

La migration assistée : une option de conservation pour les espèces en situation précaire vulnérables aux changements climatiques ?

Marylène Ricard, Charlie Caron, Audrey Lachance, Nicolas Bousquet et Anouk Simard

Volume 145, numéro 1, printemps 2021

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1075814ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1075814ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

1929-3208 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Ricard, M., Caron, C., Lachance, A., Bousquet, N. & Simard, A. (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. <https://doi.org/10.7202/1075814ar>

Résumé de l'article

Des études récentes révèlent que plusieurs espèces étendent progressivement leur aire de répartition vers le nord en réponse aux changements climatiques. Par sa position nordique en Amérique du Nord, le Québec pourrait constituer un refuge climatique pour plusieurs d'entre elles. Cet article documente le potentiel d'utilisation et l'éventuelle pertinence de la migration assistée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques pour les espèces en situation précaire au Québec. Une revue de littérature décrit les cas de migration assistée répertoriés dans le monde ainsi que les bénéfices, risques et contraintes associés à cette option. Les critères pour le choix des espèces candidates comprennent plusieurs traits biologiques fréquemment rencontrés chez les espèces en situation précaire. L'analyse de trois études de cas, celui de la salamandre pourpre (*Gyrinophilus porphyriticus*), du chardon écailleux (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*) et de la couleuvre brune (*Storeriadekayi*), a permis de cibler le chardon écailleux comme candidat à la migration assistée. Notre démarche propose différentes recommandations sur l'utilisation de cette mesure d'adaptation. Elle souligne la nécessité d'amorcer une discussion entre chercheurs, organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, et le besoin de lignes directrices provinciales encadrant cette pratique afin d'améliorer les mesures de conservation dans un contexte de changements climatiques.

La migration assistée : une option de conservation pour les espèces en situation précaire vulnérables aux changements climatiques ?

Marylène Ricard, Charlie Caron, Audrey Lachance, Nicolas Bousquet et Anouk Simard

Résumé

Des études récentes révèlent que plusieurs espèces étendent progressivement leur aire de répartition vers le nord en réponse aux changements climatiques. Par sa position nordique en Amérique du Nord, le Québec pourrait constituer un refuge climatique pour plusieurs d'entre elles. Cet article documente le potentiel d'utilisation et l'éventuelle pertinence de la migration assistée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques pour les espèces en situation précaire au Québec. Une revue de littérature décrit les cas de migration assistée répertoriés dans le monde ainsi que les bénéfices, risques et contraintes associés à cette option. Les critères pour le choix des espèces candidates comprennent plusieurs traits biologiques fréquemment rencontrés chez les espèces en situation précaire. L'analyse de trois études de cas, celui de la salamandre pourpre (*Gyrinophilus porphyriticus*), du chardon écaillé (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*) et de la couleuvre brune (*Storeria dekayi*), a permis de cibler le chardon écaillé comme candidat à la migration assistée. Notre démarche propose différentes recommandations sur l'utilisation de cette mesure d'adaptation. Elle souligne la nécessité d'amorcer une discussion entre chercheurs, organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, et le besoin de lignes directrices provinciales encadrant cette pratique afin d'améliorer les mesures de conservation dans un contexte de changements climatiques.

MOTS CLÉS : adaptation, colonisation assistée, espèces menacées, réchauffement climatique, vulnérabilité

Abstract

Recent studies show that many species are gradually expanding their range northward in response to climate change. Because of its northerly location in North America, Quebec (Canada) could offer a potential climate refugium for a number of these. This article documents the potential for, and possible pertinence of, using assisted migration as an adaptation measure and a means of bypassing the threats posed by climate change for species at risk in Quebec. It provides a literature review of cases of assisted migration from around the world, highlighting the associated benefits, risks and constraints of this option. The criteria for identifying suitable candidate species include several biological traits frequently seen in species at risk. The analysis of three case studies, that of the spring salamander (*Gyrinophilus porphyriticus*), meadow thistle (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*) and brown snake (*Storeria dekayi*), identified the meadow thistle as a suitable candidate for assisted migration. Various recommendations are provided regarding the use of this approach, including the need to initiate discussion between researchers, governmental and non-governmental organizations, and to propose provincial guidelines for the use of this practice as a means of improving conservation efforts in the face of climate change.

KEYWORDS: assisted colonization, climate adaptation, endangered species, global warming, vulnerability

Introduction

C'est en 1985, dans un article traitant des impacts appréhendés de l'effet de serre sur la biodiversité des aires protégées, que Peters et Darling (1985) proposèrent pour la première fois la migration assistée, c'est-à-dire le déplacement volontaire d'espèces vers de nouveaux habitats propices, comme mesure d'adaptation aux changements climatiques. Quelques décennies plus tard, les études révèlent que le réchauffement du climat est un enjeu des plus préoccupants, et déjà on observe que l'aire de répartition d'un grand nombre d'espèces progresse vers le nord et en altitude (Chen et collab., 2011). Le Québec, par sa position nordique au sein du continent nord-américain, est défini comme un refuge climatique potentiel pour une multitude d'espèces fauniques et floristiques (Berteaux et collab., 2018). Dans ce contexte, la migration assistée devient alors une option de conservation, audacieuse certes, mais qui prend tout son sens.

Si la migration assistée est parfois considérée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques pour certaines espèces (p. ex. : Hällfors et collab., 2016), elle demeure vivement débattue, notamment en raison des risques qu'elle

Marylène Ricard (biol., M. Sc.) est biologiste spécialisée en gestion de la faune au Bureau d'écologie appliquée.

marylene.ricard@coop-ecologie.com

Charlie Caron (C. E. Env.) est technicienne en bioécologie au Bureau d'écologie appliquée.

Audrey Lachance (techn., DEC) est technicienne spécialisée en botanique au Bureau d'écologie appliquée.

Nicolas Bousquet (biol., B. Sc.) est chargé de projets au Conseil de gouvernance de l'eau des bassins versants de la rivière Saint-François (COGESAF).

Anouk Simard (biol., Ph. D.) est chercheuse en conservation de la biodiversité au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec.

comporte (Hewitt et collab., 2011). Encore aujourd'hui, son application reste marginale et peu documentée, et il est difficile de savoir s'il s'agit d'une option de conservation appropriée. D'une part, un légitime principe de précaution incite à éviter l'utilisation d'une telle pratique. En contrepartie, la migration assistée est une option qui pourrait offrir une unique chance de survie à des espèces en situation précaire fortement menacées par les effets des changements climatiques, et qui pourrait s'avérer être une solution essentielle dans le futur pour préserver la biodiversité (UICN, 2012).

Cet article vise à documenter le potentiel d'utilisation de la migration assistée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques pour les espèces menacées ou vulnérables. L'objectif est d'évaluer s'il s'agit d'une option valable et réaliste et, plus spécifiquement, d'une mesure d'adaptation adéquate pour la conservation des espèces en situation précaire au Québec. Le principe de précaution suggère qu'il est généralement préférable d'éviter une telle pratique. Toutefois, nous tenterons d'évaluer si dans certains cas les avantages peuvent être supérieurs aux risques. Afin d'évaluer la valeur de cette hypothèse, nous proposons de dresser un portrait des connaissances actuelles incluant une revue de la terminologie, des exemples documentés dans le monde ainsi qu'une synthèse des bénéfices, risques et contraintes liés à l'application de la migration assistée. Nous abordons également les critères et cadres décisionnels ainsi que les lignes directrices associées à la réalisation de tout projet de migration assistée. De façon plus concrète, nous évaluons le potentiel d'utilisation à travers trois études de cas, soit celles de la salamandre pourpre (*Gyrinophilus porphyriticus*), du chardon écaillé (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*) et de la couleuvre brune (*Storeria dekayi*). Enfin, le lecteur trouvera une série de recommandations pouvant servir à évaluer ou à planifier de potentiels projets de migration assistée, advenant qu'il s'agisse d'une solution préconisée pour l'adaptation aux changements climatiques de certaines espèces en situation précaire au Québec.

La migration assistée comme option de conservation

Une revue de littérature a été effectuée afin de relever les cas de migration assistée répertoriés dans le monde, les bénéfices, risques et contraintes associés ainsi que les critères d'identification des espèces candidates. Cette recherche a été effectuée en octobre 2018 sur le *Web of sciences*, sans restriction géographique ou temporelle, en utilisant les mots clés et opérateurs suivants : « *assisted migration* » ou « *assisted colonization* ». Cette recherche a permis de répertorier 597 articles. L'ensemble des titres ont été lus, ainsi que les résumés des publications potentiellement pertinentes. Ces dernières étaient conservées et parcourues afin de trouver d'éventuelles références supplémentaires. Quelques rapports et articles ont également été partagés par les experts qui ont été contactés dans le cadre du projet de rédaction. L'ensemble du processus a mené à l'identification de 192 publications pertinentes.

Utilisation historique

L'utilisation de la migration assistée (voir définition dans l'encadré) à des fins de conservation a probablement débuté à la fin du 19^e siècle, alors que le conservateur Richard Henry tentait d'introduire sur différentes îles de la Nouvelle-Zélande le strigops kakapo (*Strigops habroptilus*) et le kiwi roa (*Apteryx haastii*), deux oiseaux incapables de voler, afin de les protéger des prédateurs nouvellement introduits dans leur habitat d'origine (Atkinson, 1990). Au cours du siècle suivant, les gestionnaires de la faune et scientifiques néo-zélandais ont fortement intégré la migration assistée à leurs pratiques de conservation en introduisant plusieurs espèces en situation précaire sur des îles dépourvues de prédateurs (Armstrong et McLean, 1995). Outre la préservation d'espèces menacées, la migration assistée peut également avoir comme objectif de restaurer une fonction écologique dans un écosystème. Ainsi, au début des années 2000, la tortue géante des Seychelles (*Aldabrachelys gigantea*) et la tortue étoilée de Madagascar (*Astrochelys radiata*) ont été introduites sur 2 îles au large de la Mauritanie afin de permettre le broutement et la dissémination des semences d'espèces végétales indigènes, auparavant effectués par une espèce de tortue aujourd'hui éteinte (Griffiths et collab., 2012). En Chine, la migration assistée a permis la conservation de nombreuses espèces végétales menacées par des projets hydroélectriques (Liu et collab., 2015). Sur le continent américain, 6 espèces animales ont fait l'objet de migration assistée dans un but de conservation, entre 1974 et 2013 : le dard frangé (*Etheostoma crossopterus*), le poisson *Cyprinodon tularosa*, la grenouille des bois (*Lithobates sylvaticus*), la tortue boîte des plaines (*Terrapene ornata ornata*) et le dindon sauvage (*Meleagris gallopavo*) (Brichieri-Colombi et Moehrensclager, 2016).

