considérée comme le filtre grossier, mais moins adaptées pour protéger certaines espèces en situation précaire, soit le filtre fin (Heller et Zavaleta, 2009).

Le fait de prioriser la résilience dans les approches d'aménagement et de restauration peut nécessiter de revoir ou de délaisser certaines méthodes conventionnelles. Par exemple, les conditions biologiques jugées désirables pour un habitat pourraient être revues avec plus de flexibilité, en permettant

l'établissement de nouveaux assemblages d'espèces mieux adaptés au nouveau climat. La définition d'espèce envahissante pourrait même être revue en fonction des objectifs (Heller et Zavaleta, 2009).

La résilience en aménagement et restauration écologique demeure un concept complexe, difficile à concrétiser et à traduire en actions précises. Faire des essais et observer le comportement des réalisations à la suite de perturbations, qu'elles soient expérimentales ou naturelles, constitue une manière empirique de déterminer quels types de travaux favorisent la résilience (Miller et Bestelmeyer, 2016).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Action
\$ 👤	Prioriser les sites les moins vulnérables aux changements climatiques lors des projets de restauration
\$ \$ 👤 👤	Concevoir et réaliser des aménagements fauniques qui favorisent plusieurs espèces
\$ \$ \$ 👤 👤 👤	Réaliser un suivi à long terme des aménagements et déterminer lesquels sont les plus résilients et pourquoi

Exemple d'application de la mesure

Thom et coll. (2012) ont étudié la résilience de plantations de zostère marine (*Zostera marina*) dans l'État de Washington, aux États-Unis. Ces plantations ont été aménagées dans des estuaires marins qui sont des systèmes naturellement dynamiques situés à proximité de zones densément peuplées, donc aussi affectées par des perturbations d'origine anthropique. La variation de la densité des tiges a été quantifiée pour évaluer le degré de résilience des plantations face à ces perturbations. Les nouvelles zosteraies se sont révélées résilientes, puisque celles-ci ont été en mesure de se rétablir à la suite de perturbations naturelles importantes, indiquant que la densité initiale des plantations était appropriée. Toutefois, ces plantations ne pouvaient supporter simultanément les perturbations naturelles, en plus d'une prolifération importante d'algues causée par l'arrivée massive de nutriments d'origine humaine dans l'estuaire. Le fait de mesurer un attribut associé à la résilience, dans le cas présent la densité, a confirmé que les techniques de plantation employées produisaient des colonies résilientes aux perturbations naturelles, sauf advenant l'addition de perturbations anthropiques produisant un niveau de stress surpassant leur capacité d'adaptation. Ces informations indiquent que les plantations aménagées devraient se maintenir à long terme, mais que les efforts de restauration des zosteraies devraient se trouver loin des effluents municipaux afin d'accroître leur résilience aux perturbations climatiques à venir.

Source : Thom et coll. (2012).

11. Assurer le maintien et la restauration des fonctions des écosystèmes plutôt que des communautés historiques

Description

Les changements climatiques sont susceptibles de modifier sensiblement la composition en espèces des écosystèmes, remettant en question la pertinence de choisir l'état historique comme cible de conservation, une pratique jusqu'à récemment appropriée (Harris et coll., 2006). Cette mesure d'adaptation propose plutôt de se concentrer sur la conservation des fonctions écosystémiques (Mawdsley et coll., 2009). Les fonctions écosystémiques incluent, par exemple, le cyclage des nutriments, la productivité primaire, la disponibilité et le cycle de l'eau, les processus géomorphologiques, la séquestration du carbone, la décomposition ou les interactions trophiques, comme la prédation, le broutement ou la pollinisation (Kollmann et coll., 2016). La conservation de ces fonctions contribue à protéger la biodiversité qui en dépend et octroie une flexibilité nécessaire pour composer avec les changements climatiques. Les objectifs de conservation ou de rétablissement des fonctions écosystémiques vont souvent de pair avec l'optimisation de la résilience des écosystèmes en restauration et aménagement (Perring et coll., 2015), comme le propose la mesure 10.

Contexte d'application

Les approches de conservation fondées sur la fonctionnalité des écosystèmes sont progressivement mises en œuvre au Québec. D'ailleurs, le cadre de l'aménagement écosystémique des forêts vise à réduire les écarts écologiques entre la forêt aménagée et la forêt naturelle, afin d'assurer le maintien de la biodiversité et la viabilité des écosystèmes. Il s'avère que l'aménagement écosystémique, en conservant des attributs de la forêt naturelle qui contribuent à leur résilience (p. ex. : structure d'âge, richesse spécifique, taux de régénération; voir aussi la mesure 10), s'inscrit dans la présente mesure d'adaptation aux changements climatiques (Comité d'experts sur l'aménagement écosystémique des forêts et les changements climatiques, 2017). La *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques* du Québec, qui vise à conserver, restaurer et créer de nouveaux milieux humides et hydriques, intègre également l'approche de conservation des fonctions écosystémiques afin de contribuer à la réduction des impacts des changements climatiques. Dans cette lignée, le Programme de restauration et de création de milieux humides et hydriques offre des occasions de financement pour des projets de restauration valorisant leur fonctionnalité.

Limites et recommandations

Cibler le maintien et la restauration des fonctions écosystémiques est une approche qui peut sembler abstraite et complexe à réaliser comparativement à l'approche de conservation par espèce, surtout vu l'absence de méthodes claires (Kollmann et coll., 2016). Néanmoins, en se basant sur les traits fonctionnels des espèces présentes, il devient possible de faire le lien avec les fonctions qu'elles remplissent (Perring et coll., 2015). Un trait fonctionnel est une caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique d'un organisme qui témoigne de la nature de son interaction avec l'environnement (Violle et coll., 2007). Par exemple, une grande surface foliaire contribue à la captation du carbone atmosphérique et à la production primaire, le régime herbivore chez les espèces aquatiques contribue au cyclage des nutriments et au maintien de la qualité de l'eau ou le statut trophique de grands prédateurs contribue au contrôle des populations de petits mammifères. Ultiment, les traits sont davantage liés au fonctionnement de l'écosystème que l'identité des espèces (Mouillot et coll., 2011). Il va sans dire que plusieurs espèces peuvent remplir une même fonction (Gallagher et coll., 2013).

La diversité et la redondance dans les traits fonctionnels d'un écosystème contribuent à la flexibilité du système, ce qui permet de tamponner les effets négatifs de certains stressors et contribue à la persistance des fonctions écosystémiques à long terme (Pires et coll., 2018). En contrepartie, il faut avoir conscience que, lorsqu'elle est appliquée strictement, cette approche peut aller à contresens de certains courants bien établis en conservation et ainsi avoir des effets jugés négatifs, par exemple en acceptant que certaines espèces disparaissent naturellement, ou en reconnaissant l'utilité d'une espèce exotique (Mawdsley et coll., 2009).

Outre les fonctions remplies par les organismes, certains éléments du paysage peuvent contribuer au fonctionnement des écosystèmes. Par exemple, allouer un nouvel espace de débordement à un cours d'eau qui reçoit des épisodes de crues de plus en plus intenses permet de maintenir les fonctions de transport de l'eau et des sédiments, en plus de contribuer à la recharge de la nappe phréatique par l'entremise des nouvelles zones humides ainsi créées (Biron et coll., 2013).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions
\$ ♀	Faire l'inventaire des fonctions écosystémiques qui ont cours et qui sont désirées sur un site visé par un projet de restauration et s'en inspirer pour la conception du projet
\$ \$ ♀ ♀	Contribuer au maintien d'espèces ou d'habitats associés à des fonctionnalités moins répandues (ex. : forêt ancienne, fixation d'azote atmosphérique)
\$ \$ \$ ♀ ♀ ♀	Restaurer les fonctions d'un écosystème dégradé, tel que la reconstruction d'un milieu humide

Exemple d'application de la mesure

Les récifs coralliens comptent parmi les écosystèmes les plus menacés sur Terre, notamment en raison de l'augmentation des températures et de l'acidification des océans qui découlent des changements climatiques. Le déclin de certaines populations de poissons-broueteurs des récifs coralliens est aussi préoccupant, puisque leur absence favorise la prolifération des algues et accélère la mortalité des coraux. Ainsi, le gouvernement du Belize a interdit en 2009 la pêche du poisson perroquet arc-en-ciel (*Scarus guacamaia*), un poisson-broueteur des récifs coralliens. Protéger des espèces parce qu'elles remplissent des fonctions essentielles dans leurs écosystèmes constitue un moyen d'investir dans les efforts de conservation qui favorisent l'adaptation aux changements climatiques.

Source: Reef resilience (2014).

C. PLANIFICATION ET SURVEILLANCE

12. Bonifier et adapter les programmes de suivi au contexte des changements climatiques

Description

Pour adapter avec succès les initiatives en conservation de la biodiversité et en aménagement de milieux naturels, il faut comprendre comment les espèces répondent aux changements climatiques (Hooper et coll., 2012; voir aussi la mesure 5). Il est donc proposé de bonifier les programmes de suivi afin qu'ils améliorent la compréhension du fonctionnement des écosystèmes en réponse à la variabilité climatique (Heller et Zavaleta, 2009). Ainsi, les programmes de suivi doivent non seulement permettre de caractériser l'état et l'évolution de la biodiversité actuelle, en particulier les groupes plus méconnus, mais alimenter les modèles de prévision des effets du climat sur la biodiversité (McMahon et coll., 2011), afin de soutenir la prise de décision dans un contexte de gestion adaptative (voir la mesure 14).

Bien que de nombreux États, pays ou provinces cherchent à se doter de programmes de suivi de la biodiversité, certains ont parfois mal défini les objectifs (Yoccoz et coll., 2001) ou adopté une vision relativement étroite (Hill et Arnold, 2012). Plutôt que de s'intéresser à une espèce ou une perturbation en particulier, les programmes de suivi devraient tenir compte du contexte spatiotemporel nécessaire pour suivre les effets cumulatifs ou synergiques de plusieurs stressseurs (Hill et Arnold, 2012), donc être centrés sur les écosystèmes, ce qui permet de mieux mesurer la portée des changements climatiques (Chiarucci et coll., 2011). Un programme de suivi adapté aux changements climatiques devrait être suffisamment flexible pour évoluer en fonction des enjeux émergents et pouvoir tester de nouvelles hypothèses (Burton et coll., 2014).

Contexte d'application

Pour bâtir des programmes de suivi efficaces, il est essentiel de coordonner les efforts des acteurs de manière complémentaire (voir aussi la mesure 15). Aussi, puisque chacun est limité dans la quantité d'information qu'il peut récolter, l'utilisation d'une plateforme commune de gestion et d'échange de données serait bénéfique et permettrait d'informer adéquatement les gestionnaires de la conservation et ainsi orienter les prises de décision en matière d'adaptation (Schmeller et coll., 2017). À l'international, le groupe GEO BON est un réseau d'observation de la biodiversité qui contribue à l'établissement de politiques de gestion efficace pour la biodiversité et les services écosystémiques mondiaux. Plusieurs pôles régionaux sont présents sur l'ensemble du globe et un pôle québécois est présentement en formation. NatureServe est un autre réseau d'importance internationale qui regroupe 82 centres de données sur la conservation répartis principalement dans les Amériques, dont le Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ). Le CDPNQ recueille, consigne, analyse et diffuse l'information sur les éléments de la biodiversité, en particulier sur les espèces menacées et vulnérables. L'Alberta Biodiversity Monitoring Institute (ABMI) est un autre exemple d'organisme canadien qui adopte une structure et un fonctionnement adaptés à la réalité des changements climatiques.

Afin d'améliorer le suivi de la biodiversité, le gouvernement du Québec met présentement en place, pour l'ensemble du Québec, le réseau de suivi de la biodiversité (suivi BdQc), visant à détecter les effets des changements sur l'état des écosystèmes, des communautés et des populations. Les observations obtenues par le suivi BdQc permettront non seulement de définir les enjeux liés aux changements climatiques, mais également de concevoir des mesures d'adaptation. Le suivi BdQc diffusera des données par l'entremise d'une plateforme Web Biodiversité Québec.

Limites et recommandations

Concevoir ou améliorer les programmes de suivi de la biodiversité dans le contexte des changements climatiques est un objectif ambitieux et essentiel pour contribuer à l'adaptation (Schmeller et coll., 2015). Un des principaux défis demeure la sécurisation du financement à long terme. L'optimisation de l'utilisation

des ressources doit se faire en fonction des priorités, par exemple en concentrant l'acquisition de données pour combler les lacunes pour des régions ou des taxons sous-représentés dans d'autres suivis existants (Burton et coll., 2014). Le fait de diversifier les techniques d'acquisition de données (p. ex. : inventaires terrain et télédétection) constitue un moyen d'étendre la couverture spatiale d'un réseau de suivi. En outre, la contribution des naturalistes amateurs peut s'avérer fort utile pour alimenter les bases de données (Berteaux et coll., 2014).

Chaque organisme responsable d'inventaires de la biodiversité devrait s'assurer que ses données sont disponibles, facilement accessibles et idéalement compatibles avec les indicateurs proposés par les programmes de suivi plus vastes. Les variables essentielles de la biodiversité (*essential biodiversity variables*, EBV) sont un ensemble de 20 variables qui satisfont des critères les rendant appropriées pour mesurer les effets des changements climatiques et informer adéquatement la prise de décision (Pereira et coll., 2013). Finalement, regrouper l'information des suivis mis en œuvre par les ministères et les universités, au moyen d'une politique de partage de données, permettrait aussi d'enrichir le bilan sur la biodiversité du Québec (Peres-Neto et coll., 2013).