L'utilisation de la migration assistée dans le but spécifique de pallier les impacts des changements climatiques sur la biodiversité demeure marginale à l'échelle mondiale. Aux États-Unis, un groupe de naturalistes ont entrepris la migration assistée du torrèya de Floride (*Torreya taxifolia*), un arbre fortement menacé par des infections fongiques et vulnérable aux changements climatiques (Torreya Guardians, s. d., consulté en décembre 2018). En Floride, le cerf des Keys (*Odocoileus virginianus clavium*) et le lapin des marais (*Sylvilagus palustris*), menacés par la hausse du niveau marin, ont été introduits sur de nouvelles îles (Maschinski et collab., 2011). Le succès de ces opérations n'a cependant pas pu être démontré. En Colombie-Britannique, le pin à écorce blanche (*Pinus albicaulis*) est une espèce en situation précaire fortement menacée par les changements climatiques pour laquelle la migration assistée sur plus de 600 km est testée (McLane et Aitken, 2012). Par ailleurs, au Canada, plusieurs provinces ont mis en œuvre des mesures intégrant les principes de la migration assistée pour réviser les règles de déplacements des semences afin de maintenir ou d'améliorer la productivité de certaines espèces forestières d'intérêt économique dans un contexte de changements climatiques (Pedlar et collab., 2011). De l'autre côté de l'océan Atlantique, en Angleterre, 2 espèces

de papillons ont été introduites avec succès au nord de leur aire de répartition d'origine (Willis et collab., 2009). Toutes ces expériences offrent de précieuses occasions pour documenter les bénéfices, risques et contraintes associés à l'utilisation de la migration assistée.

Bénéfices, risques et contraintes

Les bénéfices et les risques sont les principaux arguments utilisés lors de l'évaluation du potentiel de migration assistée d'une espèce. Ces éléments ont été abondamment cités dans la littérature et font l'objet d'un intense débat. Plusieurs contraintes sont également susceptibles d'influencer la faisabilité et la pertinence d'un projet de migration assistée. Une synthèse réalisée par Hewitt et collab. en 2011 a permis de relever l'essentiel de ces arguments. Nous avons restructuré, détaillé et bonifié ces résultats afin d'obtenir un portrait à jour et plus précis. Ainsi, les bénéfices, risques et contraintes associés à la migration assistée extraits de 62 publications scientifiques sur une période allant de 2007 à 2018 sont présentés à l'annexe 1.

La migration assistée d'espèces en situation précaire présente des incertitudes quant aux probabilités de succès et aux impacts sur les populations sources. Griffith et collab. (1989) ont évalué le succès de près de 200 opérations d'introduction et de réintroduction d'oiseaux et de mammifères réalisées en Australie, au Canada, à Hawaii, en Nouvelle-Zélande et aux États-Unis. Les résultats indiquent que le taux de succès des transferts est 2 fois moindre lorsque ceux-ci visent une espèce en situation précaire plutôt qu'une espèce exploitée. Ces auteurs soulignent également l'importance de déplacer un grand nombre d'individus pour assurer le succès de l'opération, un facteur qui peut constituer un enjeu lors du déplacement d'espèces rares ou en situation précaire. Pour pallier cette contrainte, ils recommandent de ne pas attendre que l'espèce soit en voie d'extinction pour procéder, mais plutôt de mettre en place un programme de transfert alors que les populations sont encore relativement stables. Il s'agit d'une recommandation qui porte à réflexion puisque la migration assistée est plus souvent envisagée comme une solution de dernier recours.

Un enjeu additionnel pour les espèces en situation précaire découle du fait que certains aspects de leur biologie, écologie ou répartition demeurent méconnus; ces incertitudes peuvent rendre hasardeuse l'application de la migration assistée. Aussi, la modélisation est un outil hautement pertinent pour trouver de possibles sites récepteurs (p. ex. : les modèles de niche climatique; McLane et Aitken, 2012), mais demeure complexe et souvent incertaine lorsqu'appliquée aux espèces en situation précaire. Néanmoins, la modélisation demeure essentielle pour cibler adéquatement des sites récepteurs potentiels pour les espèces évaluées dans le but de procéder à la migration assistée. Enfin, Hunter (2007) nous met en garde contre la tentation de simplement déplacer ces espèces dont l'habitat d'origine est souvent menacé par les pressions anthropiques sous prétexte de faciliter leur adaptation aux

changements climatiques. À la lumière des risques découlant de la migration assistée d'une espèce, l'imminence d'une menace majeure liée aux changements climatiques devrait être une condition sine qua non pour sa mise en œuvre.

Critères d'identification des espèces candidates et cadre décisionnel

Pour cibler les espèces candidates à la migration assistée, différents critères ont été proposés dans la littérature et, selon notre évaluation, 4 paraissent prioritaires. Parmi ceux-ci, 2 semblent faire l'unanimité : (1) la menace que représentent les changements climatiques pour la persistance de l'espèce concernée (perte d'habitats propices ou déclin de l'espèce en réponse aux modifications du climat) et (2) la capacité de dispersion limitée de cette espèce (incapacité à migrer vers de nouveaux sites propices) (Gallagher et collab., 2015; Hällfors et collab., 2017; Hunter, 2007). À ces critères, Hällfors et collab. (2017) ajoutent (3) la probabilité que de nouveaux sites deviennent propices à l'espèce ciblée sous l'action des changements climatiques, c'est-à-dire le déplacement potentiel de son aire de répartition. Ensuite, pour réduire le risque associé à l'introduction d'une nouvelle espèce dans un écosystème, Hunter (2007) propose (4) de sélectionner seulement des espèces qui ne jouent pas un rôle écologique prépondérant dans leur milieu naturel. L'introduction d'espèces considérées comme dominantes ou clés de voûte dans leur milieu d'origine, ou qui entretiennent de nombreuses relations interspécifiques, est à proscrire, car elle pourrait avoir des impacts majeurs sur les communautés présentes au site récepteur (Hunter, 2007). La combinaison de ces 4 critères permet de définir le potentiel d'utilisation de la migration assistée pour une espèce donnée.

Outre ces critères principaux, des critères secondaires rendent certaines espèces plus sensibles aux impacts des changements climatiques, augmentant du même coup la pertinence de l'utilisation de la migration assistée pour assurer leur survie : faible taille des populations, aire de répartition limitée, petite taille de l'organisme, faible taux de reproduction, degré élevé de spécialisation, rôle trophique supérieur, faible tolérance physiologique au réchauffement climatique (Gallagher et collab., 2015). Plusieurs de ces caractéristiques sont par ailleurs fréquemment observées chez les espèces en situation précaire. Enfin, l'acceptabilité sociale et la faisabilité financière d'un projet sont d'autres facteurs prépondérants à considérer, puisqu'ils sont essentiels à la réussite de tout projet de migration assistée (Brichieri-Colombi et Moehrensclager, 2016; Richardson et collab., 2009).

Plusieurs auteurs proposent d'utiliser ces différents critères à travers un cadre décisionnel permettant d'évaluer la possibilité d'effectuer la migration assistée d'une espèce. À titre d'exemples, Galloway et collab. (2016) proposent un cadre décisionnel pour les poissons en situation précaire, et Abeli et collab. (2014) une approche biogéographique permettant de réduire le niveau de risque. Un autre cadre décisionnel, proposé par Hoegh-Guldberg et collab. (2008) rallie plusieurs des critères évoqués dans la littérature : la probabilité que

l'espèce subisse un déclin majeur en réponse aux changements climatiques, la capacité de dispersion naturelle de l'espèce et le poids respectif des bénéfices et des coûts écologiques et socioéconomiques potentiels (figure 1). Cette approche intègre également des recommandations en faveur d'options de conservation alternatives et plus conservatrices (p. ex. : l'augmentation de la connectivité des habitats, la conservation *ex situ*). De plus, lorsque la migration assistée n'est pas une option techniquement réalisable, Hoegh-Guldberg et collab. (2008) évoquent la possibilité d'aménager des habitats propices au nord de l'aire de répartition de l'espèce visée afin de stimuler la migration naturelle.

En 2012, l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a produit une série de lignes directrices sur les différents types de transfert réalisés à des fins de sauvegarde, incluant la migration assistée. Ces lignes directrices définissent le processus décisionnel visant à établir si le déplacement d'une espèce ou d'une population est souhaitable, et encadre également le processus de mise en œuvre, soit l'analyse de faisabilité, l'évaluation des risques, la planification, la mise en œuvre, le suivi, la gestion continue et

la diffusion des résultats. L'organisme souligne notamment les risques potentiellement élevés, et souvent difficiles à prévoir, qui sont associés au déplacement d'une espèce en dehors de son aire de répartition d'origine. Il recommande, avant d'aller de l'avant, de disposer d'un niveau très élevé de confiance quant aux comportements anticipés des organismes concernés advenant une introduction. Ces lignes directrices devraient servir de cadre de référence pour l'évaluation, la planification ou la mise en œuvre de tout projet de migration assistée.

Évaluation du potentiel d'utilisation de la migration assistée au Québec

Certains éléments propres au Québec contribuent à considérer la migration assistée comme une mesure d'adaptation prometteuse aux changements climatiques. Tout d'abord, il a été récemment proposé que le Québec puisse constituer un refuge climatique important pour les espèces nord-américaines en déplacement, particulièrement celles à répartition périphérique nord (Berteaux et collab., 2018). Au fur et à mesure que les conditions climatiques se dégraderont dans le sud de leur aire de répartition, un certain nombre

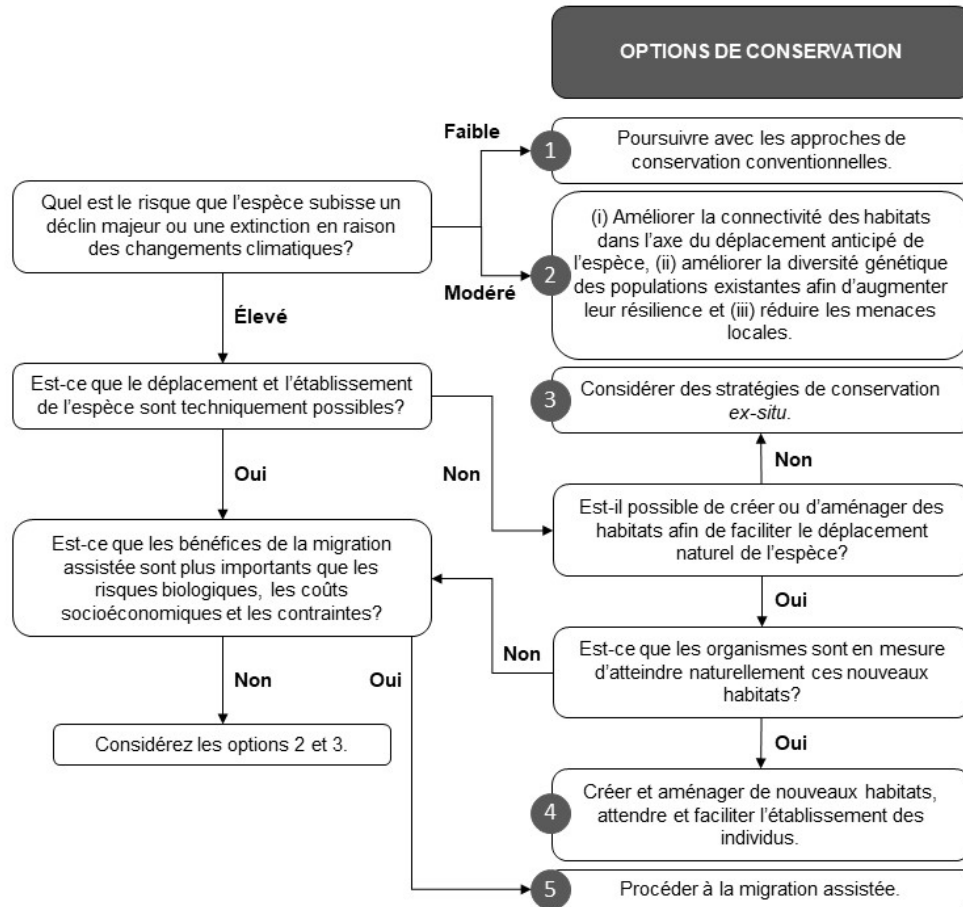


Figure 1. Processus décisionnel proposé par Hoegh-Guldberg et collab. (2008) pour évaluer la possibilité d'utiliser la migration assistée pour éviter l'extinction d'une espèce (traduit et adapté de Hoegh-Guldberg et collab., 2008 avec la permission de l'American Association for the Advancement of Science. Cette version n'est pas une traduction officielle par l'équipe de l'AAS. Pour des questions de fond, se référer à la version originale anglaise).

de ces espèces pourraient se trouver en difficulté aux États-Unis (Gendreau et collab., 2018). Le Québec pourrait donc jouer un rôle important pour la préservation de ces espèces. En revanche, le fleuve Saint-Laurent est une importante barrière à la dispersion des espèces (Berteaux et collab., 2018), et bon nombre de celles-ci ne pourraient pas traverser de la rive sud à la rive nord du fleuve. De plus, la zone urbanisée du Grand Montréal et la forte fragmentation des habitats agroforestiers au sud de la province risquent d'entraver la dispersion naturelle des espèces. Tous ces éléments pourraient justifier, dans certains cas, l'utilisation de la migration assistée. Néanmoins, la capacité des sites à accueillir de nouvelles espèces en provenance de régions situées plus au sud pourrait dépendre en bonne partie de la vitesse de transition des écosystèmes forestiers québécois, qui sont largement occupés par la forêt boréale.

Identification d'espèces candidates

Les espèces en situation précaire possèdent bien souvent des traits biologiques qui les rendent vulnérables aux effets combinés des changements climatiques et de la fragmentation des habitats, incluant une répartition restreinte ou fragmentée, une faible capacité de dispersion (Hunter, 2007; McLachlan et collab., 2007), une faible fécondité ou une maturité sexuelle tardive (Aitken et collab., 2008), ou encore une haute spécialisation en matière d'habitat (Gallagher et collab., 2015). Les espèces menacées, vulnérables ou susceptibles d'être désignées comme telles qui ont une forte probabilité d'extinction en réponse aux changements climatiques peuvent être ciblées comme candidates pour la migration assistée, surtout si leur capacité de dispersion est limitée (Hunter, 2007).

Au Québec, la vulnérabilité aux changements climatiques a été évaluée par Gendreau et collab. (2018) pour 409 plantes vasculaires en situation précaire. Les résultats indiquent que *Carex formosa*, *Cypripedium arietinum*, *Platanthera macrophylla*, *Pterospora andromedea* et *Spiranthes casei* var. *casei* pourraient être complètement extirpées de la province d'ici 2080. L'abondance ou la répartition de 49 autres plantes vasculaires en situation précaire a également de très fortes chances de diminuer significativement et certaines de ces espèces risquent de disparaître d'ici 2050 en raison des changements climatiques. Les résultats révèlent que la vitesse de déplacement moyenne de la niche climatique des plantes analysées (c'est-à-dire des conditions climatiques favorables à celles-ci) est plus de 40 fois supérieure aux valeurs médianes des vitesses de dissémination observées chez les arbres et les plantes herbacées (Gendreau et collab., 2018). Ceci suggère qu'il pourrait être impossible pour ces plantes en situation précaire d'étendre naturellement leur répartition dans le Québec pour répondre aux changements rapides attendus, d'autant plus que les habitats sont parfois très peu connectés entre eux. Les espèces associées aux habitats arctiques alpins, à l'estuaire et au golfe du Saint-Laurent ainsi qu'aux sols calcaires se sont révélées les plus vulnérables (Gendreau et

collab., 2018). La migration assistée pourrait être considérée pour les plantes calcicoles, dont l'habitat est rare au nord du fleuve Saint-Laurent. C'est le cas notamment de certaines plantes en situation précaire du grand massif appalachien de la Gaspésie. Par ailleurs, la migration assistée pourrait être la seule option de conservation qui soit en mesure de protéger certaines espèces floristiques dont l'habitat est menacé par la hausse du niveau marin (Maschinski et collab., 2011). La gentiane de Victorin (*Gentianopsis virgata* subsp. *victorinii*) et la cicutaire de Victorin (*Cicuta maculata* var. *victorinii*), des espèces endémiques à l'estuaire du Saint-Laurent, sont des exemples de plantes qui risquent d'être affectées par l'érosion des hauts marais (Bhiry et collab., 2013).

Il n'existe à ce jour aucune évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques publiée pour l'ensemble des espèces fauniques en situation précaire au Québec. Il est néanmoins possible d'identifier certaines espèces ou certains groupes d'espèces possiblement vulnérables. C'est le cas des amphibiens et des reptiles, dont une proportion importante des espèces présentes au Québec sont en situation précaire. Les capacités de déplacement limitées de ces espèces et leur sensibilité aux variations des conditions d'humidité limitent leur résilience aux modifications du climat. Par exemple, la rainette faux-grillon de l'Ouest (*Pseudacris triseriata*), une espèce déjà fortement menacée par la destruction de son habitat dans le sud du Québec, pourrait devoir composer avec une hydropériode plus courte au cours des prochaines décennies (Équipe de rétablissement de la rainette faux-grillon de l'Ouest du Québec, 2019). Outre l'herpétofaune, l'omble chevalier *oquassa* (*Salvelinus alpinus oquassa*), une espèce en situation précaire associée aux eaux froides de certains lacs oligotrophes, pourrait subir une diminution de la taille ou de la qualité de ses habitats advenant une hausse progressive des températures dans les parties profondes des lacs qu'il fréquente (Rivière et collab., 2018). Comme cette espèce ne peut vraisemblablement pas coloniser des habitats plus septentrionaux à partir des lacs isolés qu'elle habite, l'augmentation des températures pourrait engendrer la disparition de l'espèce à moins d'une intervention humaine. Des espèces associées aux milieux côtiers, comme le satyre fauve des Maritimes (*Coenonympha nipisiquit*), pourraient également voir leurs habitats perturbés par la hausse du niveau marin et de l'incidence des événements météorologiques extrêmes (Environnement Canada, 2011). La migration assistée de cette espèce serait une option à évaluer, puisqu'elle a été effectuée avec succès pour d'autres espèces de lépidoptères (Willis et collab., 2009).

Études de cas spécifiques

La salamandre pourpre : des populations isolées menacées par les changements climatiques

La salamandre pourpre a été désignée vulnérable au Québec en 2009 (MFFP, 2010) et menacée au Canada en 2011 (COSEPAC, 2011). Il s'agit d'une salamandre de ruisseau de grande taille qui se distingue par sa coloration rosée et sa queue fortement comprimée latéralement (figure 2b). Cette espèce ne

possède pas de poumons et respire de façon cutanée (Desroches et Rodrigue, 2004), ce qui la rend sensible à la dessiccation et dépendante des habitats aquatiques. Elle fréquente les eaux fraîches et bien oxygénées des petits ruisseaux de montagne aux substrats rocheux et graveleux, à la tête des bassins versants (Desroches et Rodrigue, 2004) (figure 2c). La salamandre pourpre est présente exclusivement dans l'est de l'Amérique du Nord, dans les régions montagneuses des Appalaches (COSEPAC, 2011). Sa répartition s'étend du centre de l'Alabama, aux États-Unis, jusqu'au sud du Québec (figure 2a). Au Canada, l'espèce est considérée comme disparue en Ontario depuis 2010 et n'est actuellement présente qu'au Québec. On la trouve dans 2 secteurs distincts, soit la région du sud des Appalaches (monts Orford, Sutton, Owl's Head, Stoke, Pinacle, Mégantic, Éléphant et Yamaska) et sur le piémont des Adirondacks, dans la région de Covey Hill, au sud de la Montérégie. L'isolement de l'espèce, limitée aux ruisseaux de haute altitude très distancés les uns des autres, suggère que les populations sont enclavées (COSEPAC, 2011).