Les limites financières et humaines imposent souvent d'utiliser des proxies de la biodiversité, plutôt que de réelles mesures sur l'ensemble des paramètres pertinents, pour vérifier les hypothèses. Il importe alors de prioriser des bio-indicateurs, associés à des espèces ou des processus sensibles, qui informent sur l'état des écosystèmes ou de l'effet de différentes pratiques d'aménagement (Paoletti, 1999). Des lignes directrices pour la sélection d'indicateurs pertinents pour suivre la biodiversité en contexte de changements climatiques au Québec ont été établies par Peres-Neto et coll. (2013).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Action
\$ 👤	Identifier les indicateurs climatiques et les bio-indicateurs pertinents pour suivre les effets des changements climatiques afin de les ajouter à un programme de suivi en cours
\$ \$ 👤 👤	Intégrer des bases de données déjà existantes pour les rendre accessibles et compatibles dans un suivi plus vaste dressant un certain bilan de biodiversité
\$ \$ \$ 👤 👤 👤	Mettre en place un suivi à long terme et spécifique à l'évaluation des effets des changements climatiques sur la biodiversité

Exemples d'application de la mesure

Le Programme de surveillance de l'intégrité écologique (PSIE) des parcs nationaux du Québec étudie, entre autres, la végétation arctique-alpine dans les parcs comprenant des écosystèmes alpins, tels que les parcs nationaux de la Gaspésie, des Hautes-Gorges-de-la-Rivière-Malbaie et des Grands-Jardins. Les plantes surveillées dans ces endroits sont des indicateurs précis des changements écologiques liés au climat. Ces changements dans la répartition des plantes alpines auront une incidence importante sur le caribou et sur d'autres espèces qui dépendent des habitats associés à ces communautés végétales.

Source : Groupe de travail sur le changement climatique du Conseil canadien des parcs (2013).

Le Programme de surveillance de la biodiversité circumpolaire est un programme de suivi adaptatif coordonné et standardisé pour l'ensemble de l'Arctique. Ce programme a été conçu par le Conseil de l'Arctique, qui regroupe huit pays et six nations autochtones nordiques. Il vise à évaluer l'état et les tendances de la biodiversité de l'Arctique, mais surtout à outiller ses décideurs. Trois ateliers regroupant des experts et différentes parties prenantes ont permis de définir le type d'information utile aux communautés, administrateurs, gestionnaires et décideurs. Les données recherchées concernent notamment l'état et les tendances de la biodiversité, ainsi que l'identification des régions qui sont d'une importance particulière par leur résilience et leur vulnérabilité. Les données générées par ce programme de surveillance sont disponibles par l'entremise du Service de données sur la biodiversité arctique

(Conservation of Arctic Flora and Fauna). Une formule adaptative permet de réévaluer les besoins à chaque fin de cycle et possiblement de modifier les éléments à suivre et leur méthodologie. La vaste étendue du territoire couvert, la coordination des efforts et le caractère adaptatif des suivis en font un programme adapté au contexte des changements climatiques.

Source : Christensen et coll. (2020).

13. Intégrer les effets des changements climatiques dans les plans de gestion, de conservation et de rétablissement

Description

Les changements climatiques constituent une menace à la biodiversité et les impacts vont varier dans l'espace et dans le temps. Les pratiques de conservation qui visent la gestion des espèces (mesures 1 à 5) ainsi que des aires protégées et des écosystèmes (mesures 6 à 11) doivent être adaptées pour considérer cette menace. La planification de la gestion, de la conservation ou du rétablissement des espèces ou des écosystèmes devra aussi être conçue et adaptée à l'aide de l'information issue de la recherche scientifique et des suivis adaptés aux changements climatiques.

Contexte d'application

Au Québec, la plupart des ministères, administrations et organismes du domaine de la conservation et de la gestion de la biodiversité reconnaissent l'impact des changements climatiques dans leurs documents de planification. Les plans de rétablissement des espèces fauniques en situation précaire ont été bonifiés dans les premières années du Plan d'action sur les changements climatiques 2013-2020 pour intégrer une évaluation des impacts propres à cette menace (p. ex. : Équipe de rétablissement des salamandres de ruisseaux du Québec, 2021). Les plans régionaux des milieux humides et hydriques (PRMHH) que doivent produire les municipalités régionales de comté (MRC), en vertu de la *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques du Québec*, doivent aussi tenir compte explicitement des enjeux liés aux changements climatiques (Dy et coll., 2018). Ces reconnaissances du besoin d'adaptation aux changements climatiques consistent en une étape essentielle pour aller vers sa mise en œuvre, qui fait encore souvent défaut. Toutefois, malgré l'abondance d'évaluations portant sur la vulnérabilité, les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, la mise en œuvre concrète de l'adaptation demeure peu documentée (Ouranos, 2015).

Limites et recommandations

La première étape permettant d'intégrer les impacts des changements climatiques dans les exercices de planification consiste à estimer les résultats des orientations de conservation actuelles sur la biodiversité (Heller et Zavaleta, 2009). Cette prise de conscience initiale constitue la base pour entamer la conception d'une planification adaptée aux changements climatiques. À cet effet, l'organisme Ouranos offre des prévisions climatiques pour toutes les régions du Québec (www.ouranos.ca/portraits-climatiques/#/) qui informent sur les tendances climatiques attendues selon différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre. Cette information peut aider à estimer les résultats à long terme des orientations de conservation actuelles.

Ultimement, le fait d'intégrer les effets des changements climatiques dans la conception d'un plan de conservation nécessite d'avoir recours aux résultats de plusieurs modèles (p. ex. : prévisions climatiques et modèles de niche bioclimatique) qui sont tous dotés d'un certain degré d'incertitude. Évidemment, les décideurs peuvent être réticents à fonder leurs décisions sur des prévisions incertaines, à l'heure où des compromis doivent déjà être faits dans l'allocation des ressources pour atténuer les effets des menaces actuelles (Wintle et coll., 2011). La démarche suivante, inspirée de Reside et coll. (2018), propose des pistes de solution pour gérer l'incertitude reliée aux effets des changements climatiques lors de différentes étapes de planification.

1. Évaluer la vulnérabilité des espèces et des écosystèmes : estimer les résultats obtenus à long terme en conservant les orientations de conservation actuelles et identifier les espèces qui apparaissent les plus vulnérables.

2. Établir les objectifs : établir des objectifs de conservation ou de gestion qui tiennent compte de la répartition future potentielle des espèces et des écosystèmes.

3. Récolter les données pertinentes : Identifier les sites essentiels pour la persistance des espèces en pensant à leurs besoins actuels et futurs. Définir les propriétés du territoire associées aux refuges climatiques. Faire ressortir les éléments importants pour la connectivité latitudinale et altitudinale.

4. Établir les priorités spatiales et temporelles : tenir compte des besoins futurs des espèces dans l'établissement des priorités. Établir les séquences temporelles de protection de territoire qui permettront les déplacements.

5. Incorporer l'incertitude : quantifier la variance dans les paramètres estimés (p. ex. : températures attendues, potentiel de présence d'une espèce), afin de tenir compte de l'incertitude de certains facteurs. Planifier en fonction de plusieurs scénarios futurs possibles. Réduire le niveau de priorité pour les zones où beaucoup d'incertitude subsiste.

6. Examiner les synergies et les compromis : examiner si des actions peuvent contribuer simultanément à des objectifs de biodiversité, de services écologiques et de valeur humaine et les prioriser. Examiner les compromis potentiels entre la protection de la biodiversité actuelle et future.

7. Définir des actions de conservation en tenant compte de leur contribution relative aux objectifs et de leur rapport coûts / bénéfiques : concevoir des actions de restauration ou de protection qui favorisent l'adaptation aux changements climatiques (comme celles qui sont présentées dans ce guide).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Action
\$ ♀	Intégrer une évaluation qualitative de l'impact des changements climatiques sur les résultats attendus dans les documents présentant les plans de conservation ou de gestion, afin de pouvoir en tenir compte
\$ \$ ♀ ♀	Évaluer à partir de modèles prévisionnels l'effet qu'auront les pratiques de conservation et de gestion selon qu'elles intègrent ou non l'adaptation aux changements climatiques en y intégrant l'incertitude
\$ \$ \$ ♀ ♀ ♀	Mettre en œuvre un plan d'action en conservation ou gestion des ressources contenant des mesures concrètes et adaptées aux changements climatiques

Exemple d'application de la mesure

Pour informer les décideurs sur les meilleurs endroits où investir les ressources disponibles pour la conservation de l'herpétofaune dans la péninsule Ibérique (Espagne et Portugal), la répartition de 65 espèces a été modélisée et projetée en 2020 et 2080. Les secteurs où les espèces apparaissaient présentes au moment de l'étude et dans le futur ont été considérés comme des endroits où les investissements seraient les plus rentables. L'exercice de modélisation a été fait avec neuf modèles et la comparaison des résultats a permis d'attribuer un niveau d'incertitude à la sélection des sites : si tous les modèles indiquaient qu'une espèce présente à un endroit le restera à long terme, le niveau d'incertitude était alors faible. L'ajout de ce niveau d'incertitude a permis de raffiner la sélection des endroits où les investissements seraient les plus rentables. En considérant la répartition future des espèces ainsi que le degré d'incertitude face aux modélisations, les auteurs ont fourni des données permettant d'établir une planification de la conservation de l'herpétofaune qui tient explicitement compte des changements climatiques.

Source : Carvalho et coll. (2011).

L'étang Reynolds, au nord du lac Champlain, est utilisé par la tortue molle à épines (*Apalone spinifera*) comme refuge thermique et aire d'alimentation. Cet habitat est important puisqu'il est situé à la limite nord de l'aire de répartition de la tortue et pourrait servir de front de colonisation pour la dispersion de l'espèce

vers le nord sous la pression des changements climatiques. Malheureusement, les changements hydrologiques attendus menacent cet habitat, puisqu'une réduction des niveaux d'eau (pointe printanière et moyenne annuelle) est attendue dans l'ensemble du lac Champlain d'ici 2050. Les plans d'aménagement de l'habitat initialement prévus ont été revus par des spécialistes en hydrologie et modifiés pour pallier cette menace. Ils prévoient maintenir une profondeur suffisante pour le confort de la tortue en été, en fonction des changements hydriques prévus. Tenir compte des impacts projetés des changements climatiques dans ce plan d'aménagement permettra de concevoir un habitat résilient et durable pour la tortue malgré les changements climatiques à venir.

Source : Terraformex et Amphibia-Nature. Aménagement d'étangs pour la tortue molle à épines au lac Champlain dans un contexte de changements climatiques (projet réalisé dans le cadre du PACC).

14. Mettre en pratique une gestion adaptative

Description

L'adaptation aux changements climatiques implique de composer avec la difficulté de prévoir leurs effets avec certitude. Ainsi, l'aptitude à composer avec les changements à mesure qu'ils sont appréhendés ou qu'ils surviennent, en adoptant un processus de gestion flexible, constitue un élément fondamental de l'adaptation aux changements climatiques. La gestion adaptative consiste en un processus itératif d'amélioration continue, dans lequel les actions réalisées sont évaluées de manière périodique pour réorienter au besoin la poursuite des activités (Ausden, 2014). On s'appuie sur les leçons tirées des décisions antérieures pour adapter les pratiques. Ce concept semble approprié pour l'adaptation aux changements climatiques (Heller et Zavaleta, 2009), tant pour sa planification que pour sa mise en œuvre (Ouranos, 2015).

Les gestionnaires qui adoptent un système de gestion adaptative doivent considérer les actions comme des expérimentations servant à tester des hypothèses, dont l'évaluation du résultat permet d'acquérir de nouvelles connaissances. Cet apprentissage permet finalement de réduire l'incertitude et d'orienter la prise de décision future (Baron et coll., 2009). Par ailleurs, la gestion adaptative, lorsqu'elle est adoptée dans les institutions, les politiques et les plans d'aménagement, permet de trouver et d'implanter des réponses qui s'agencent aux réalités locales (Stephens et coll., 2010).

Contexte d'application

La séquence itérative de planification, qui inclut la mise en œuvre des actions, les suivis, l'évaluation et la mise à jour des connaissances, est à la base du fonctionnement et de l'efficacité de la gestion adaptative. Au Québec, ce type de gestion est déjà préconisé dans la gestion des forêts publiques (MFFP, 2021), des ressources en eau et des aires protégées (Auzel et coll., 2012). Le Réseau des milieux naturels protégés et Conservation de la nature Canada offrent une formation pour élaborer des projets de conservation selon une méthode itérative conforme avec les principes de la gestion adaptative. Leur méthode souscrit à une série de normes établies spécifiquement pour assurer le succès des initiatives de conservation, dans la perspective autant du design, de la gestion que du suivi du projet. Elle propose l'utilisation du logiciel Miradi^{MD}, conçu pour les projets de conservation, pour établir un plan de gestion adaptative.