Comme la taille des populations de salamandre pourpre du Québec est inconnue (COSEPAC, 2011), il est difficile d'en évaluer les tendances. Une étude réalisée au Québec indique que la plupart des populations subissent de fortes pressions (Tittley, 2013). Des activités anthropiques comme l'aménagement forestier, le développement du réseau routier, le développement urbain et l'agriculture réduisent la qualité de l'habitat. Les modifications de l'habitat qui entraînent une altération de la qualité de l'eau et des débits sont actuellement les principales menaces qui pèsent sur cette espèce (COSEPAC, 2011). En outre, les changements climatiques pourraient également affecter sa survie, sa reproduction et son comportement, en plus d'influencer la propagation de pathogènes, la structure des chaînes trophiques et les relations interspécifiques (Blaustein et collab., 2010). Ces effets potentiels sont variés et difficiles à anticiper. Par exemple, l'augmentation de l'évapotranspiration réduirait les déplacements des individus, ce qui pourrait entraîner une réduction du flux génétique entre les populations.

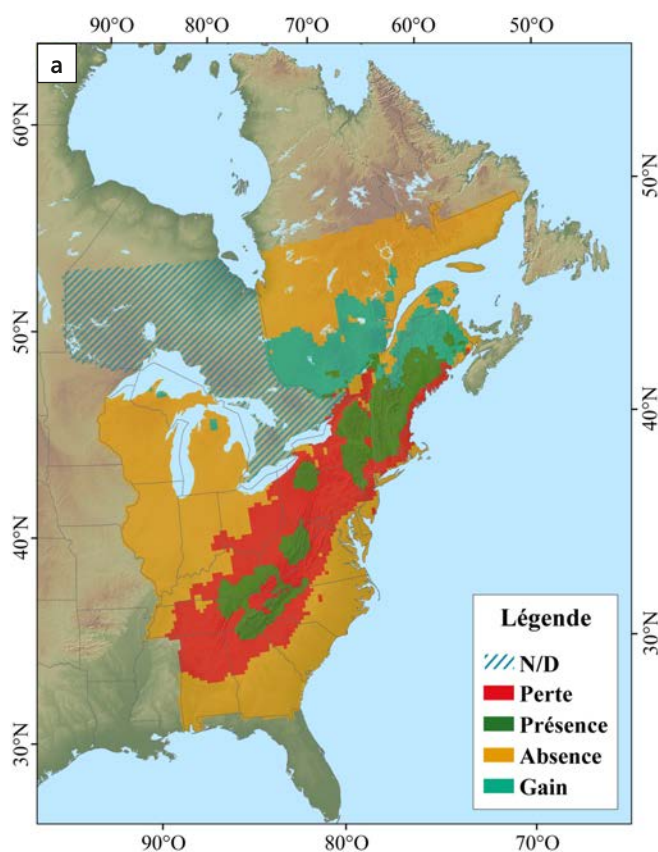


Photo : Mathieu Ouellette



Photo : Nicolas Houde

Figure 2. La salamandre pourpre, *Gyrinophilus porphyriticus*: a) changements potentiels de l'aire de répartition au Québec entre la période de référence (1961-1990) et l'horizon 2080 (tiré de Berteaux et collab., 2016); b) salamandre pourpre adulte; c) habitat de la salamandre pourpre dans la région de Sherbrooke, en Estrie. Pour interpréter la carte: la somme des zones vertes et rouges représente la répartition modélisée pour la période de référence; l'addition des zones vertes et turquoise illustre la répartition potentielle en 2080 selon un scénario où l'espèce serait en mesure de se déplacer de façon illimitée; les zones vertes représentent la répartition potentielle en 2080 dans un cas où les déplacements de l'espèce sont complètement restreints.

La niche climatique de la salamandre pourpre a été modélisée afin d'évaluer l'évolution dans le temps des conditions climatiques qui lui sont favorables (Bertheaux et collab., 2016, consulté en décembre 2018). Les résultats indiquent que près de la moitié de la superficie de l'aire de répartition actuelle de l'espèce au Québec pourrait ne plus offrir les conditions climatiques qui lui sont nécessaires d'ici 2080 et des pertes majeures sont anticipées aux États-Unis (figure 2a). En contrepartie, les conditions climatiques de plusieurs sites au nord de son aire de répartition actuelle pourraient devenir favorables. D'autres modélisations prédisent également une fragmentation de l'habitat vers des îlots isolés pour la salamandre pourpre (Sutton et collab., 2015). Étant donné sa faible capacité de dispersion et l'isolement de ses populations, il semble peu probable qu'elle puisse coloniser naturellement ces nouveaux sites. Sans intervention, une diminution de l'aire de répartition de cette espèce est donc appréhendée. Ainsi, la salamandre pourpre serait une possible candidate pour la migration assistée en raison de sa faible capacité de dispersion, de la perte attendue de son habitat en réponse aux changements climatiques et de l'apparition de conditions climatiques favorables dans d'autres secteurs. En plus de favoriser son adaptation au climat, la migration assistée de l'espèce permettrait l'implantation de populations dans des secteurs aux pressions anthropiques faibles.

Malgré les bénéfices potentiels associés à la migration assistée de cette espèce, de nombreux facteurs compromettent le succès d'une telle opération. Tout d'abord, le prélèvement d'individus présente un risque non négligeable pour les populations sources (Lowe et Bolger, 2002), d'autant plus que, chez les amphibiens, il est nécessaire d'avoir une quantité particulièrement grande d'individus (adultes, larves ou œufs) pour réussir un transfert (Germano et Bishop, 2009). Ensuite, la propagation de pathogènes représente un risque important lors des opérations de transfert; ceux-ci constituent d'ailleurs une cause majeure du déclin mondial des amphibiens (Fisher et Garner, 2007). Par ailleurs, la salamandre pourpre est un prédateur important dans son milieu naturel, et son introduction pourrait avoir un effet local sur la survie et l'abondance des autres espèces de salamandres de ruisseaux (Beachy, 1994), réduisant la disponibilité des proies et des microrefuges pour les espèces moins compétitrices (Semlitsch, 2002). Enfin, l'instinct du retour, ou *homing*, soit le retour au territoire initial après avoir été déplacé, a été confirmé chez la salamandre pourpre à la suite du déplacement d'individus en amont de leur site d'origine, sur un même cours d'eau (Deitchler et collab., 2015). Ce comportement pourrait compromettre le succès de la migration assistée s'il se manifestait sur de grandes distances, et nécessite d'être testé davantage.

Pour l'instant, les incertitudes liées à une multitude de facteurs font en sorte que les risques associés à la migration assistée de la salamandre pourpre dépassent vraisemblablement les bénéfices escomptés. Une évaluation approfondie serait nécessaire avant d'entreprendre un quelconque projet. De plus amples connaissances sur la démographie de l'espèce au

Québec et sur son rôle écologique permettraient de mieux prédire l'influence des différents facteurs sur le succès d'une telle opération. Des mesures devraient être développées pour vérifier et limiter l'effet du *homing*.

Le chardon écailléux : une espèce rare qui souffre de l'intensification des tempêtes côtières

Le chardon écailléux est une espèce floristique désignée menacée au Québec depuis 2001 (MELCC, 2018). Il s'agit d'une plante herbacée vivace dont la hauteur en fleurs peut atteindre près d'un mètre (Dénomée, 2018). Au Québec, la population naturelle du chardon écailléux est circonscrite à la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan, sur la Côte-Nord (figure 3). Cette population est séparée par plus de 3 500 km des autres populations de l'espèce, situées dans l'ouest du continent nord-américain (Dénomée, 2018). Le chardon écailléux croît en pleine lumière dans des prairies subalpines ou en milieu côtier, dans les landes, qui consistent en une étroite bande entre la forêt résineuse et les plantes pionnières du littoral supérieur (Nantel et Cantin, 1998; MELCC, 2018) (figure 3c). Au Québec, le chardon écailléux a un cycle vital plutôt unique et long qui témoigne de sa rareté et de sa faible productivité. Les feuilles émergent au printemps et forment des rosettes basilaires qui grandissent généralement chaque année jusqu'à la floraison. Celle-ci survient généralement après 5 à 16 ans, mais l'âge de floraison peut atteindre 22 ans (moyenne de 10 ans) (N. Dénomée, Agence Parcs Canada, communication personnelle). La plante fleurit une seule fois dans sa vie, en juillet, puis meurt. De ce fait, seulement de 2 à 37 plants ont fleuri chaque année dans la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan (moyenne annuelle de 10 plants), entre 1995 et 2019. Qui plus est, le taux de mortalité des grandes rosettes avant la floraison est très élevé (97 %) (N. Dénomée, communication personnelle).

Au Québec, on compte 10 colonies de chardon écailléux : 9 à l'intérieur de la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan et 1 à la marina de Havre-Saint-Pierre, implantée en 2001 à des fins éducatives. Jusqu'à tout récemment, il existait une colonie à la Grande-Pointe de Havre-Saint-Pierre, mais celle-ci est considérée comme disparue depuis 2017 (Dénomée, 2018). L'utilisation d'un habitat restreint, la faible compétitivité de l'espèce, sa faible reproduction, la prédation des graines et leur faible capacité de dissémination sont tous des facteurs qui contribuent à en limiter l'expansion (MELCC, 2018). Parallèlement, les tempêtes côtières et la progression naturelle de la forêt vers le littoral réduisent l'habitat ou détruisent les colonies (Dénomée, 2018). Les changements climatiques représentent une menace additionnelle pour le chardon écailléux, vulnérable en raison de son habitat côtier (Gendreau et collab., 2018). L'espèce pourrait subir les effets de la hausse du niveau de la mer, de la réduction du couvert de glace, de l'impact accru des tempêtes hivernales, des changements dans les processus d'érosion hivernaux et de l'augmentation des pluies diluviennes, des

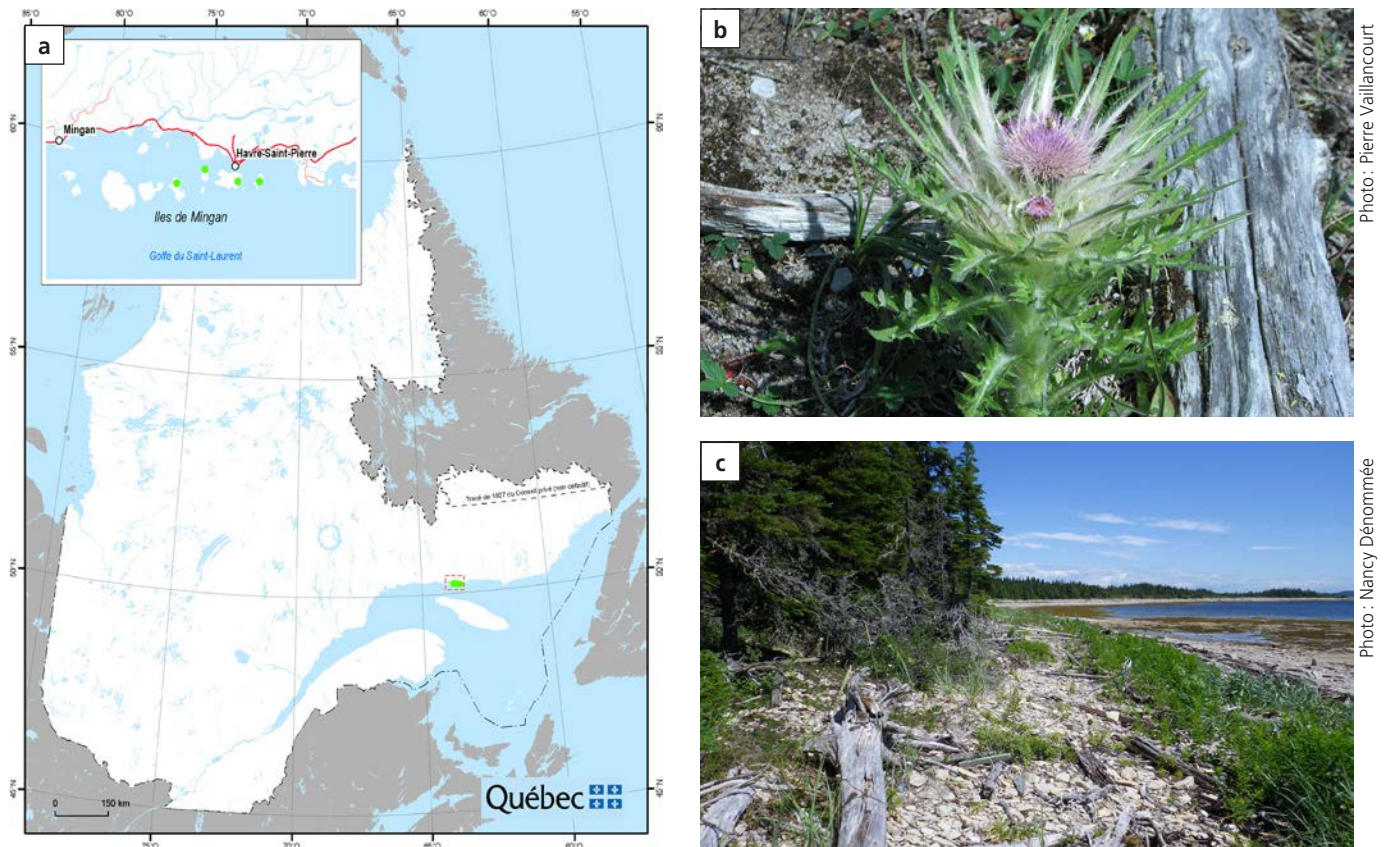


Figure 3. Le chardon écaillé, *Cirsium scariosum* var. *scariosum*: a) aire de répartition au Québec (source : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques); b) plant mature; c) habitat côtier du chardon écaillé dans la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan.

phénomènes déjà observés sur la Côte-Nord (Bernatchez et collab., 2008). Un déplacement rapide des habitats propices pourrait aussi s'avérer particulièrement délétère pour l'espèce, dont la capacité de dissémination serait insuffisante pour coloniser de nouveaux sites. En effet, les graines, bien que portées par le vent grâce à des aigrettes plumeuses, tombent généralement à moins de 1 m des plants en fleurs (N. Dénomée, communication personnelle).

Depuis près de 20 ans, plusieurs actions ont été entreprises pour préserver le chardon écaillé: la pollinisation artificielle, la récolte et l'ensemencement des graines, le dégagement des plants après les tempêtes, la création de nouvelles colonies, la production *ex situ* et l'acquisition de connaissances sur la dynamique côtière (Dénomée, 2011). Néanmoins, les actions entreprises jusqu'à maintenant ne permettent pas aux colonies d'atteindre un seuil de viabilité, et ce, en raison des événements climatiques qui viennent contrecarrer les efforts investis (Dénomée, 2018). Ceci confirme le niveau de précarité de l'espèce au Québec, qui risque de s'éteindre sans intervention humaine. À l'heure actuelle, la majorité des colonies naturelles sont en mauvais état et en décroissance (N. Dénomée, communication personnelle).

La migration assistée du chardon écaillé pourrait offrir une judicieuse solution d'adaptation aux changements climatiques. La principale contrainte consisterait sans doute

à trouver des habitats adéquats à la fois moins exposés aux tempêtes (actuelles et futures) et peu susceptibles d'être colonisés par les arbres ou la végétation haute et dense. Une migration assistée pourrait être envisagée sur la Côte-Nord. Elle pourrait notamment être testée sur l'île d'Anticosti, où des habitats semblables à ceux de la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan sont présents à l'extérieur des milieux côtiers, tels que les platières de certaines grandes rivières, comme les rivières Chicotte et Jupiter. Le possible broutement par le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) pourrait cependant contrecarrer la survie d'une éventuelle colonie sur Anticosti (N. Dénomée, communication personnelle). Néanmoins, malgré les risques associés au prélèvement de semences dans une population source fragilisée, à la possible homogénéisation génétique des colonies ou au succès incertain d'une telle entreprise, la précarité du chardon écaillé est telle que les bénéfices potentiels dépassent les risques, dans la mesure où un habitat adéquat est trouvé. Qui plus est, l'expérience acquise par le biais des actions de conservation a permis de proposer certains facteurs qui contribueraient au succès de la migration assistée chez cette espèce (Dénomée, 2011 ; 2018), et la production *ex situ* de semences pourrait minimiser les impacts sur la population source (N. Dénomée, Agence Parcs Canada, communication personnelle). L'espèce est l'un des emblèmes de la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan, et des

investissements sont déjà engagés depuis plusieurs années pour assurer son sauvetage. Ainsi, dans une optique où l'habitat du chardon écaillé est soumis à des perturbations fréquentes, vraisemblablement accentuées par les changements climatiques (Bernatchez et collab., 2008), la migration assistée deviendrait une action de rétablissement adéquate pouvant avantageusement être jumelée à d'autres mesures dans une stratégie de conservation globale (Schwartz et Martin, 2013).

La couleuvre brune : quand les changements climatiques offrent de nouvelles perspectives

La couleuvre brune est susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable au Québec. Il s'agit d'une petite couleuvre discrète de coloration brune à beige, au dos orné de 2 rangées de points noirs (figure 4b). Au Québec, elle mesure généralement entre 23 et 33 cm (MFFP, 2012). La répartition de la couleuvre brune s'étend de l'est du Mexique jusqu'au sud de l'Ontario et du Québec, ce qui correspond à la limite nord de son aire de répartition (figure 4a). Il s'agit de l'une des couleuvres les plus rares du Québec. Elle est principalement répartie dans les milieux insulaires de la grande région de Montréal. Comme elle s'adapte bien aux habitats urbains et périurbains, elle utilise des milieux ouverts de début de succession tels que les terrains vagues, les friches, les champs, les bordures de cours d'eau, les parcs, les bordures de bâtiments et les sites abandonnés (Pouliot, 2008 ; Rouleau,

2014) (figure 4d). L'espèce a un domaine vital restreint et une faible capacité de dispersion ; les grandes étendues d'eau, les routes et même les pistes cyclables représentent des obstacles qui limitent ses mouvements. Ses déplacements avoisinent les 600 m et les mouvements au-delà de cette distance sont marginaux (Ernst et Ernst, 2003).

Le développement urbain, omniprésent dans l'aire de répartition québécoise de l'espèce, est la menace la plus importante à la persistance des populations de couleuvre brune, notamment par la destruction des hibernacles, la rupture des corridors migratoires (Pouliot, 2008) et la perte nette d'habitats. Au Québec, des populations de couleuvres brunes ont été déplacées à quelques reprises lors de projets de développement planifiés dans son habitat, par exemple celui de la réfection de l'échangeur Turcot, sur l'île de Montréal. Outre les menaces d'origine anthropique, l'évolution naturelle des habitats de début de succession utilisés par l'espèce limite le nombre de milieux propices. Par exemple, la fermeture graduelle de la canopée réduit le degré d'ensoleillement et modifie les taux d'humidité (Pouliot, 2008).

L'aire de répartition de la couleuvre brune est limitée au nord par sa faible tolérance aux températures froides (Pouliot, 2008). Ainsi, le réchauffement climatique pourrait favoriser des conditions climatiques propices et contribuer à l'expansion de l'espèce dans la province. Toutefois, la dégradation des habitats et la présence de nombreuses barrières physiques dans la région

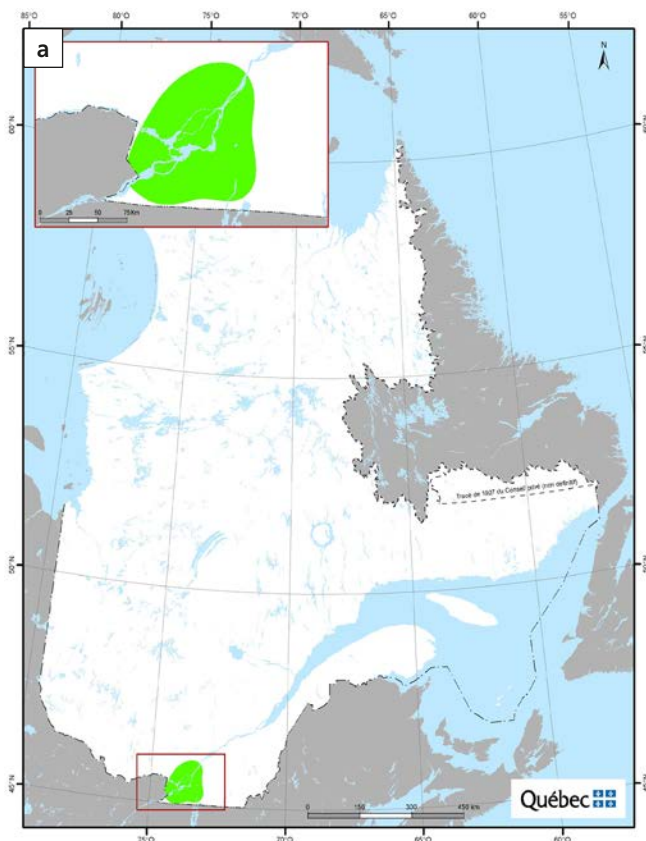


Photo : Claude Daigle



Photo : Philippe Lamarre

Figure 4. La couleuvre brune, *Storeria dekayi*: a) aire de répartition au Québec (source : ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs); b) couleuvre brune adulte; c) habitat de la couleuvre brune dans le parc national des Îles-de-Boucherville.

de Montréal compromettent la capacité de la couleuvre brune à coloniser naturellement de nouveaux sites, surtout si l'on considère sa faible capacité de dispersion. Outre la création de traverses fauniques et d'autres aménagements favorisant les déplacements naturels, le déplacement d'individus pourrait permettre la colonisation de nouveaux sites dans des secteurs où les pressions anthropiques sont moindres. Dans cette perspective, le réchauffement du climat serait une occasion et la migration assistée, une avenue, pour permettre l'établissement de la couleuvre brune au nord de son aire de répartition actuelle et possiblement améliorer sa situation au Québec.