Limites et recommandations

Le concept de gestion adaptative est récent et en constante évolution; les exemples d'application documentés sont donc rares. Le manque de ressources, plus spécifiquement les lacunes dans l'acquisition continue de données, représente souvent une contrainte à l'atteinte des objectifs de la gestion adaptative (Rist et coll., 2013). Pour fournir des connaissances suffisantes afin d'alimenter le processus de gestion adaptative et d'apprentissage, l'acquisition de données est fondamentale, d'où l'importance des programmes de suivi de la biodiversité (Bélanger et coll., 2013; voir aussi la mesure 12) et des pratiques de conservation. Les organisations qui désirent adopter la gestion adaptative doivent effectuer une transition d'une structure de contrôle vers une approche de gestion plus collaborative, inclusive et tolérante au risque.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Actions
\$ 👤	Effectuer une évaluation afin d'intégrer la gestion adaptative dans l'application d'un projet de conservation
\$ \$ 👤 👤	Évaluer l'efficacité des mesures de conservation d'une espèce selon un concept adaptatif et itératif dans une perspective de variabilité climatique
\$ \$ \$ 👤 👤 👤	Implanter un système de gestion adaptative des parcs ou des aires protégées fondé sur des indicateurs de changements faisant l'objet d'un suivi régulier

Exemple d'application de la mesure

Les écosystèmes de la réserve Boolcoomatta, en Australie, subissent plusieurs pressions, dont celle des changements climatiques. L'organisme Bush Heritage Australia, qui gère la réserve, a décidé d'adopter un mode de gestion adaptatif. Des indicateurs de la viabilité des habitats prioritaires, ainsi que de l'intensité des menaces, ont été suivis et évalués à trois reprises sur une période de 10 ans (figures 4 et 5), suivant la méthode préconisée par l'organisme Open Standards (The Open Standards for the Practice of Conservation). Les indicateurs et les attributs clés à mesurer proviennent du logiciel Miradj^{MD}. Les résultats des évaluations successives ont permis de réorienter les actions, d'améliorer l'état et de diminuer l'intensité des menaces pour plusieurs écosystèmes. Les menaces liées à l'érosion et aux espèces envahissantes, connues pour être exacerbées par les changements climatiques, ont été réduites. L'adoption de la gestion adaptative semble avoir été efficace pour réduire les impacts des changements climatiques.

Source: Bush Heritage Australia et coll. (2015).
Adapté de l'anglais.

Cibles de conservation	2006	2011	2016
Dunes	■	↗	—
Coteaux rocheux	■	↗	↗
Ruisseaux et plaines inondables	■	—	—
Plaines	■	↗	↘
Milieux humides	■	↗	—

Menaces	2008	2011	2016
Chats errants	■	↗	↗
Renards	■	↘	↘
Lapins	■	↗	↘
Herbes invasives	■	—	↘
Pression de broutage	■	—	↗
Chèvres	■	↘	↘
Érosion du sol	■	↘	—
Changements climatiques	■	—	—

Figure 4. État (couleur) et tendance (flèche) des cibles de conservation et des menaces

État		Tendance	
■	<i>Très bon</i>	↗	<i>Amélioration</i>
■	<i>Bon</i>	—	<i>Maintien</i>
■	<i>Passable</i>	↘	<i>Détérioration</i>
■	<i>Mauvais</i>		

Figure 5. Définitions des catégories d'état et de tendance des cibles de conservation et des menaces

15. Améliorer la coordination et l'échange d'information entre les organisations et les disciplines œuvrant dans l'adaptation aux changements climatiques

Description

Les impacts des changements climatiques sont divers et touchent à toutes les sphères d'activité. De ce fait, les stratégies pour s'y adapter devraient pouvoir intégrer des connaissances et des expertises provenant de plusieurs domaines. Il est donc essentiel d'envisager des actions concertées et coordonnées à l'intérieur d'une vision partagée entre les acteurs du milieu de la conservation (Baron et coll., 2009). Dans un contexte où les ressources sont limitées et les enjeux complexes, il devient d'autant plus nécessaire de collaborer pour partager les compétences et les coûts, optimiser l'effet de levier pour le financement et appliquer les solutions de manière collaborative et multidisciplinaire pour un maximum de résultats (Lauber et coll., 2011). La conservation de la biodiversité transcende plusieurs domaines (p. ex. : écologie, environnement, aménagement du territoire, économie, santé publique, politique). Pour cette raison, la conservation doit constituer un principe commun et être intégrée aux objectifs, peu importe les sphères d'activité. Cette façon de concevoir et de mettre en œuvre la conservation de la biodiversité nécessite d'opérer un changement de paradigme. La création de partenariats de conservation pourrait s'avérer une voie avantageuse pour concrétiser des mesures d'adaptation qui nécessitent des changements importants dans la planification et la gestion de la conservation (p. ex. : rendre les réseaux d'aires protégées spatialement dynamiques ou implanter la gestion adaptative dans les institutions; voir les mesures 9 et 14, Monahan et Theobald, 2018).

Contexte d'application

Au Québec, il existe déjà une certaine collaboration pour la conservation, notamment grâce aux servitudes de conservation. À l'automne 2020, le gouvernement du Québec accordait à Conservation de la nature Canada une subvention de 13 M\$ jusqu'en 2022 pour la réalisation du Projet de partenariat pour les milieux naturels (PPMN), incluant l'acquisition ou la constitution de servitudes perpétuelles. Ces mesures sont particulièrement adaptées au contexte sud-québécois, où la biodiversité est grande, mais fortement menacée par les activités humaines et où la connectivité doit être maintenue ou restaurée (voir la mesure 8). La connectivité écologique à l'échelle du nord-est de l'Amérique du Nord fait aussi l'objet d'une plateforme Web (<https://connectiviteecologique.com/>), qui vise à s'assurer que les organisations gouvernementales et non gouvernementales s'appuient sur la meilleure science disponible afin de soutenir la conservation de la connectivité écologique du paysage de la région.

Outre la protection des milieux naturels, la coordination des efforts et l'échange d'information sont particulièrement bénéfiques et nécessaires en recherche (mesure 5), pour les programmes de suivi (mesure 12) et pour que les acteurs participent davantage aux processus de cogestion, par exemple en engageant les populations locales dans la gestion des parcs en territoire nordique (Gendreau et coll., 2013). Le consortium Ouranos, par son engagement en concertation, joue un rôle de premier plan en ce sens. L'organisme contribue au développement de projets collaboratifs auxquels participent des chercheurs, des experts, des praticiens et des décideurs issus de différentes disciplines et organisations pour mettre en place l'adaptation aux changements climatiques à l'échelle du Québec (Ouranos, 2015).

Limites et recommandations

Former des partenariats qui traversent les frontières géographiques, interdisciplinaires et administratives devient de plus en plus pertinent puisque les changements climatiques ont des impacts transversaux (Beever et coll., 2014). Toutefois, la création de tels partenariats demeure complexe compte tenu des divergences fréquentes qui existent entre les intérêts, les mandats, les valeurs et le niveau d'autorité variable entre les partenaires (Susskind et coll., 2012). Pour favoriser l'engagement des partenaires, il est impératif de définir dès le départ des objectifs communs et mesurables (Beever et coll., 2014). Cela constitue un élément déterminant pour l'efficacité et la qualité des résultats (Worboys et coll., 2011) : peu importe l'échelle à laquelle la collaboration s'effectue, elle est toujours pertinente. Par exemple, un propriétaire de terres agricoles, un organisme local de conservation, une municipalité et un ministère pourraient collaborer très efficacement à la conservation de la biodiversité en améliorant la connectivité

des milieux naturels. L'idée est d'allier les disciplines et les acteurs pour éviter d'agir en silo, mais plutôt de manière intersectorielle.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Action
\$ 👤	Bâtir un plan d'action en adaptation en collaboration avec un organisme d'un secteur d'activité différent
\$ \$ 👤 👤	Concevoir et appliquer un projet d'adaptation aux changements climatiques multidisciplinaire et multipartenaires fondé sur des objectifs communs
\$ \$ \$ 👤 👤 👤	Envisager un programme d'aménagement du territoire transdisciplinaire qui intégrerait les préoccupations aux changements climatiques de plusieurs secteurs d'activité

Exemples d'application de la mesure

La MRC de La Haute-Yamaska revêt une intégrité naturelle supérieure à celle de plusieurs MRC de la Montérégie. Les efforts de conservation y sont donc particulièrement pertinents afin de préserver la diversité et la qualité des écosystèmes présents sur ce territoire. Toutefois, les nombreux acteurs ont manifesté le besoin d'être mieux outillés dans leur gestion du territoire, en particulier pour tenir compte des espèces sensibles et pour choisir parmi les recommandations parfois différentes issues des experts locaux, provinciaux et fédéraux. C'est ainsi qu'un projet de conception d'un outil d'aide à la décision a vu le jour. Celui-ci a pour objectif d'établir un pont entre les recommandations de conservation issues des différentes instances et ensuite d'outiller de manière commune la MRC, les municipalités, les agences forestières et les équipes de rétablissement. Cet outil permettra d'adopter une approche coordonnée et commune à l'ensemble des acteurs et ainsi d'appliquer les mêmes recommandations d'aménagement sur l'ensemble du territoire. Une telle approche augmentera la portée et l'efficacité des actions de conservation, ce qui permettra d'augmenter la résilience des espèces sensibles et de leur habitat aux changements climatiques.

Source : Fondation SETHY. Outil d'aide à la décision visant la protection des espèces à statut de la Haute-Yamaska (projet réalisé dans le cadre du PACC).

La plateforme Web sur la connectivité écologique découle de l'adoption de la Résolution 40-3 sur la connectivité écologique, l'adaptation au changement climatique et la conservation de la biodiversité par les gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et les premiers ministres de l'est du Canada en 2016. La Résolution 40-3 reconnaît l'importance de la connectivité écologique pour l'adaptabilité et la résilience des écosystèmes, de la biodiversité et des communautés humaines dans le nord-est de l'Amérique du Nord, en particulier à la lumière des changements climatiques en cours. Elle souligne la nécessité et le besoin pour toutes les instances de la région de travailler à travers les paysages et les frontières pour faire avancer les efforts de la restauration et du maintien de la connectivité écologique dans l'intérêt de la faune, des écosystèmes et de l'économie. L'objectif de cette plateforme Web est d'assurer que les organisations gouvernementales et non gouvernementales s'appuient sur la meilleure science disponible sur la connectivité écologique afin de soutenir la conservation de la connectivité du paysage de la région. Le site Web recense et présente des projets qui maintiennent ou restaurent la connectivité écologique du paysage terrestre ou aquatique, pour apprendre des expériences d'autrui et répertorier les succès.

Source : <https://connectiviteecologique.com/>.

D. POLITIQUES, LOIS ET GOUVERNANCE

16. Intégrer la conservation des écosystèmes dans le processus d'adaptation de la société aux changements climatiques

Description

Les principales préoccupations qu'ont les sociétés au sujet des impacts des changements climatiques concernent le maintien de la santé humaine, de l'économie et des infrastructures. C'est d'ailleurs pour ces domaines d'activité qu'ont été établies la majorité des stratégies d'adaptation. Les rôles indispensables que joue la biodiversité dans l'adaptation des sociétés aux changements climatiques ne doivent toutefois pas être négligés. Les écosystèmes naturels, par le biais de services écologiques, facilitent la résilience des sociétés aux aléas du climat, pourtant certains pourraient être compromis par les changements climatiques (Malhi et coll., 2020). Par conséquent, la conservation de la biodiversité et les services qui en découlent devraient impérativement faire partie intégrante des stratégies d'adaptation de la société, peu importe la discipline visée (Mawdsley et coll., 2009). Cette approche est souvent qualifiée d'adaptation fondée sur les écosystèmes (*ecosystem-based adaptation, EBA*), qui réfère à une stratégie d'adaptation impliquant un éventail d'activités découlant d'une bonne gestion des milieux naturels et de leurs diversités. Elle vise à augmenter la résilience à la fois des gens et de l'environnement aux changements climatiques (Colls et coll., 2009). Dans cette vision, les besoins des humains et ceux de la biodiversité ne sont pas considérés comme étant contradictoires, mais plutôt comme complémentaires et partagés.

Contexte d'application

Au Québec, la *Loi sur la conservation des milieux humides et hydriques* prend en considération les services écologiques rendus par ces écosystèmes à la société. Les inondations saisonnières ont parfois des effets dévastateurs et les coûts qui y sont associés sont assumés par l'ensemble de la société. La disparition des milieux humides et de l'espace de liberté des cours d'eau accentue les conséquences des épisodes de précipitations extrêmes. La restauration et la protection de ces milieux essentiels contribueraient à l'adaptation de la société aux changements climatiques, mais aussi à la conservation de la biodiversité (Biron et coll., 2013). Lorsqu'ils sont dégradés, ces écosystèmes ne sont plus en mesure de tamponner les événements climatiques extrêmes qui mettent énormément de pression sur les infrastructures.

Les politiques visant l'adoption de pratiques agroenvironnementales constituent un moyen d'améliorer le caractère naturel des exploitations agricoles, donc d'augmenter la qualité des habitats et la connectivité, tout en leur conférant une meilleure résilience face aux changements climatiques (Donald et Evans, 2006). Des agroécosystèmes diversifiés peuvent effectivement remplir plusieurs fonctions écologiques bénéfiques pour l'ensemble de la société, comme la séquestration du carbone et la conservation de l'eau, tout en leur permettant de produire de la nourriture et d'autres produits agricoles malgré un climat imprévisible (Wood et coll., 2015).

Limites et recommandations

Il est parfois difficile de convaincre le public et les gestionnaires de l'importance des écosystèmes et des services écologiques pour l'adaptation aux changements climatiques, puisque ces services sont peu tangibles. Lorsqu'on attribue une valeur financière à ces services, l'importance des écosystèmes pour l'adaptation de la société aux changements climatiques devient beaucoup plus concrète et facile à promouvoir. Par exemple, une valeur économique comprise entre 10 000 \$ et 20 000 \$ par hectare par an a été estimée pour les milieux humides des basses terres du Saint-Laurent, en comptabilisant la valeur de trois services écologiques (régulation des débits, habitat de qualité et filtration des sédiments) (Fournier et coll., 2013). Un guide méthodologique contenant des études de cas a aussi été rédigé pour aider à prendre des décisions d'adaptation dans un contexte d'attribution de valeur économique aux écosystèmes (Dupras et coll., 2013). Évidemment, protéger ces milieux du développement humain limite la création de richesse financière à court terme, mais offre des bénéfices indéniables à plus long terme.

En plus d'être bénéfique pour les sociétés dans une perspective d'adaptation, la conservation des milieux naturels joue un rôle avantageux pour l'atténuation des changements climatiques. Réduire les émissions de gaz à effet de serre n'est pas la seule solution à envisager, la séquestration du carbone et la conservation des réservoirs de carbone terrestre doivent être mises de l'avant (Heller et Zavaleta, 2009). Certains écosystèmes comme les milieux humides et la forêt boréale sont reconnus pour leur capacité à séquestrer et à stocker de grandes quantités de carbone (Singh et coll., 2015).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressource	Action
\$ ♀	Organiser des campagnes de sensibilisation sur l'importance des milieux naturels pour la résilience de la société face aux changements climatiques
\$ \$ ♀ ♀	Intégrer les adaptations fondées sur les écosystèmes dans les stratégies municipales d'adaptation aux changements climatiques
\$ \$ \$ ♀ ♀ ♀	Établir une stratégie à grande échelle pour le maintien ou la restauration d'écosystèmes naturels pouvant faciliter l'adaptation de la société face aux grands enjeux d'adaptation (p. ex. : inondation, îlots de chaleur, érosion côtière)

Exemples d'applications de la mesure

Le massif montagneux de Chingaza, en Colombie, abrite de nombreux glaciers qui sont susceptibles de disparaître d'ici 2050. Quatre-vingts pour cent de la population entourant la capitale Bogota dépend de l'eau provenant du massif. Face à cette menace, la Colombie a implanté un plan d'adaptation fondé sur les écosystèmes impliquant un large éventail d'actions. La stratégie participative de restauration des parcs nationaux a été mise à jour pour viser spécifiquement le maintien des fonctions de régulation de l'eau. Les plans d'utilisation du territoire ont été modifiés pour favoriser le maintien des fonctions des écosystèmes. Du soutien est offert aux fermiers pour valoriser le développement et l'adoption de pratiques de gestion agricole durable. Des connaissances sur le fonctionnement du massif Chingaza sous différents scénarios climatiques sont mises à jour et diffusées afin d'encourager l'adoption des politiques d'adaptation. Finalement, une modélisation du cycle de l'eau, conjointement à l'installation de stations de mesures, est effectuée. Cet amalgame de mesures, toutes orientées vers le maintien des fonctions écosystémiques, touche à la fois à l'acquisition et à la diffusion de connaissances, à la participation citoyenne et du secteur privé et à l'adoption de politiques d'adaptation fondées sur les écosystèmes. Il s'agit d'un exemple éloquent de la manière dont les fonctions écosystémiques peuvent faire partie intégrante d'une stratégie sociétale d'adaptation aux changements climatiques.

Source : Pérez et coll. (2010).

Le projet Résilience côtière, piloté par l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), vise l'adaptation des populations côtières du Québec maritime au contexte des changements climatiques dont les impacts, notamment l'érosion et la submersion côtières, menacent les bâtiments et les infrastructures. Cette démarche, menée de concert avec les acteurs municipaux et des organismes locaux, élabore des stratégies d'adaptation en mettant un accent important sur la protection des écosystèmes côtiers et le maintien de leurs services écologiques, dont la protection contre l'érosion. Le projet a entre autres comme objectif de déterminer un espace de liberté pour les écosystèmes côtiers qui pourrait être intégré aux schémas d'aménagement des MRC.

Source : UQAR (2017).

17. Réviser les lois, la réglementation et les politiques existantes en matière de conservation et de gestion de la biodiversité dans un contexte d'adaptation

Description

La majorité des orientations en matière de gestion et de conservation des espèces et des milieux naturels ont été mises en place il y a des décennies, lorsque les effets appréhendés des changements climatiques n'étaient pas aussi bien connus et préoccupants, de sorte que les nouvelles dynamiques qui en résultent pourraient entraîner la désuétude des dispositions en place (Lemieux et Scott, 2005). Le concept de représentativité utilisé pour la conception des réseaux d'aires protégées (voir la mesure 7) en est un bon exemple. Les lois, politiques et règlements associés à la gestion de la faune et à la conservation de la biodiversité doivent donc être révisés à la lumière des nouveaux besoins des acteurs qui ont à composer avec les effets des changements climatiques (Groupe de travail sur l'adaptation et la biodiversité, 2018), notamment pour intégrer les concepts comme les processus écosystémiques à l'échelle du paysage (voir les mesures 9 et 11). Ces lois devront permettre un mode de gestion flexible pour une variété d'actions en fonction de l'état de la situation, et ainsi favoriser l'émergence de réponses adaptées aux nouvelles dynamiques écologiques (McDonald et coll., 2019). Le plus grand défi pour les législateurs sera donc de rendre les processus et les instruments légaux plus adaptatifs et réactifs aux changements (McDonald, 2011).

Contexte d'application

L'intégration de l'adaptation dans les orientations gouvernementales et le cadre législatif peut se faire au moyen de nouvelles politiques, de nouveaux règlements ou lois, ou par la modification de lois ou règlements existants. Cette intégration faisait partie des intentions de la Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques 2013-2020 du Québec (gouvernement du Québec, 2012) et l'est toujours dans le Plan pour une économie verte 2030 (gouvernement du Québec, 2020). De plus, la *Loi sur la qualité de l'environnement*, récemment modernisée, inclut dorénavant l'adaptation aux changements climatiques dans le processus d'autorisation environnementale. La *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables* du Québec comporte une catégorie de désignation de type anticipatrice, soit « susceptible d'être désignée », par laquelle pourraient être appréhendés les impacts futurs des changements climatiques. Cette catégorie contribuerait ainsi à la portée et à la flexibilité de la loi, deux attributs conformes aux besoins définis pour l'adaptation aux changements climatiques (McDonald et coll., 2019).

Limites et recommandations

Favoriser l'adaptation pourrait se faire en mettant en place une réglementation qui prescrit différentes stratégies de conservation, selon l'atteinte de certains seuils pour l'état d'une population ou l'étendue de sa répartition spatiale (McDonald et coll., 2019). Cette approche pourrait s'appliquer aux situations où la loi n'est pas en mesure de prescrire des actions, puisqu'elle ne s'applique que lorsque les dommages sont déjà apparents. Par exemple, le Plan de gestion adaptatif du projet de restauration de l'écosystème de rivière saline de la Californie a défini une série de valeurs pour les suivis environnementaux (p. ex. : qualité de l'eau), en deçà desquelles des effets environnementaux néfastes ne sont pas apparents, mais qui indiquent qu'une trajectoire défavorable pour l'écosystème est en cours. Lorsque ces seuils intermédiaires sont atteints, la réglementation prescrit des actions à entreprendre qui sont de plus en plus importantes à mesure que l'on se rapproche des valeurs indiquant des dommages réels à l'écosystème.

Une autre option consisterait à revoir la définition d'habitat à protéger pour une espèce menacée, afin d'y inclure l'habitat prévu pour le futur selon des exercices de modélisation. Désigner légalement un habitat en dehors de l'aire de répartition d'origine est une approche novatrice. Ce type de mesure, clairement orientée sur les changements climatiques, permet d'offrir la flexibilité nécessaire pour la conservation des espèces vulnérables advenant une modification de l'aire de répartition (Parmesan et coll., 2015).

Il est difficile d'envisager une intégration rapide des changements climatiques dans les lois, règlements et politiques sur la gestion et la conservation de la biodiversité, puisque davantage d'informations sur la

réorganisation spatiale et la modification des fonctions de la biodiversité sont d'abord nécessaires, en plus d'une collaboration importante entre les intervenants (Berteaux et coll., 2010). Afin d'obtenir une adhésion et un certain succès, les politiques de conservation devront générer des bénéfices pour les populations locales, en particulier celles qui s'étendent au-delà des aires protégées (Heller et Zavaleta, 2009). Les politiques ont effectivement plus de chances d'être adoptées et mises en œuvre si elles favorisent la participation et fournissent des options culturellement et économiquement appropriées, par exemple en valorisant les savoirs traditionnels, plutôt qu'en s'appuyant uniquement sur des données contemporaines (Tompkins et Adger, 2004).

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Action
\$ 👤	Effectuer une analyse comparative des lois, règlements et politiques de différents territoires entourant la gestion et la conservation de la faune qui intègre l'adaptation aux changements climatiques
\$ \$ 👤 👤	Évaluer les lacunes et les améliorations à effectuer dans les politiques, lois et règlements associés à la conservation pour intégrer l'enjeu climatique
\$ \$ \$ 👤 👤 👤	Enclencher un processus de modification réglementaire relatif à la conservation qui faciliterait l'adaptation et la flexibilité dans un contexte de changements climatiques

Exemple d'application de la mesure

L'écrevisse géante de Tasmanie (*Astacopsis gouldi*) est désignée vulnérable par le gouvernement australien. L'espèce fait l'objet d'un plan de rétablissement, dont un des objectifs est de repérer, de conserver et de gérer des habitats critiques pour aider l'accroissement des populations. Le gouvernement australien a innové en modifiant la définition d'habitat critique qui, auparavant, se limitait aux « endroits présentement occupés par l'espèce », pour étendre sa portée et dorénavant inclure « les habitats connus et potentiels ». Le plan de rétablissement vise donc à protéger les habitats critiques dans l'aire de répartition actuelle, mais aussi dans l'aire de répartition future. La répartition future a été déterminée par le ministère responsable, en consultation avec des spécialistes de l'espèce. Ainsi, la révision de la loi a permis d'adapter des mécanismes légaux déjà en place pour mieux faire face aux conséquences des changements climatiques.

Source : Commonwealth of Australia (2017).

18. Intégrer les sciences sociales et le savoir traditionnel dans les processus décisionnels afin de favoriser l'acceptabilité sociale et la mobilisation citoyenne pour l'adaptation

Description

Les humains entretiennent des relations intimes avec la biodiversité, et plusieurs services écologiques essentiels en sont la démonstration. Toutefois, lors de l'établissement des stratégies d'adaptation aux changements climatiques en conservation de la biodiversité, les facteurs qui motivent les individus à adopter des mesures d'adaptation sont presque totalement ignorés et exclus du bagage de connaissances (Jones et coll., 2016). Cette lacune est préoccupante, vu l'importance des comportements et des préférences des individus dans la prise de décisions en conservation (Watson, 2005). La compréhension des comportements humains devient primordiale lorsqu'on adopte des stratégies qui impliquent des exercices de concertation, le partage du territoire (exploitation et conservation; voir les mesures 6 et 9) ou encore la participation des citoyens. La perception que les humains ont de leur capacité à adopter des stratégies d'adaptation, de l'efficacité de celles-ci et de leur responsabilité personnelle dans l'adaptation aux changements climatiques pourrait être un facteur encore plus déterminant que l'expérience et la connaissance climatique pour qu'une stratégie soit adoptée (van Valkengoed et Steg, 2019). Il s'avère que se préparer et s'adapter aux changements climatiques posent des défis qui sont aussi culturels et intellectuels (Baron et coll., 2009).

Contexte d'application

Intégrer les sciences sociales à la conservation doit se faire à plusieurs niveaux, c'est-à-dire dans la recherche, la politique et la pratique (Bennett et coll., 2017). À titre d'exemple, les chaires de recherche du Canada en économie écologique et en sciences de la durabilité abordent des questions transdisciplinaires où l'humain et la biodiversité sont considérés conjointement en tant que système socioécologique. Les conseils régionaux de l'environnement (CRE) et les organismes de bassin versant (OBV) emploient fréquemment des méthodes associées aux sciences sociales (entrevues, groupes de discussion) lors de différentes initiatives de concertation pour mettre au point des stratégies de conservation de la biodiversité qui tiennent compte des réalités humaines locales. Le projet Résilience côtière piloté par l'UQAR est un autre exemple d'intégration des acteurs locaux dans la conception de mesures d'adaptation aux changements climatiques fondées sur les écosystèmes. L'organisme Ouranos a de son côté choisi le leadership partagé et la co-construction pour favoriser la mobilisation d'une grande diversité d'intervenants (Ouranos, 2019). Le savoir traditionnel autochtone est également précieux pour l'adaptation aux changements climatiques, puisqu'il contient des données fiables et uniques sur les variations spatiotemporelles du climat (Rapinski et coll., 2018), ainsi que sur les impacts de ceux-ci sur la santé et les activités des Premières Nations (Downing et Cuerrier, 2011).