L'utilisation de la migration assistée pour la couleuvre brune présente néanmoins plusieurs risques : l'impact du prélèvement d'individus sur les populations sources, la perte d'intégrité génétique des populations (actuellement fortement différenciées), la propagation de maladies et de parasites et les impacts sur les milieux récepteurs. Par ailleurs, le comportement de *homing*, principale cause d'échec des projets de relocalisation chez les reptiles (Germano et Bishop, 2009), a été observé chez la couleuvre brune au Québec (Rouleau, 2014), posant ainsi un défi supplémentaire à un projet de migration assistée. Pour définir des sites récepteurs appropriés, il serait indispensable de développer des modèles de niche climatique intégrant les composantes préférentielles de l'habitat de l'espèce. La connectivité des habitats sélectionnés

est aussi essentielle pour la couleuvre brune, de même que leur hétérogénéité puisqu'une diversité de microhabitats permet de tamponner la variabilité climatique (McCoy et collab., 2014).

Enfin, il est important de considérer la spécificité d'un projet de migration assistée pour la couleuvre brune; il servirait surtout de mesure de mitigation contre la destruction d'habitats plutôt que d'adaptation aux modifications du climat. Ainsi, le succès d'un projet de transfert de couleuvres brunes pourrait permettre de sauver des individus, tout en facilitant l'élargissement de l'aire de répartition de l'espèce vers le nord. Un tel projet devient une solution de dernier recours, et ne s'inscrit pas dans une démarche de gestion intégrée des milieux naturels pouvant bénéficier à la biodiversité dans son ensemble. Ce type de translocation ne doit pas contribuer à augmenter l'acceptabilité sociale de la destruction des habitats, et doit s'intégrer parmi une diversité d'outils et d'objectifs de conservation.

Synthèse du potentiel d'utilisation de la migration assistée pour les trois espèces à l'étude

Une évaluation sommaire du potentiel d'utilisation de la migration assistée pour les 3 espèces étudiées dans les sections précédentes est présentée au tableau 1. Cette évaluation a été réalisée d'après les critères d'identification des espèces candidates précitées et l'ensemble des informations

Tableau 1. Évaluation sommaire du potentiel d'utilisation de la migration assistée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques pour la salamandre pourpre, le chardon écaillé et la couleuvre brune d'après les critères proposés dans la littérature (Brichieri-Colombi et Moehrensclager, 2016; Gallagher et collab., 2015; Garnett et collab., 2018; Hajjar et Kozak, 2015; Hällfors et collab., 2017; Hunter, 2007; Richardson et collab., 2009).

| Critères de sélection des espèces candidates | Salamandre pourpre (<i>Gyrinophilus porphyriticus</i>) | Chardon écaillé (<i>Cirsium scariosum</i> var. <i>scariosum</i>) | Couleuvre brune (<i>Storeria dekayi</i>) |
|--|---|---|---|
| Critères principaux | | | |
| Déclin des populations observé ou appréhendé en raison des changements climatiques | ✓ | ✓ | (-) |
| Forte probabilité que les changements climatiques rendent disponibles de nouveaux sites propices | ✓ | ? | ✓ |
| Dispersion limitée par la capacité de l'espèce ou par des barrières à son déplacement | ✓ | ✓ | ✓ |
| Rôle écologique mineur de l'espèce dans son milieu naturel | (-) | ✓ | ? |
| Critères secondaires | | | |
| Faible taille des populations | ✓ | ✓ | (✓) |
| Aire de répartition limitée | ✓ | ✓ | ✓ |
| Faible taux de reproduction | (✓) | ✓ | - |
| Haut niveau de spécialisation | ✓ | ✓ | - |
| Petite taille des organismes | ✓ | ✓ | ✓ |
| Acceptabilité sociale | ? | ? | ? |
| Faisabilité financière | ? | ✓ | ? |

✓ : l'espèce répond au critère évalué.

- : l'espèce ne répond pas au critère évalué.

() : le résultat obtenu pour l'évaluation du critère est incertain.

?: les connaissances actuelles ne permettent pas d'évaluer le critère.

récoltées dans les études de cas. Notre analyse indique que le chardon écaillé pourrait être considéré comme candidat pour la migration assistée. En revanche, la pertinence de l'utilisation de cette mesure d'adaptation semble beaucoup moins certaine dans les cas de la salamandre pourpre et de la couleuvre brune. Une analyse plus approfondie ainsi que l'acquisition de connaissances seront nécessaires pour en arriver à éventuellement considérer ces 2 espèces comme des candidates potentielles.

Conclusion et recommandations

Les impacts inévitables des changements climatiques sur la faune et la flore mettent en évidence l'urgence d'instaurer des mesures qui favorisent mondialement la conservation de la biodiversité. Notre analyse suggère que la migration assistée est une option envisageable de concert avec les mesures de conservation plus traditionnelles, mais dont la pertinence doit être évaluée au cas par cas. Cette mesure d'adaptation peut être appropriée pour des espèces dont l'habitat ou la survie est menacé par les changements climatiques, mais dont la capacité de dispersion est limitée. Néanmoins, son application comporte des risques non négligeables pour les populations sources et les sites récepteurs, en plus de l'incertitude concernant la réussite du transfert. La migration assistée, même à la suite d'une évaluation favorable, doit toujours être appliquée avec une extrême prudence.

Les études de cas ont permis de cibler le chardon écaillé comme candidat potentiel pour la migration assistée. Les cas de la couleuvre brune et de la salamandre pourpre méritent quant à eux des études plus approfondies. Outre les recommandations propres à ces espèces, cette analyse permet d'émettre plusieurs recommandations en ce qui a trait à l'utilisation de la migration assistée pour la conservation des espèces en situation précaire au Québec.

Analyses de vulnérabilité aux changements climatiques et identification d'espèces candidates

Afin de favoriser le maintien ou le rétablissement des espèces en situation précaire au Québec, une évaluation de leur vulnérabilité aux changements climatiques est essentielle. Une analyse de vulnérabilité a déjà été réalisée par Gendreau et collab. (2018) pour les espèces floristiques, alors qu'une analyse semblable est en cours de réalisation pour les espèces fauniques en situation précaire au Québec. Les résultats obtenus permettront d'identifier les espèces les plus à risque et, possiblement, celles qui répondent aux premiers critères afin de devenir des candidates à la migration assistée.

Pour les espèces en situation précaire plus vulnérables aux changements climatiques, un suivi attentif est requis. Le suivi devrait être priorisé pour les populations situées à la limite sud de la répartition de leur espèce (à l'échelle continentale), où l'on anticipe davantage d'extirpation en raison du déplacement de leur niche climatique vers le nord, ou celles pour lesquelles on anticipe une perte d'habitat. Ainsi,

un déclin observé au sein de ces populations permettrait de déclencher la mise en œuvre rapide de mesures de conservation adaptées et, éventuellement, une analyse de faisabilité pour la migration assistée (Galatowitsch et collab., 2009). Si la plupart des experts recommandent de n'utiliser cette option qu'en dernier recours, il faut toutefois éviter d'attendre qu'une espèce soit au bord de l'extinction avant d'entreprendre un sauvetage (Griffith et collab., 1989). La migration assistée d'une espèce dont les populations sont encore suffisamment abondantes pour permettre de conserver sa diversité génétique augmentera les chances de succès dans son nouveau milieu, en plus de limiter les risques associés au prélèvement d'individus dans les populations sources.

Évaluation, planification et mise en œuvre

Lorsqu'une espèce candidate est identifiée, nous recommandons d'effectuer une évaluation des risques et une étude de faisabilité approfondie à travers une approche décisionnelle documentée, tout en se référant aux *Lignes directrices de l'UICN sur les réintroductions et les autres transferts à des fins de sauvegarde* (UICN, 2012). Afin d'assurer la cohérence avec les objectifs de conservation et les démarches de gestion intégrée, il est important de considérer le caractère spécifique des projets de migration assistée, plus particulièrement lorsqu'ils sont utilisés comme mesure de mitigation en cas de destruction d'habitat. L'ensemble du processus décisionnel doit être documenté et archivé afin de favoriser l'amélioration constante de la démarche d'évaluation. Si un projet de migration assistée devait aller de l'avant pour une espèce, nous recommandons aux gestionnaires du projet de se référer scrupuleusement aux lignes directrices prévues par l'UICN (2012). Les motivations, les objectifs et les résultats escomptés devront être clairement énoncés, tout en prenant soin d'identifier des indicateurs de succès cohérents. La planification adéquate d'un projet de migration assistée inclut un programme de suivi à long terme adapté ainsi qu'une bonne prévision des ressources financières et humaines nécessaires. Le projet doit aussi permettre d'assurer l'adhésion du public.