Finalement, la participation des citoyens à l'adaptation aux changements climatiques est plus importante lorsque ceux-ci sont bien informés. La sensibilisation et l'éducation sont donc deux éléments cruciaux (Ouranos, 2015). L'organisme Unpointcinq est un média québécois qui travaille en ce sens, en informant le grand public sur les actions climatiques québécoises qui ont cours.

Limites et recommandation

Malgré les avantages inhérents aux processus de concertation et à la réalisation de partenariats qui tiennent compte du facteur humain, ce genre d'approche comporte des défis. Le fait de bonifier un projet à l'aide d'une réflexion sur les facteurs humains associés à l'adoption des mesures d'adaptation ajoute un niveau de complexité et implique un mode de pensée avec lequel peu d'intervenants de la conservation sont familiers. En revanche, les équipes de conservation pourraient être renforcées avec du personnel formé dans cette discipline pour combler ce besoin.

Actions possibles selon les ressources disponibles

Ressources	Action
\$ ♀	Analyser les résultats d'un projet passé en tentant de dégager les facteurs humains qui ont pu limiter l'adoption de mesures d'adaptation proposées
\$ \$ ♂ ♀	Utiliser une approche de concertation ou de co-construction pour établir des pratiques de conservation qui tiennent mieux compte de la réalité des différents groupes d'acteurs
\$ \$ \$ \$ ♂ ♀ ♀	Intégrer dans les équipes de planification du personnel qualifié en sciences sociales attiré à la considération de la dimension sociale de la conservation et de l'adaptation aux changements climatiques

Exemple d'application de la mesure

Pour soutenir la gouvernance locale et la prise de décision sur l'adaptation aux changements climatiques au Québec subarctique, le Comité consultatif pour l'environnement de la Baie-James (CCEBJ) a chargé le consortium Ouranos d'examiner la littérature disponible et d'interviewer plusieurs intervenants clés du territoire, essentiellement des membres de la nation crie. Ces derniers sont parmi les principaux détenteurs d'information sur les écosystèmes et le climat dans cette région autrement relativement peu étudiée. Les observations locales faites par les Cris témoignent des changements rapides sur le plan de l'environnement et des conditions climatiques. En outre, les peuples autochtones sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques en raison des liens étroits qu'ils entretiennent avec leur territoire. L'intégration des savoirs traditionnels aux démarches scientifiques conventionnelles favorise le développement, la diffusion et l'implantation de stratégies d'adaptation qui s'appliquent aux réalités locales qui ont ainsi un meilleur potentiel d'efficacité.

Source : Hennigs et coll. (2017).

Conclusion

Les changements climatiques bouleversent la conception même de la conservation de la biodiversité et imposent un nouveau paradigme : projeter la conservation sur des paysages vastes et variés dans une perspective dynamique et à long terme. Malgré l'incertitude concernant la réponse des espèces et des écosystèmes aux nouvelles conditions climatiques, il est nécessaire d'agir dès maintenant au sein d'un cadre d'action flexible permettant d'adapter les objectifs en fonction des réalités émergentes.

Bien que la question de l'adaptation aux changements climatiques soit de plus en plus discutée, sa mise en œuvre demeure marginale, soit par méconnaissance des enjeux et des nouvelles approches ou en raison de limites financières ou contextuelles. À court terme, plusieurs outils de conservation traditionnels demeurent valables; il s'agit de les utiliser en adoptant une vision qui tient explicitement compte des changements climatiques. Les approches actuelles, à elles seules, ne seront toutefois pas suffisantes ou devront être modifiées pour prendre pleinement en compte les effets des changements climatiques.

Pour faire face aux changements climatiques, la conservation de la biodiversité doit aller bien au-delà de la biologie. L'acquisition, la centralisation et le partage de l'information devront être exploités au maximum pour optimiser les efforts à déployer. La création de partenariats multidisciplinaires et la participation des communautés locales dans la mise en œuvre des actions devront également être renforcées pour assurer le succès de la mise en œuvre de l'adaptation aux changements climatiques.

Enfin, les stratégies d'adaptation sont complémentaires, voire contributives, aux efforts d'atténuation des changements climatiques. L'importance évidente de s'adapter aux changements climatiques est en fait une démonstration de l'urgence d'en mitiger les effets. La conservation des milieux naturels peut d'ailleurs agir sur ces deux fronts : de faciliter la résilience et contribuer à réduire le bilan des émissions en agissant comme puits de carbone.

En présentant l'éventail des mesures disponibles aux acteurs de la conservation, le présent guide se veut une contribution à l'avancement de la mise en œuvre de l'adaptation aux changements climatiques en conservation de la biodiversité au Québec.

Références

- AITKEN, S. N., S. YEAMAN, J. A. HOLLIDAY, T. WANG et S. CURTIS-MCLANE (2008). "Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations", *Evolutionary Applications*, 1(1): 95-111.
- ALBERT, A., J. BRISSON, F. BELZILE, J. TURGEON et C. LAVOIE (2016). *Chapitre II: Strategies for a successful plant invasion: the reproduction of phragmites australis in north-eastern North America. Mécanismes de propagation du roseau commun envahisseur au Québec*, 27 p.
- ALBERT, C., G. M. LUQUE et F. COURCHAMP (2018). "The twenty most charismatic species", *PLOS ONE*, 13(7), e0199149, [En ligne], <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199149>.
- ANNECOU, C. (2020). « Nouveau guide sylvicole d'adaptation aux changements climatiques des forêts privées du Centre-du-Québec », *Progrès forestier, Association forestière du sud du Québec*, p. 4-7.
- ÅREVAL, J., R. EARLY, A. ESTRADA, U. WENNERGREN et A. C. EKLÖF (2018). "Conditions for successful range shifts under climate change: The role of species dispersal and landscape configuration", *Diversity and Distributions*, 24(11), 1598-1611, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/ddi.12793>.
- AUSDEN, M. (2014). "Climate Change Adaptation: Putting Principles into Practice", *Environmental Management*, 54(4), 685-698, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0217-3>.
- AUZEL, P., H. GAONAC'H, F. POISSON, R. SITON, S. CALMÉ, M. BÉLANGER, M. M. BOURASSA, A. KESTRUP, A. CUERRIER, C. DOWNING, C. LAVALLÉE, F. PELLETIER, J. CHAMBERS, A. E. GAGNON, M. C. BÉDARD, Y. GENDREAU, A. GONZALEZ, M. MITCHELL, J. WHITELEY et A. LAROCQUE (2012). *Impacts des changements climatiques sur la biodiversité du Québec : résumé de la revue de littérature*. CSBQ, MDDEP, Ouranos.
- AYCRIGG, J. L., A. DAVIDSON, L. K. SVANCARA, K. J. GERGELY, A. MCKERROW et J. M. SCOTT (2013). "Representation of Ecological Systems within the Protected Areas Network of the Continental United States", *PLoS ONE*, 8(1), [En ligne], <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054689>.
- BARON, J. S., B. GRIFFITH, L. A. JOYCE, P. KAREIVA, B. D. KELLER, M. A. PALMER, C. H. PETERSON et J. M. SCOTT (2008). "Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources." A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. In S. H. Julius & J. M. West (ed.), *Synthesis and Assessment Product*, [En ligne], <http://pubs.er.usgs.gov/publication/70182094>.
- BARON, J. S., L. GUNDERSON, C. D. ALLEN, E. FLEISHMAN, D. MCKENZIE, L. A. MEYERSON, J. OROPEZA et N. STEPHENSON (2009). "Options for national parks and reserves for adapting to climate change", *Environmental Management*, 44(6), 1033-1042, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9296-6>
- BEEVER, E. A., B. J. MATTSSON, M. J. GERMINO, M. P. BURG, J. B. VAN DER, BRADFORD et M. W. BRUNSON (2014). "Successes and challenges from formation to implementation of eleven broad-extent conservation programs", *Conservation Biology*, 28(2), 302-314, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/cobi.12233>.

- BEIER, P., et B. BROST (2010). "Use of Land Facets to Plan for Climate Change: Conserving the Arenas, Not the Actors", *Conservation Biology*, 24(3), 701-710, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01422.x>.
- BÉLANGER, L., D. BERTEAUX, L. BOUTHILIER, F. BRASSARD, N. CASAJUS, S. CUMMING, V. DAVID, A. DENONCOURT, M.-É. DESHAIES, M.-É., DESMARAIS, É. DOMAINE, S. JUTRAS, J.-F. LAMARRE, J. MARCHAL, E. MCINTIRE, M. RICARD, M.-H. ST-LAURENT et J.-P. TREMBLAY (2013). *Adaptation aux changements climatiques de la conservation de la nature et du système d'aires protégées du Québec (Rapport scientifique final pour Ouranos)*. 101 p. [En ligne], <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2023-05/proj-ant-thant-belanger-rapportfinal.pdf>.
- BENNETT, N. J., R. ROTH, S. C. KLAIN, K. M. A. CHAN, D. A. CLARK, G. CULLMAN, G. EPSTEIN, M. P. NELSON, R. STEDMAN, T. L. TEEL, R. E. W. THOMAS, C. WYBORN, D. CURRAN, A. GREENBERG, J. SANDLOS et D. VERÍSSIMO (2017). "Mainstreaming the social sciences in conservation", *Conservation Biology*, 31(1), 56-66, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/cobi.12788>.
- BENTZ, B. J., J. RÉGNIÈRE, C. J., FETTIG, E. M. HANSEN, J. L. HAYES, J. A. HICKE, R. G. KELSEY, J. F. NEGRÓN et S. J. SEYBOLD (2010). "Climate Change and Bark Beetles of the Western United States and Canada: Direct and Indirect Effects", *BioScience*, 60(8), 602-613, [En ligne], <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.8.6>.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, S. FRIESINGER, Y. JOLIVET, S. DUGAS, S. DREJZA et A. MORISSETTE (2008). *Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques*. Dans *Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières*, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p. [En ligne], https://web.archive.org/web/20210717042754id_/https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportBernatchez2008_FR.pdf.
- BERNHARDT, J. R., et H. M. LESLIE (2013). "Resilience to climate change in coastal marine ecosystems", *Annual Review of Marine Science*, 5:371-392, [En ligne], <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172411>.
- BERTEAUX, D., M. RICARD, M. H. ST-LAURENT, N. CASAJUS, C. PÉRIÉ, F. BEAUREGARD et S. DE BLOIS (2018). "Northern protected areas will become important refuges for biodiversity tracking suitable climates", *Scientific Reports*, 8(1), 1-9, [En ligne], <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23050-w>.
- BERTEAUX, D., N. CASAJUS et S. DE BLOIS (2014). *Changements climatiques et biodiversité du Québec: vers un nouveau patrimoine naturel*. Presses de l'Université du Québec, Québec, 170 p.
- BERTEAUX, D., N. CASAJUS et S. DE BLOIS (2015). *CC-Bio* [En ligne] [<http://cc-bio.uqar.ca/>] (Consulté le 7 janvier 2021).
- BERTEAUX, D., S. DE BLOIS, J. F. ANGERS, J. BONIN, N. CASAJUS, M. DARVEAU, F. FOURNIER, M. M. HUMPHRIES, B. MCGILL, J. LARIVÉE, T. LOGAN, P. NANTEL, C. PÉRIÉ, F. POISSON, D. RODRIGUE, S. ROULEAU, R. SIRON, W. THUILLER et L. VESCOVI (2010). "The CC-Bio project: Studying the effects of climate change on Quebec biodiversity", *Diversity*, 2(11), 1181-1204, [En ligne], <https://doi.org/10.3390/d2111181>.
- BIRON, P., T. BUFFIN-BÉLANGER, M. LAROCQUE, S. DEMERS, T. OLSEN, M.-A. OUELLET, G. CHONÉ, C.-A. CLOUTIER et M. NEEDELMAN (2013). *Espace de liberté: un cadre de gestion intégrée pour la conservation des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques*. *Projet Ouranos*, 124, [En ligne], <https://archipel.uqam.ca/7933/1/Bironetal2013.pdf>.

- BROOK, B. W., N. S. SODHI et J. A. BRADSHAW. (2008). "Synergies among extinction drivers under global change", *Trends in Ecology and Evolution*, 23(8), 453-460, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.03.011>.
- BURTON, A. C., D. HUGGARD, E. BAYNE, J. SCHIECK, P. SÓLYMOS, T. MUHLY, D. FARR et S. BOUTIN (2014). "A framework for adaptive monitoring of the cumulative effects of human footprint on biodiversity", *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(6), 3605-3617, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3643-7>.
- BUSH HERITAGE AUSTRALIA, A. DERMER, G. NORRIS, C. DOUGHERTY et A. STEWART (2015). *Case Study CMP - CCNet Adaptive Management Case Study Template*, 1-4 p.
- CALLAGHAN, T. V, L. O. BJÖRN, F. S. CHAPIN III, Y. CHERNOV, T. R. CHRISTENSEN, B. HUNTLEY, R. IMS, M. JOHANSSON, D. J. RIEDLINGER et S. JONASSON (2005). "Arctic tundra and polar desert ecosystems", *Arctic Climate Impact Assessment*, 1, 243-352.
- CARVALHO, S. B., J. C. BRITO, E.G. CRESPO, M. E. WATTS et H. P. POSSINGHAM (2011). "Conservation planning under climate change: Toward accounting for uncertainty in predicted species distributions to increase confidence in conservation investments in space and time", *Biological Conservation*, 144(7), 2020-2030, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.04.024>.
- CDPNQ (2023). *Extractions de la carte interactive sur les espèces en situation précaire*. Mai 2023. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), Québec, [En ligne], <https://www.quebec.ca/gouvernement/gouvernement-ouvert/transparence-performance/indicateurs-statistiques/donnees-especes-situation-precaire> (Consulté le 16 mai 2023).
- CHEN, I.-C., J. K. HILL, R. OHLEMÜLLER, D. B. ROY et C. D. THOMAS (2011). "Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming", *Science*, 333(6045), 1024 LP-1026, [En ligne], <https://doi.org/10.1126/science.1206432>.
- CHIARUCCI, A., G. BACARO et S. M. SCHEINER (2011). "Old and new challenges in using species diversity for assessing biodiversity", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1576), 2426-2437.
- CHRISTENSEN, T., T. BARRY, J. J. TAYLOR, M. DOYLE, M. ARONSSON, J. BRAA, C. BURNS, C. COON, S. COULSON, C. CUYLER, K. FALK, S. HEIDMARSSON, P. KULMALA, J. LAWLER, D. MACNEARNEY, V. RAVOLAINEN, P. A. SMITH, M. SOLOVIEV et N. M. SCHMIDT (2020). "Developing a circumpolar programme for the monitoring of Arctic terrestrial biodiversity", *Ambio*, 49(3), 655-665, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01311-w>.
- COLLS, A., N. ASH et N. IKKALA (2009). "Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change", *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*, 16 p. [En ligne], <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2009-049.pdf>
- COMITÉ D'EXPERTS SUR L'AMÉNAGEMENT ÉCOSYSTÉMIQUE DES FORÊTS ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (2017). *L'aménagement écosystémique des forêts dans le contexte des changements climatiques. Rapport du comité d'experts*. Québec, 29 p.
- COMMONWEALTH OF AUSTRALIA (2017). *Recovery Plan for the Giant Freshwater Crayfish (Astacopsis gouldi)*. Department of the Environment and Energy, Tasmanian Government, 42 p.

- DAWSON, T. P., S. T. JACKSON, I. H. HOUSE, I. C. PRENTICE et G. M. MACE (2011). "Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate", *Science*, 332(6025), p. 53-58. Corrections and Clarifications, *Science*, 332(6030), p. 664, [En ligne], <https://doi.org/10.1126/science.332.6030.664-b>
- DÉNOMMÉE, N. (2018). *Situation du chardon de Mingan (Cirsium scariosum var. scariosum) à la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan – 1^{er} mars 2018*. Parcs Canada, Unité de gestion de Mingan, 7 p.
- DIAZ, S., J. SETTELE, E. BRONDIZIO, H. T. NGO, M. GUEZE, J. AGARD, A. ARNETH, P. BALVANERA, K. BRAUMAN, S. BUTCHART, K. CHAN, L. GARIBALDI, K. ICHII, J. LIU, S. M. SUBRAMANIAN, G. MIDGLEY, P. MILOSLAVICH, Z. MOLNAR, D. OBUA, A. PFAFF, S. POLASKY, A. PURVIS, J. RAZZAQUE, B. REYERS, R. ROY CHOWDHURY, Y. J. SHIN, I. J. VISSEN-HAMAKERS, K. J. WILLIS et C. N. ZAVAS (éditeurs) (2019). "Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services", dans *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 56 p.
- DIMITRAKOPOULOS, P. G., et A. Y. TROUMBIS (2018). "Biotopes", *Encyclopedia of Ecology*, 1, 359-365, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10923-6>.
- DOBIESZ, N. E., et N. P. LESTER (2009). "Changes in mid-summer water temperature and clarity across the Great Lakes between 1968 and 2002", *Journal of Great Lakes Research*, 35(3), 371-384, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.05.002>.
- DONALD, P. F., et A. D. EVANS (2006). "Habitat connectivity and matrix restoration: the wider implications of agri-environment schemes", *Journal of Applied Ecology*, 43(2), 209-218, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01146.x>.
- DOSSENA, M., G. YVON-DUROCHER, J. GREY, J. M. MONTOYA, D. M. PERKINS, M. TRIMMER et G. WOODWARD (2012). "Warming alters community size structure and ecosystem functioning", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1740), 3011-3019.
- DOWNING, A., et A. CUERRIER (2011). "A synthesis of the impacts of climate change on the First Nations and Inuit of Canada", *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 10(1), 57-70.
- DUFFY, J. E. (2003). "Biodiversity loss, trophic skew and ecosystem functioning", *Ecology Letters*, 6(8), 680-687.
- DUNN, R. R., N. C. HARRIS, R. K. COLWELL, L. P. KOH et N. S. SODHI (2009). "The sixth mass coextinction: are most endangered species parasites and mutualists?", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1670), 3037-3045, [En ligne], <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0413>.
- DUPRAS, J., J.-P. REVERËT et J. HE (2013). *L'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changements climatiques. Un guide méthodologique pour une augmentation de la capacité à prendre des décisions d'adaptation*. Ouranos, Montréal, 218 p.
- DY, G., M. MARTEL, M. JOLY et G. DUFOUR-TREMBLAY (2018). *Les plans régionaux des milieux humides et hydriques : démarche de réalisation*. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de la protection des espèces et des milieux naturels et Direction de l'agroenvironnement et du milieu hydrique, Québec, 75 p.

- ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DES SALAMANDRES DE RUISSEAUX DU QUÉBEC (2021). *Plan de rétablissement de la salamandre sombre des montagnes (Desmognathus ochrophaeus) au Québec, 2021-2031*, produit pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, [En ligne], https://mffp.gouv.qc.ca/documents/faune/PL_retablissement_salamandre-pourpre_2021-2031.pdf.
- FODEN, E. W. B., et B. E. YOUNG (2016). *IUCN SSC Guidelines for assessing species' vulnerability to climate change*. Version 1.0. In *Guidelines for assessing species' vulnerability to climate change* (Issue 59), [En ligne], <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2016.ssc-op.59.en>
- FOURNIER, R., M. POULIN, J.-P. REVÉRET, A. ROUSSEAU et J. THÉAU (2013). *Outils d'analyses hydrologique, économique et spatiale des services écologiques procurés par les milieux humides des basses terres du Saint-Laurent : adaptations aux changements climatiques. Rapport final*. 114 p., [En ligne], <https://espace.inrs.ca/id/eprint/2409/1/R001543.pdf>.
- FRANCŒUR, X. W. (2012). *Effets des changements climatiques sur la pénologie printanière de l'avifaune du Québec*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 78 p., [En ligne], https://www.uqar.ca/uqar/recherche/unites_de_recherche/chaire_biodiversite_nordique/publications/msc_francoeur_2012.pdf.
- GALLAGHER, R. V., L. HUGHES et M. R. LEISHMAN (2013). "Species loss and gain in communities under future climate change: consequences for functional diversity", *Ecography*, 36(5), 531-540, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07514.x>.
- GALLAGHER, R. V., R. O. MAKINSON, P. M. HOGBIN et N. HANCOCK (2015). "Assisted colonization as a climate change adaptation tool", *Austral Ecology*, 40(1), 12-20, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/aec.12163>
- GENDREAU, Y., A. LACHANCE, H. GILBERT, N. CASAJUS et D. BERTEAUX (2016). *Analyse des effets des changements climatiques sur les plantes vasculaires menacées ou vulnérables du Québec*. Bureau d'écologie appliquée, Québec, 39 p. + 5 annexes.
- GENDREAU, Y., C. A. GAGNON, D. BERTEAUX et F. PELLETIER (2013). « Cogestion adaptative des parcs du Nunavik dans un contexte de changements climatiques », *Téoros*, 31(1), 61-71, [En ligne], <https://doi.org/10.7202/1020710ar>.
- GENDREAU, Y., A. LACHANCE, M. RICARD, H. GILBERT, N. CASAJUS et D. BERTEAUX (2018). « Changements climatiques : défis et perspectives pour les plantes vasculaires en situation précaire au Québec », *Le Naturaliste canadien*, 142(1), 16-35, [En ligne], <https://doi.org/10.7202/1042011ar>
- GIEC (2002). *Les changements climatiques et la biodiversité*. Document technique V du GIEC, 75 p., [En ligne], <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-fr.pdf>.
- GIEC (2018). *Global warming of 1.5 ° C – An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. IPCC, Intergovernmental panel on climate change. October 2018, 616 p., [En ligne], <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- GILLSON, L., T. P. DAWSON, S. JACK et M. A. MCGEOCH (2013). "Accommodating climate change contingencies in conservation strategy", *Trends in Ecology and Evolution*, 28(3), 135-142, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.008>.

- GLICK, P., B. A. STEIN et N. A. EDELSON (2011). *Scanning the conservation horizon: A guide to climate change vulnerability assessment*. National Wildlife Federation, Washington, D.C., 168 p.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2012). *Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques 2013-2020 - Un effort collectif pour renforcer la résilience de la société québécoise*. 41 p., [En ligne], https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/plan_action/strategie-adaptation2013-2020.pdf.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2020). *Plan pour une économie verte 2030*. Politique-cadre d'électrification et de lutte contre les changements climatiques. Gouvernement du Québec, Québec, 116 p.
- GROUPE DE TRAVAIL SUR L'ADAPTATION ET LA BIODIVERSITÉ (2018). *Rapport de situation sur l'adaptation*. Canada's Climate Change Adaptation Platform. 45 p., [En ligne], https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/prog-ecobio-rapport_de_situation.pdf.
- GROUPE DE TRAVAIL SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DU CONSEIL CANADIEN DES PARCS. (2013). *Parcs et aires protégées du Canada : aider le Canada à faire face au changement climatique*. Agence Parcs Canada au nom du Conseil canadien des parcs. 52 p., [En ligne], https://publications.gc.ca/collections/collection_2018/pc/R62-434-2013-fra.pdf.
- GRUEBER, C. E., E. E. REID-WAINSCOAT, S. FOX, K. BELOV, D. M. SHIER, C. J. HOGG et D. PEMBERTON (2017). "Increasing generations in captivity is associated with increased vulnerability of Tasmanian devils to vehicle strike following release to the wild", *Scientific Reports*, 7(1), 1-7, [En ligne], <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02273-3>.
- GUERRANT, E. O. J., K. HAVENS et M. MAUNDER (2004). *Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild* (vol. 3). Island Press, 536 p.
- GUNDERSON, L. H. (2000). "Ecological Resilience – In Theory and Application", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 425-439, [En ligne], <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425>.
- GUNDERSON, L. H., C. R. ALLEN et C.S. HOLLING (2012). *Foundations of ecological resilience*. Island Press, 496 p.
- HÄLLFORS, M. H., S. AIKIO et L. E. SCHULMAN (2017). "Quantifying the need and potential of assisted migration", *Biological Conservation*, 205, 34-41, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.023>.
- HANES, C. C., X. WANG, P. JAIN, M.-A. PARISIEN, J. M. LITTLE et M. D. FLANNIGAN (2018). "Fire-regime changes in Canada over the last half century", *Canadian Journal of Forest Research*, 49(3), 256-269, [En ligne], <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0293>.
- HANNAH, L. (2011). *Chapter 10 - Insights from Experimentation* (L. B. T.-C. C. B. Hannah (ed.), p. 209-231). Academic Press, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374182-0.00010-8>.
- HANNAH, L., et L. HANSEN (2005). "Designing landscapes and seascapes for change", *Climate Change and Biodiversity*, Yale University Press, New Haven, Connecticut, 329-341.
- HARDING, G., R. A. GRIFFITHS et L. PAVAJEAU (2016). "Developments in amphibian captive breeding and reintroduction programs", *Conservation Biology*, 30(2), 340-349, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/cobi.12612>