Orientations gouvernementales et législatives

Les gestionnaires et acteurs de la conservation doivent connaître l'existence de la migration assistée comme option de conservation, mais aussi les risques et bénéfices qu'elle représente. Des lignes directrices québécoises, adaptées de celles de l'UICN, devront être définies à ce sujet, tout en y intégrant les complexités associées aux cadres législatifs. À titre d'exemple, le prélèvement et le déplacement d'espèces végétales sans statut particulier sont permis sans autorisation au Québec, ce qui veut dire que quiconque peut légalement amorcer la migration assistée de ces espèces sans analyses de risques ou études préalables. Cette situation peut poser des risques importants. Elle souligne la nécessité d'évaluer les enjeux associés au cadre légal et de voir comment il sera possible de l'adapter à la réalité actuelle. Des lignes directrices sur la migration assistée et les autres types de déplacements d'espèces devraient permettre

d'orienter le choix des options de conservation à mettre en place pour assurer le rétablissement ou le maintien des espèces menacées, vulnérables et susceptibles d'être désignées. Ces lignes directrices devraient concerner également les espèces sans statut de précarité. Nous considérons que la question de la migration assistée devrait être davantage discutée et évaluée entre les milieux universitaires, gouvernementaux et non gouvernementaux afin d'améliorer les outils de conservation au Québec. Cet article constitue l'amorce d'une telle démarche et permettra d'ouvrir le dialogue pour la mise en place d'orientations provinciales prudentes et clairvoyantes.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des experts qui ont généreusement partagé avec nous leurs connaissances et nous ont transmis leur avis : Nancy Dénomée (Agence Parcs Canada), Lyne Bouthillier, Philippe Lamarre, Stéphane Déry, Nathalie Tessier, Jason Samson et Marie-Josée Goulet (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs), Line Couillard et Jacques Labrecque (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques), Sébastien Rouleau (Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent), Phillip deMaynadier (Maine Department of Inland Fisheries and Wildlife), Patrice Bourgault (Université de Sherbrooke) et Catherine Frizzle (Conseil de gouvernance de l'eau des bassins versants de la rivière Saint-François). Nous remercions également Benjamin Faucher-Gour pour son assistance technique dans la recherche bibliographique. Ce projet, rendu possible grâce au Fonds vert dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques, a fait l'objet d'un rapport détaillé produit par le MFFP en collaboration avec le Bureau d'écologie appliquée (Ricard et collab., en préparation). ◀

Références

- ABELI, T., S.E. DALRYMPLE, A. MONDONI, S. ORSENIKO et G. ROSSI, 2014. Integrating a biogeographical approach into assisted colonization activities is urgently needed. *Plant Biosystems*, 148 : 1355-1357. <https://doi.org/10.1080/11263504.2014.980362>.
- 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 : 95-111. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x>.
- ARMSTRONG, D.P. et I.G. MCLEAN, 1995. New Zealand translocations: Theory and practice. *Pacific Conservation Biology*, 2 : 39-54. <https://doi.org/10.1071/PC950039>.
- ATKINSON, I.A.E., 1990. Ecological restoration on islands: Prerequisites for success. *Conservation Sciences Publication*, 2 : 73-90.
- BEACHY, C.K., 1994. Community ecology in streams: Effects of two species of predatory salamanders on a prey species of salamander. *Herpetologica*, 50 : 129-136.
- 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. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 256 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBernatchez2008_FR.pdf.
- BERTEAUX, D., J.-F. ANGERS, V. BAHN, S. DE BLOIS, M. HUMPHRIES, B. MCGILL, W. THULLER, R. SIRON, T. LOGAN, P. NANTEL, S. MCCANNY, D. WELCH, C. SAMSON, F. FOURNIER, J. LARIVÉE, D. RODRIGUE, S. ROULEAU, M. DARVEAU, J. BONIN, F. POISSON, N. DESROSIERS, C. PÉRIÉ, L. VESCOVI, N. CASAJUS, B.P. AKPOUÉ, F. BEAUREGARD, L. BOISVERT-MARSH, D. CHAMBERS, R. FELDMAN, X. FRANCOEUR, Y. GENDREAU, N. JAMES, B. LALIBERTÉ, B. OSORIO-RODRIGUEZ et J. SAMSON, 2016. Effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec. Disponible en ligne à : <http://cc-bio.uqar.ca/>. [Visité le 2018-12-15].
- 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, 4623. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23050-w>.
- BHIRY, N., D. CLOUTIER, L. COUILLARD, A. GERVAIS, P. LAMARRE, M. NORMANDEAU et A. OUSMANE DIA, 2013. Évolution des hauts marais de l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent et stratégies de protection des espèces en situation précaire dans une perspective de changements climatiques. Remis à Consortium Ouranos du Québec, Université Laval, Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique et Faculté des sciences et de génie, et ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 134 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBhiry2013_FR.pdf.
- BLAUSTEIN, A.R., S.C. WALLS, B.A. BANCROFT, J.J. LAWLER, C.L. SEARLE et S.S. GERVAIS, 2010. Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*, 2 : 281-313. <https://doi.org/10.3390/d2020281>.
- BRICHERI-COLOMBI, T.A. et A. MOEHRENSCHLAGER, 2016. Alignment of threat, effort, and perceived success in North American conservation translocations. *Conservation Biology*, 30 : 1159-1172. <https://doi.org/10.1111/cobi.12743>.
- CHEN, I.-C., J.K. HILL, R. OHLEMULLER, D.B. ROY et C.D. THOMAS, 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333 : 1024-1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432>.
- [COSEPEC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2011. Évaluation et rapport de situation du COSEPEC sur la salamandre pourpre, population des Adirondacks et des Appalaches et population carolinienne (*Gyrinophilus porphyriticus*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, xvi + 56 p. Disponible en ligne à : http://www.registrelp.gc.ca/virtual_sara/files/cosewic/sr_salamandre_pourpre_0911_fra.pdf.
- DEITCHLER, E.A., J.M. DAVENPORT et W.H. LOWE, 2015. Homing behavior of the northern spring salamander, *Gyrinophilus porphyriticus*, in a Northeastern United States headwater stream. *Herpetological Conservation and Biology*, 10 : 235-241.
- DÉNOMÉE, N., 2011. Activités de suivi, de rétablissement et d'éducation pour le chardon de Mingan (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*). Comptendu 1995-2010, Parcs Canada, Unité de gestion de Mingan, 44 p.
- DÉNOMÉE, N., 2018. Situation du chardon de Mingan (*Cirsium scariosum* var. *scariosum*) à la réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan. Parcs Canada, Unité de gestion de Mingan, 7 p.
- DESROCHES, J.-F. et D. RODRIGUE, 2004. Amphibiens et reptiles du Québec et des Maritimes – Édition revue et augmentée. Éditions Michel Quintin, Waterloo, 288 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2011. Programme de rétablissement du satyre fauve des Maritimes (*Coenonympha nipisiquit*) au Canada [Proposition]. Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril, Environnement Canada, Ottawa, v + 26 p. Disponible en ligne à : https://www.registrelp-sararegistry.gc.ca/virtual_sara/files/plans/rs_maritime_ringlet_0611_f.pdf.
- ÉQUIPE DE RÉTABLISSMENT DE LA RAINETTE FAUX-GRILLON DE L'OUEST DU QUÉBEC, 2019. Plan de rétablissement de la rainette faux-grillon de l'Ouest (*Pseudoeccaris triseriata*) – 2019-2029. Produit pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, 65 p. Disponible en ligne à : https://mffp.gouv.qc.ca/documents/faune/PL_retablissement_Rainette_faux_grillon_2019-2029.pdf.