- HARRIS, J. A., R. J. HOBBS, E. HIGGS et J. ARONSON (2006). "Ecological restoration and global climate change", *Restoration Ecology*, 14(2), 170-176.
- HELLER, N. E., et E.S. ZAVALA (2009). "Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations", *Biological Conservation*, 142(1), 14-32, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
- HENNIGS, R., S. BLEAU et C. LARRIVÉE (2017). *État des connaissances relatives aux changements climatiques et à l'adaptation dans le territoire Eeyou Istchee Baie-James*. Rapport présenté au Comité consultatif pour l'environnement de la Baie-James, Montréal, Ouranos, 64 p. + annexes, [En ligne], https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-enord-bleau-rapportfinal_1.pdf.
- HENSON, A., D. WILLIAMS, J. DUPAIN, H. GICHOHI et P. MURUTHI (2009). "The Heartland Conservation Process: enhancing biodiversity conservation and livelihoods through landscape-scale conservation planning in Africa", *Oryx*, 43(4), 508-519, [En ligne], <https://doi.org/DOI:10.1017/S0030605309990536>.
- HEWITT, N., N. KLENK, A. L. SMITH, D. R. BAZELY, N. YAN, S. WOOD, J. I. MACLELLAN, C. LIPSIG-MUMME et I. HENRIQUES (2011). "Taking stock of the assisted migration debate", *Biological Conservation*, 144(11), 2560-2572.
- HILL, D., et R. ARNOLD (2012). "Building the evidence base for ecological impact assessment and mitigation", *Journal of Applied Ecology*, 49(1), 6-9.
- HODGSON, D., J. L. MCDONALD et D. J. HOSKEN (2015). "What do you mean, "resilient"?", *Trends in Ecology and Evolution*, 30(9), 503-506, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.010>.
- HOOPER, D. U., E. C. ADAIR, B. J. CARDINALE, J. E. K. BYRNES, B. A. HUNGATE, K. L. MATULICH, A. GONZALEZ, J. E. DUFFY, L. GAMFELDT et M. I. O'CONNOR (2012). "A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change", *Nature*, 486(7401), 105-108.
- HUNTER, M. L. (2007). "Climate change and moving species: furthering the debate on assisted colonization", *Conservation Biology*, 21(5), 1356-1358.
- IUCN/SSC (2014). *IUCN Species Survival Commission Guidelines on the Use of Ex Situ Management for Species Conservation*. Version 2.0, Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission. 15 p., [En ligne], <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-064.pdf>.
- IUCN (2012). *Lignes directrices de l'UICN sur les réintroductions et les autres transferts aux fins de la sauvegarde*. Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, Comité permanent, 32^e réunion, Strasbourg, 27-30 novembre 2012, 38 p., [En ligne], <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2013-009-Fr.pdf>.
- JEPPESEN, E., B. MOSS, H. BENNION, L. CARVALHO, L. DEMEESTER, H. FEUCHTMAYR, N. FRIBERG, M. O. GESSNER, M. HEFTING et T. L. LAURIDSEN (2010). "Interaction of climate change and eutrophication", *Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems*, 119-151.
- JONES, K. R., J. E. M. WATSON, H. P. POSSINGHAM et C. J. KLEIN (2016). "Incorporating climate change into spatial conservation prioritisation: A review", *Biological Conservation*, 194, 121-130, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.008>.
- KEULARTZ, J. (2015). "Captivity for Conservation? Zoos at a Crossroads", *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 28(2), 335-351, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s10806-015-9537-z>.

- KILPATRICK, A. M. (2006). "Facilitating the evolution of resistance to avian malaria in Hawaiian birds", *Biological Conservation*, 128(4), 475-485.
- KITTEL, G., C. CADRIN, D. MARKOVIC et T. STEVENS (2011a). "Central Interior Ecoregional Assessment: Terrestrial ecological conservation planning", *BC Journal of Ecosystems and Management*, 12(1), 54-71.
- KITTEL, T. G. F., S. G. HOWARD, H. HORN, G. M. KITTEL, M. FAIRBARNES et P. IACHETTI (2011b). "A vulnerability-based strategy to incorporate the British Columbia Central Interior planning: Framework and case study for climate change in regional conservation Timothy", *BC Journal of Ecosystems and Management*, 12(1), 7-35.
- KOLLMANN, J., S. T. MEYER, R. BATEMAN, T. CONRADI, M. M. GOSSNER, M. DE SOUZA MENDONÇA, G. W. FERNANDES, J. M. HERMANN, C. KOCH, S. C., MÜLLER, Y. OKI, G. E. OVERBECK, G. B. PATERNO, M. F. ROSENFELD, T. S. P. TOMA et W. W. WEISSER (2016). "Integrating ecosystem functions into restoration ecology – recent advances and future directions", *Restoration Ecology*, 24(6), 722-730, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/rec.12422>.
- LANG, L., P. GRENIER et R. BROWN (2018). "Climatic drivers", dans *Adaptation Actions for a Changing Arctic: Perspectives from the Baffin Bay/Davis Strait Region* (p. 39-76). Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).
- LAUBER, T. B., R. C. STEDMAN, D. J. DECKER et B. A. KNUTH (2011). "Linking Knowledge to Action in Collaborative Conservation", *Conservation Biology*, 25(6), 1186-1194, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01742.x>.
- LAVOIE, C., et D. LACHANCE (2006). "A new herbarium-based method for reconstructing the phenology of plant species across large areas", *American Journal of Botany*, 93(4), 512-516, [En ligne], <https://doi.org/10.3732/ajb.93.4.512>.
- LEMIEUX, C. J., T. J. BEECHEY et P. A. GRAY (2011). "Prospects for Canada's protected areas in an era of rapid climate change", *Land Use Policy*, 28(4), 928-941, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.03.008>.
- LEMIEUX, C. J., et D. SCOTT (2005). "Climate change and protected area policy and planning in Canada", *Forestry Chronicle*, 81(5), 696-703, [En ligne], <https://pubs.cif-ifc.org/doi/pdf/10.5558/tfc81696-5>
- LESCOP-SINCLAIR, K., et S. PAYETTE (1995). "Recent Advance of the Arctic Treeline Along the Eastern Coast of Hudson Bay", *Journal of Ecology*, 83(6), 929-936, [En ligne], <https://doi.org/10.2307/2261175>.
- LIMOGES, B., G. BOISSEAU, L. GRATTON et R. KASISI (2013). « Terminologie relative à la conservation de la biodiversité in situ », *Le Naturaliste canadien*, 137(2), 21-27.
- LOVEJOY, T. E., et L. HANNAH (2005). "Conservation with a changing climate", dans *Climate change and biodiversity* (vol. 325, p. 328). Yale University Press, New Haven, Connecticut.
- MALCOM, J. R., C. LIU, R. P. NEILSON, L. HANSEN et L. HANNAH (2006). "Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots", *Conservation Biology*, 20(2), 538-548, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00364.x>.
- MALHI, Y., J. FRANKLIN, N. SEDDON, M. SOLAN, M. G. TURNER, C. B. FIELD et N. KNOWLTON (2020). "Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190104, [En ligne], <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>.

- MAWDSLEY, J. R., R. O'MALLEY et D. S. OJIMA (2009). "A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation", *Conservation Biology*, 23(5), 1080-1089, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x>
- MCDONALD, J. (2011). "The role of law in adapting to climate change", *WIREs Climate Change*, 2(2), 283-295, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wcc.96>.
- MCDONALD, J., P. C. MCCORMACK, M. DUNLOP, D. FARRIER, J. FEEHELY, L. GILFEDDER, A. J. HOBDAV et A. E. RESIDE (2019). "Adaptation pathways for conservation law and policy", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(1), 1-12, [En ligne], <https://doi.org/10.1002/wcc.555>.
- MCLACHLAN, J. S., J. J. HELLMANN et M. W. SCHWARTZ (2007). "A framework for debate of assisted migration in an era of climate change", *Conservation Biology*, 21(2), 297-302.
- MCMAHON, S. M., S. P. HARRISON, W. S. ARMBRUSTER, P. J. BARTLEIN, C. M. BEALE, M. E. EDWARDS, J. KATTGE, G. MIDGLEY, X. MORIN et I. C. PRENTICE (2011). "Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity", *Trends in Ecology et Evolution*, 26(5), 249-259, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.02.012>.
- MENZ, M. H. M., K. W. DIXON et R. J. HOBBS (2013). "Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration", *Science*, 339(6119), 526-527.
- MELCC (2022). *Rapport sur la contribution du Québec au plan stratégique de la convention des Nations unies sur la diversité biologique 2011-2020 et ses objectifs d'Aichi*. Gouvernement du Québec, Québec, 163 p.
- MFFP (2021). *PROJET Stratégie d'adaptation de la gestion et de l'aménagement des forêts aux changements climatiques*. 37 p. [En ligne] [\[https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4722160\]](https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4722160) (Consulté en décembre 2021).
- MICHAUD, G. (2019). *Cardinal rouge*, dans *Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional*. M. Robert, M.-H. Haché, D. Lepage et A.R. Couturier, dir. (pp. 582-583). Regroupement Québec oiseaux, Service canadien de la faune (Environnement et Changement climatique Canada) et Étude d'oiseaux Canada.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). *Ecosystems and human well-being, Health synthesis* (vol. 5). Island press United States of America.
- MILLER, J. R., et B. T. BESTELMEYER (2016). "What's wrong with novel ecosystems, really?", *Restoration Ecology*, 24(5), 577-582, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/rec.12378>.
- MINTEER, B. A., et J. P. COLLINS (2013). "Ecological ethics in captivity: Balancing values and responsibilities in zoo and aquarium research under rapid global change", *ILAR Journal*, 54(1), 41-51, [En ligne], <https://doi.org/10.1093/ilar/ilt009>.
- MONAHAN, W. B., et D. M. THEOBALD (2018). « Climate change adaptation benefits of potential conservation partnerships », *PLoS ONE*, 13(2), 1-14, [En ligne], <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191468>.
- MOUILLOT, D., S. VILLÉGER, M. SCHERER-LORENZEN et N. W. H. MASON (2011). "Functional structure of biological communities predicts ecosystem multifunctionality", *PloS One*, 6(3), e17476.

- OURANOS (2014). *Programmation 2014-2019. Écosystèmes et biodiversité : vulnérabilités, impacts et adaptation*. 18 p., [En ligne], <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/prog-ecobio-doc.pdf>.
- OURANOS (2015). *Vers l'adaptation : synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*. Édition 2015. Ouranos, Montréal, Québec. 415 p., [En ligne], <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-12/proj-201419-synthese2015-rapportcomplet.pdf>.
- OURANOS (2019). *Plan stratégique 2020-2025*. 14 p., [En ligne], https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/apropos-collaborer-plan_strategique.pdf.
- OURANOS (2021). *Portraits climatiques*. Portail d'informations climatiques, [En ligne], <https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques> (consulté le 16 mai 2023).
- PAOLETTI, M. G. (1999). "Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 1-18.
- PARMESAN, C. (2006). "Ecological and evolutionary responses to recent climate change", *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 637-669.
- PARMESAN, C., A. WILLIAMS-ANDERSON, M. MOSKWIK, A. S. MIKHEYEV et M. C. SINGER (2015). "Endangered Quino checkerspot butterfly and climate change: Short-term success but long-term vulnerability?", *Journal of Insect Conservation*, 19(2), 185-204, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9743-4>.
- PARMESAN, C., et G. YOHE (2003). "A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems", *Nature*, 421(6918), 37-42.
- PEREIRA, H. M., S. FERRIER, M. WALTERS, G. N.GELLER, R. H. G. JONGMAN, R. J. SCHOLE, M. W. BRUFORD, N. BRUMMITT, S. H. M. BUTCHART, A.C. CARDOSO, N. C. COOPS, E. DULLOO, D. P. FAITH, J. FREYHOF, R. D. GREGORY, C. HEIP, R. HÖFT, G. HURTT, W. JETZ, D. S. KARP, M. A. MCGEOCH, D. OBURA, Y. ONODA, N. PETORELLI, B. REYERS, R. SAYRE, J. P. W. SCHARLEMANN, S. N. STUART, E. TURAK, M. WALPOLE et M. WEGMANN (2013). "Essential Biodiversity Variables", *Science*, 339(6117), 277 LP-278, [En ligne], <https://doi.org/10.1126/science.1229931>.
- PERES-NETO, P., F. BOIVIN, W.-S. LEE, S. PANDIT, J. SAMSON et A. SIMARD (2013). *Développement d'un cadre méthodologique et d'échantillonnage pour le suivi de la biodiversité en fonction des changements climatiques*. Rapport final. Ouranos. 247 p. + annexes, [En ligne], <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2023-05/proj-ant-thant-peres-rapport.pdf>
- PÉREZ, Á. A., M. M. M. MUÑOZ, K. S. PÁEZ et J. V. TRIANA (2010). "Ecosystem-based adaptation: lessons from the Chingaza massif in the high mountain ecosystem of Colombia", *Building Resilience to Climate Change: Ecosystem-Based Adaptation and Lessons from the Field*, 21-31.
- PÉRIÉ, C., S. DE BLOIS, M.-C. LAMBERT et N. CASAJUS (2014). *Effets anticipés des changements climatiques sur l'habitat des espèces arborescentes au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n. 173, 46 p.
- PERRING, M. P., R. J. STANDISH, J. N. PRICE, M. D. CRAIG, T. E. ERICKSON, K. X. RUTHROF, A. S. WHITELEY, L. E. VALENTINE et R. J. HOBBS (2015). "Advances in restoration ecology: Rising to the challenges of the coming decades", *Ecosphere*, 6(8) , [En ligne], <https://doi.org/10.1890/ES15-00121.1>.

- PHILLIPS, S. J., P. WILLIAMS, G. MIDGLEY et A. ARCHER (2008). "Optimizing dispersal corridors for the Cape proteaceae using network flow", *Ecological Applications*, 18(5), 1200-1211, [En ligne], <https://doi.org/10.1890/07-0507.1>.
- PIRES, A. P. F., D. S. SRIVASTAVA et V. F. FARJALLA (2018). "Is Biodiversity Able to Buffer Ecosystems from Climate Change? What We Know and What We Don't", *BioScience*, 68(4), 273-280, [En ligne], <https://doi.org/10.1093/biosci/biy013>.
- POESCH, M. S., L. CHAVARIE C. CHU, S. N. PANDIT et W. TONN (2016). "Climate Change Impacts on Freshwater Fishes: A Canadian Perspective", *Fisheries*, 41(7), 385-391, [En ligne], <https://doi.org/10.1080/03632415.2016.1180285>.
- POUNDS, J. A., M. R. BUSTAMANTE, L. A. COLOMA, J. A., CONSUEGRA, M. P. L. FOGDEN, P. N. FOSTER, E. LA MARCA, K. L. MASTERS, A. MERINO-VITERI et R. PUSCHENDORF (2006). "Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming", *Nature*, 439(7073), 161-167.
- PRITCHARD, D. J., J. E. FA, S. OLDFIELD et S. R. HARROP (2012). "Bring the captive closer to the wild: Redefining the role of ex situ conservation", *Oryx*, 46(1), 18-23, [En ligne], <https://doi.org/10.1017/S0030605310001766>.
- RAPINSKI, M., F. PAYETTE, O. SONNENTAG, T. M. HERRMANN, M. J. S. ROYER, A. CUERRIER, L. SIEGWART COLLIER, L. HERMANUTZ et G. GUANISH (2018). "Listening to Inuit and Naskapi peoples in the eastern Canadian Subarctic: a quantitative comparison of local observations with gridded climate data", *Regional Environmental Change*, 18(1), 189-203, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1188-3>.
- REEF RESILIENCE (2014). *Protéger les brouteurs des récifs pour permettre la récupération des récifs coralliens au Belize*, [En ligne], <https://reefresilience.org/fr/case-studies/belize-fisheries-management-2/>.
- RESIDE, A. E., N. BUTT et V. M. ADAMS (2018). "Adapting systematic conservation planning for climate change", *Biodiversity and Conservation*, 27(1), 1-29, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1442-5>.
- RICARD, M., N. BOUSQUET, A. LACHANCE et A. SIMARD (2024). *La migration assistée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques : état des connaissances et évaluation du potentiel d'utilisation pour les espèces en situation précaire au Québec*, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction générale des écosystèmes et des espèces menacées ou vulnérables, Direction principale des espèces menacées ou vulnérables, Direction des espèces fauniques menacées ou vulnérables, gouvernement du Québec, Québec, 69 p.
- RICARD, M., C. CARON, A. LACHANCE, N. BOUSQUET et A. SIMARD (2021). « La migration assistée : une option de conservation pour les espèces en situation précaire vulnérables aux changements climatiques ? », *Le Naturaliste canadien*, 145(1), 3-20, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.7202/1075814ar>
- RIST, L., B. M. CAMPBELL et P. FROST (2013). "Adaptive management: where are we now?", *Environmental Conservation*, 40(1), 5-18, [En ligne], <https://doi.org/DOI:10.1017/S0376892912000240>.
- RIVIÈRE, T., M. ARVISAIS, D. BANVILLE et M.-A. COUILLARD (2018). *Rapport sur la situation de l'omble chevalier oquassa (Salvelinus alpinus oquassa) au Québec*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune et des habitats, 50 p.

- ROBERGE, J., et P. E. R. ANGELSTAM (2004). "Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool", *Conservation Biology*, 18(1), 76-85.
- ROBILLARD, M. M., et M. G. FOX (2006). "Historical changes in abundance and community structure of warmwater piscivore communities associated with changes in water clarity, nutrients, and temperature", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(4), 798-809, [En ligne], <https://doi.org/10.1139/f05-259>.
- ROY-DUFRESNE, E., T. LOGAN, J. A. SIMON, G. L. CHMURA et V. MILLIEN (2013). "Poleward Expansion of the White-Footed Mouse (*Peromyscus leucopus*) under Climate Change: Implications for the Spread of Lyme Disease", *PLOS ONE*, 8(11), e80724, [En ligne], <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080724>.
- SALA, O. E., F. S. CHAPIN, NULL III, J. J. ARMESTO, E. BERLOW, J. BLOOMFIELD, R. DIRZO, E. HUBER-SANWALD, L. F. HUENNEKE, R. B. JACKSON, A. KINZIG, R. LEEMANS, D. M. LODGE, H. A. MOONEY, M. OESTERHELD, N. L. POFF, M. T. SYKES, B. H. WALKER, M. WALKER et D. H. WALL (2000). "Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100", *Science*, 287(5459), 1770-1774, [En ligne], <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>.
- SCHMELLER, D. S., M. BÖHM, C. ARVANITIDIS, S. BARBER-MEYER, N. BRUMMITT, M. CHANDLER, E. CHATZINIKOLAOU, M. J. COSTELLO, H. DING, J. GARCÍA-MORENO, M. GILL, P. HAASE, M. JONES, R. JUILLARD, W. E. MAGNUSSON, C. S. MARTIN, M. MCGEOCH, J.-B. MIHOUB, N. PETTORELLI, V. PROENÇA, C. PENG, E. REGAN, U. SCHMIEDEL, J.P. SIMAIKA, L. WEATHERDON, C. WATERMAN, H. XU et J. BELNAP (2017). "Building capacity in biodiversity monitoring at the global scale", *Biodiversity and Conservation*, 26(12), 2765-2790, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1388-7>.
- SCHMELLER, D. S., R. JUILLIARD, P. J. BELLINGHAM, M. BÖHM, N. BRUMMITT, A. CHIARUCCI, D. COUVET, S. ELMENDORF, D. M. FORSYTH, J. G. MORENO, R. D. GREGORY, W. E. MAGNUSSON, L. J. MARTIN, M. A. MCGEOCH, J.-B. MIHOUB, H. M. PEREIRA, V. PROENÇA, C. A. M. VAN SWAAY, T. YAHARA et J. BELNAP (2015). "Towards a global terrestrial species monitoring program", *Journal for Nature Conservation*, 25, 51-57, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnc.2015.03.003>.
- SINGH, S. K., P. R. THAWALE, J. K. SHARMA, R. K. GAUTAM, G. P. KUNDARGI et A. A. JUWARKAR (2015). "Carbon sequestration in terrestrial ecosystems", dans *Hydrogen Production and Remediation of Carbon and Pollutants* (p. 99-131). Springer.
- STEIN, B. A., A. STAUDT, M. S. CROSS, N. S. DUBOIS, C. ENQUIST, R. GRIFFIS, L. J. HANSEN, J. J. HELLMANN, J. J. LAWLER, E. J. NELSON et A. PAIRIS (2013). "Preparing for and managing change: Climate adaptation for biodiversity and ecosystems", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(9), 502-510, [En ligne], <https://doi.org/10.1890/120277>.
- STEPHENS, S. L., C. I. MILLAR et B. M. COLLINS (2010). "Operational approaches to managing forests of the future in Mediterranean regions within a context of changing climates", *Environmental Research Letters*, 5(2), 24003.
- STORK, N. E. (2010). "Re-assessing current extinction rates", *Biodiversity and Conservation*, 19(2), 357-371.
- SUSSKIND, L., A. E. CAMACHO et T. SCHENK (2012). "A critical assessment of collaborative adaptive management in practice", *Journal of Applied Ecology*, 49(1), 47-51, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02070.x>.

- TAPLEY, B., K. S. BRADFIELD, C. MICHAELS et M. BUNGARD (2015). "Amphibians and conservation breeding programmes: do all threatened amphibians belong on the ark?", *Biodiversity and Conservation*, 24(11), 2625-2646, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0966-9>.
- THOM, R. M., H. L. DIEFENDERFER, J. VAVRINEC et A. B. BORDE (2012). "Restoring Resiliency: Case Studies from Pacific Northwest Estuarine Eelgrass (*Zostera marina* L.) Ecosystems", *Estuaries and Coasts*, 35(1), 78-91, [En ligne], <https://doi.org/10.1007/s12237-011-9430-6>.
- THOMAS, C. D., J. K. HILL, B. J. ANDERSON, S. BAILEY, C. M. BEALE, R. B. BRADBURY, C. R. BULMAN, H. Q. P. CRICK, F. EIGENBROD, H. M. GRIFFITHS, W. E. KUNIN, T. H. OLIVER, C. A. WALMSLEY, K. WATTS, N. T. WORSFOLD et T. YARDLEY (2011). "A framework for assessing threats and benefits to species responding to climate change", *Methods in Ecology and Evolution*, 2(2), 125-142, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00065.x>.
- THUILLER, W., S. LAVOREL, M. T. SYKES et M. B. ARAÚJO (2006). "Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe", *Diversity and Distributions*, 12(1), 49-60, [En ligne], <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00216.x>.
- TIMPANE-PADGHAM, B. L., T. BEECHIE et T. KLINGER (2017). "A systematic review of ecological attributes that confer resilience to climate change in environmental restoration", *PLoS ONE*, 12(3), 1-23, [En ligne], <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173812>.
- TINGLEY, M. W., E. S. DARLING et D. S. WILCOVE (2014). "Fine-and coarse-filter conservation strategies in a time of climate change", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1322(1), 92-109.
- TOMPKINS, E. L., et W. N. ADGER (2004). "Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change?", *Ecology and Society*, 9(2), [En ligne], <https://doi.org/10.5751/ES-00667-090210>.
- TOUGAS-TELLIER, M., J. MORIN, D. HATIN et C. LAVOIE (2015). "Freshwater wetlands: Fertile grounds for the invasive *Phragmites australis* in a climate change context", *Ecology and Evolution*, 5(16), 3421-3435.
- UNESCO (2000). *Man and the Biosphere Programme (MAB)*, [En ligne], <https://en.unesco.org/mab>.
- UQAR (2017). *Projet Résilience côtière*, En ligne], <https://ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere>.
- VAN VALKENGOED, A. M., et L. STEG (2019). "Meta-analyses of factors motivating climate change adaptation behaviour", *Nature Climate Change*, 9(2), 158-163, [En ligne], <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0371-y>.
- VIOLLE, C., M.-L. NAVAS, D. VILE, E. KAZAKOU, C. FORTUNEL, I. HUMMEL et E. GARNIER (2007). "Let the concept of trait be functional!", *Oikos*, 116(5), 882-892, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>.
- WALTHER, G.-R., A. ROQUES, P. E. HULME, M. T. SYKES, P. PYŠEK, I. KÜHN, M. ZOBEL, S. BACHER, Z. BOTTA-DUKAT et H. BUGMANN (2009). "Alien species in a warmer world: risks and opportunities", *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12), 686-693.
- WATSON, R. T. (2005). "Turning science into policy: challenges and experiences from the science-policy interface", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 471-477.

- WEISKOPF, S. R., M. A. RUBENSTEIN, L. G. CROZIER, S. GAICHAS, R. GRIFFIS, J. E. HALOFSKY, K. J. W. HYDE, T. L. MORELLI, J. T. MORISETTE, R. C. MUÑOZ, A. J. PERSHING, D. L. PETERSON, R. POUDEL, M. D. STAUDINGER, A. E. SUTTON-GRIER, L. THOMPSON, J. VOSE, J. F. WELTZIN et K. P. WHYTE (2020). "Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States", *Science of the Total Environment*, 733, [En ligne], <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>.
- WHITED, D., S. GALATOWITSCH, J. R. TESTER, K. SCHIK, R. LEHTINEN et J. HUSVETH (2000). "The importance of local and regional factors in predicting effective conservation: Planning strategies for wetland bird communities in agricultural and urban landscapes", *Landscape and Urban Planning*, 49(1-2), 49-65.
- WILLIAMS, S. E., L. P. SHOO, J. L. ISAAC, A. A. HOFFMANN et G. LANGHAM (2008). "Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change", *PLoS Biol*, 6(12), e325.
- WILLIS, S. G., J. K. HILL, C. D. THOMAS, D. B. ROY, R. FOX, D. S. BLAKELEY et B. HUNTLEY (2009). "Assisted colonization in a changing climate: a test-study using two U.K. butterflies", *Conservation Letters*, 2(1), 46-52, [En ligne], <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00043.x>.
- WINTLE, B. A., S. A. BEKESSY, D. A. KEITH, B. W. VAN WILGEN, M. CABEZA, B. SCHRÖDER, S. B. CARVALHO, A. FALCUCCI, L. MAIORANO et T. J. REGAN (2011). "Ecological-economic optimization of biodiversity conservation under climate change", *Nature Climate Change*, 1(7), 355-359.
- WOOD, S. A., D. S. KARP, F. DECLERCK, C. KREMEN, S. NAEEM et C. A. PALM (2015). "Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services", *Trends in Ecology & Evolution*, 30(9), 531-539, [En ligne], <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.013>.
- WORBOYS, G. L., W. L. FRANCIS et M. LOCKWOOD (2011). "Connectivity Conservation Management: A Global Guide – Edited by Graeme L Worboys, Wendy L Francis and Michael Lockwood", *The Geographical Journal*, 177(3), 289, [En ligne], <https://www.routledge.com/Connectivity-Conservation-Management-A-Global-Guide/Worboys-Francis-Lockwood/p/book/9781844076048>
- YOCCOZ, N. G., J. D. NICHOLS et T. BOULINIER (2001). "Monitoring of biological diversity in space and time", *Trends in Ecology & Evolution*, 16(8), 446-453.



COOP-ECOLOGIE.COM