- ERNST, C.H. et E.M. ERNST, 2003. Snakes of the United States and Canada. Smithsonian Books, Washington, D.C., 668 p.
- FISHER, M.C. et T.W.J. GARNER, 2007. The relationship between the emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis*, the international trade in amphibians and introduced amphibian species. *Fungal Biology Reviews*, 21: 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2007.02.002>.
- GALATOWITSCH, S., L. FRELICH et L. PHILLIPS-MAO, 2009. Regional climate change adaptation strategies for biodiversity conservation in a midcontinental region of North America. *Biological Conservation*, 142: 2012-2022. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.03.030>.
- GALLAGHER, R.V., R.O. MAKINSON, P.M. HOGGIN et N. HANCOCK, 2015. Assisted colonization as a climate change adaptation tool. *Austral Ecology*, 40: 12-20. <https://doi.org/10.1111/aec.12163>.
- GALLOWAY, B.T., C.C. MUHLFELD, C.S. GUY, C.C. DOWNS et W.A. FREDENBERG, 2016. A framework for assessing the feasibility of native fish conservation translocations: Applications to threatened bull trout. *North American Journal of Fisheries Management*, 36: 754-768. <https://doi.org/10.1080/02755947.2016.1146177>.
- 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. <https://doi.org/10.7202/1042011ar>.
- GERMANO, J.M. et P.J. BISHOP, 2009. Suitability of amphibians and reptiles for translocations. *Conservation Biology*, 23: 7-15. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01123.x>.
- GRIFFITH, B., J.M. SCOTT, J.W. CARPENTER et C. REED, 1989. Translocation as a species conservation tool: Status and strategy. *Science*, 245: 477-480. <https://doi.org/10.1126/science.245.4917.477>.
- GRIFFITHS, C.J., N. ZUËL, V. TATAYAH, C.G. JONES, O. GRIFFITHS et S. HARRIS, 2012. The welfare implications of using exotic tortoises as ecological replacements. *PLoS ONE*, 7: e39395. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039395>.
- HAJJAR, R. et R.A. KOZAK, 2015. Exploring public perceptions of forest adaptation strategies in Western Canada: Implications for policy-makers. *Forest Policy and Economics*, 61: 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.08.004>.
- HÄLLFORS, M.H., S. AIKIO, S. FRONZEK, J.J. HELLMANN, T. RYTTÄRI et R.K. HEIKKINEN, 2016. Assessing the need and potential of assisted migration using species distribution models. *Biological Conservation*, 196: 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.01.031>.
- HÄLLFORS, M.H., S. AIKIO et L.E. SCHULMAN, 2017. Quantifying the need and potential of assisted migration. *Biological Conservation*, 205: 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.023>.
- HEWITT, N., N. KLENK, A.L. SMITH, D.R. BAZELY, N. YAN, S. WOOD, J.J. MACLELLAN, C. LIPSIG-MUMME et I. HENRIQUES, 2011. Taking stock of the assisted migration debate. *Biological Conservation*, 144: 2560-2572. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.04.031>.
- HOEGH-GULDBERG, O., L. HUGHES, S. MCINTYRE, D.B. LINDENMAYER, C. PARMESAN, H.P. POSSINGHAM et C.D. THOMAS, 2008. Assisted colonization and rapid climate change. *Science*, 321: 345-346. <https://doi.org/10.1126/science.1157897>.
- HUNTER, M.L. Jr., 2007. Climate change and moving species: furthering the debate on assisted colonization. *Conservation Biology*, 21: 1356-1358. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00780.x>.
- LIU, H., H. REN, Q. LIU, X. WEN, M. MAUNDER et J. GAO, 2015. Translocation of threatened plants as a conservation measure in China. *Conservation Biology*, 29: 1537-1551. <https://doi.org/10.1111/cobi.12585>.
- LOWE, W.H. et D.T. BOLGER, 2002. Local and landscape-scale predictors of salamander abundance in New Hampshire headwater streams. *Conservation Biology*, 16: 183-193. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00360.x>.
- MASCHINSKI, J., M.S. ROSS, H. LIU, J. O'BRIEN, E.J. VON WETTBERG et K.E. HASKINS, 2011. Sinking ships: Conservation options for endemic taxa threatened by sea level rise. *Climatic Change*, 107: 147-167.
- MCCOY, E.D., N. OSMAN, B. HAUCH, A. EMERICK et H.R. MUSHINSKY, 2014. Increasing the chance of successful translocation of threatened lizard. *Animal Conservation*, 17: 56-64.
- 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: 297-302. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00676.x>.
- MCLANE, S.C. et S.N. AITKEN, 2012. Whitebark pine (*Pinus albicaulis*) assisted migration potential: Testing establishment north of the species range. *Ecological Applications*, 22: 142-153. <https://doi.org/10.1890/11-0329.1>.
- [MELCC] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2018. Espèce menacée au Québec: Chardon écaillé. Disponible en ligne à: <http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/chardon/chardonEcailleux.pdf>. [Visité le 2018-11-01].
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2010. Liste des espèces fauniques menacées ou vulnérables au Québec – Salamandre pourpre. Disponible en ligne à: <https://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=24>. [Visité le 2018-02-15].
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2012. Liste des espèces fauniques menacées ou vulnérables au Québec – Couleuvre brune. Disponible en ligne à: <https://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=69>. [Visité le 2018-03-20].
- NANTEL, P. et D. CANTIN, 1998. La situation du chardon écaillé (*Cirsium scariosum*) au Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, 37 p.
- PEDLAR J., D. MCKENNEY, J. BEAULIEU, S. COLOMBO, J. MCLACHLAN, and G. O'NEILL, 2011. The implementation of assisted migration in Canadian forests. *The Forestry Chronicle*, 87 (06): 766-777. <https://doi.org/10.5558/tfc2011-093>.
- PETERS, R.L. et J.D.S. DARLING, 1985. The greenhouse effect and nature reserves. *Bioscience*, 35: 707-717. <https://doi.org/10.2307/1310052>.
- POULIOT, D., 2008. Rapport sur la situation de la couleuvre brune (*Storeria dekayi*) au Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Faune Québec, 26 p. Disponible en ligne à: <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/faune/especes/rapport-couleuvre-brune.pdf>.
- RICARD, M., N. BOUSQUET, A. LACHANCE et A. SIMARD (en préparation). La migration assistée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques : évaluation du potentiel d'utilisation au Québec. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, Service de la conservation de la biodiversité et des milieux humides, 76 p.
- RICHARDSON, D.M., J.J. HELLMANN, J.S. MCLACHLAN, D.F. SAX, M.W. SCHWARTZ, P. GONZALEZ, E. J. BRENNAM, A. CAMACHO, T.L. ROOT, O.E. SALA, S.H. SCHNEIDER, D.M. ASHE, J. RAPPAPORT CLARK, R. EARLY, J.R. ETTERSON, E.D. FIELDER, J.L. GILL, B.A. MINTEER, S. POLASKY, H.D. SAFFORD, A.R. THOMPSON et M. VELLEND, 2009. Multidimensional evaluation of managed relocation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 9721-9724. <https://doi.org/10.1073/pnas.0902327106>.
- 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 du Québec, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, 50 p. Disponible en ligne à: <https://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/pdf/Rapp-situation-SAOQ-2018.pdf>.
- ROULEAU, S., 2014. La relocalisation de la couleuvre brune (*Storeria dekayi*) comme mesure de mitigation dans le cadre du projet de prolongement du boulevard Thimens à Montréal. Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent, Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec, 42 p.

- SCHWARTZ, M.W. et T.G. MARTIN, 2013. Translocation of imperiled species under changing climates. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1286: 15-28. <https://doi.org/10.1111/nyas.12050>.
- SEMLITSCH, R.D., 2002. Critical elements for biologically based recovery plans of aquatic-breeding amphibians. *Conservation Biology*, 16: 619-629. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00512.x>.
- SUTTON, W.B., K. BARRETT, A.T. MOODY, C.S. LOFTIN, P.G. DEMAYNADIER et P. NANJAPPA, 2015. Predicted changes in climatic niche and climate refugia of conservation priority salamander species in the Northeastern United States. *Forests*, 6: 1-26. <https://doi.org/10.3390/f6010001>.
- TITTLE, I., 2013. Portrait de la situation de la salamandre pourpre au Québec et évaluation des populations prioritaires dans une optique de conservation. Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, ix + 86 p.
- TORREYA GUARDIANS, s.d. Disponible en ligne à : <http://www.torreyguardians.org>. [Visité le 2018-12-15].
- [UICN] UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE, 2012. Lignes directrices de l'UICN sur les réintroductions et les autres transferts aux fins de la sauvegarde. Commission de sauvegarde des espèces de l'UICN, Strasbourg, 38 p. Disponible en ligne à : <https://portals.iucn.org/library/node/45128>.
- 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: 46-52. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00043.x>.

Terminologie

Transfert : déplacement par l'homme d'organismes vivants d'un milieu à un autre (UICN, 2012). Le transfert englobe différents termes relatifs au déplacement d'espèces, comme la migration assistée, l'introduction, la réintroduction, la translocation et la relocalisation.

Migration assistée : déplacement intentionnel d'organismes pour les relâcher à l'extérieur de leur aire de répartition d'origine. Cette définition est adaptée de celle de l'UICN (2012), qui ajoute que l'opération doit être réalisée pour empêcher l'extinction d'une espèce ou d'une population. Ce critère supplémentaire a été exclu de la définition utilisée dans le présent article afin que celle-ci soit plus englobante et mieux adaptée à la terminologie déjà utilisée au Québec. Les termes *colonisation assistée*, *déplacement assisté*, *introduction bénigne* (UICN, 2012) et *extension artificielle d'aire de répartition* sont considérés comme des synonymes de la migration assistée.

Population source : population naturelle à partir de laquelle sont prélevés les organismes qui seront déplacés.

Site récepteur : milieu naturel dans lequel seront relâchés les organismes.

Annexe : Bénéfices, risques et contraintes associés à l'utilisation de la migration assistée comme mesure d'adaptation aux changements climatiques (inspiré de Hewitt et collab., 2011).

| Arguments | Références |
|--|--|
| Bénéfices | |
| Faciliter la migration des espèces lorsque les habitats sont fragmentés. | 2, 15, 18, 21, 24, 26, 29, 51, 57, 58, 59 |
| Faciliter la migration des espèces dont la capacité de dispersion est faible. | 22, 27, 29, 31, 38, 58, 59 |
| Prévenir les extinctions et la perte de biodiversité. | 9, 15, 21, 24, 30, 33, 37, 43, 44, 47, 48, 51, 56, 57, 58, 61 |
| Prévenir l'extinction d'espèces rares, en situation précaire ou dont les caractéristiques biologiques les rendent sensibles aux changements climatiques. | 1, 8, 14, 21, 22, 29, 34, 40, 60, 61 |
| Préserver, restaurer ou améliorer une fonction écologique au site récepteur. | 7, 11, 12, 15, 17, 21, 25, 30, 37, 38, 39, 40, 44, 57, 59, 61 |
| Améliorer la vigueur de l'espèce par croisement ou hybridation. | 60 |
| Favoriser la capacité d'adaptation d'une espèce au réchauffement climatique en déplaçant des individus aux génotypes adaptés à un climat plus chaud. | 24 |
| Bénéfices socioéconomiques liés à la préservation d'espèces dont la présence ou l'exploitation génèrent des profits. | 12, 18, 21, 40, 44, 53, 61 |
| Bénéfices culturels liés à la préservation d'espèces auxquelles une valeur importante est accordée. | 18, 37, 44 |
| Favoriser la mobilisation de la population pour la conservation. | 59 |
| Faire progresser la science de la conservation. | 55, 59 |
| Risques | |
| Invasion par l'espèce introduite. | 5, 9, 10, 11, 18, 20, 23, 29, 30, 33, 35, 38, 40, 43, 47, 54, 56, 58, 61, 62 |
| Propagation de parasites ou d'agents pathogènes. | 20, 24, 38, 40, 42, 43, 54, 61, 62 |
| Impacts sur les espèces, les écosystèmes ou les services écologiques du site récepteur. | 7, 10, 18, 20, 22, 27, 39, 42, 43, 44, 47, 51, 54, 58, 59, 61, 62 |
| Impacts du prélèvement d'individus sur la population source. | 35, 59 |
| Impacts génétiques : homogénéisation génétique, perte d'adaptations locales, hybridation et dépression hybride. | 4, 7, 20, 43, 53, 58, 60, 61 |
| Utilisation de ressources pouvant être employées pour d'autres priorités de conservation. | 13, 44, 53 |
| Impacts socioéconomiques liés au coût de mise en œuvre et aux impacts collatéraux. | 38, 44, 61 |
| Impacts culturels liés à la perte d'intégrité du patrimoine régional. | 44, 46 |
| Risques pour la sécurité publique liés à l'introduction de certaines espèces. | 24 |
| Contraintes | |
| Contraintes financières et logistiques. | 18, 20, 22, 24, 38, 40, 41, 44, 58, 61 |
| Difficulté de prélever un nombre suffisant d'individus (avec assez de diversité génétique) pour la migration d'une espèce rare. | 60 |
| Contraintes légales et politiques. | 28, 38, 44, 45, 46, 49, 50, 52, 58, 59, 61 |
| Acceptabilité sociale. | 16, 19, 36, 38, 44, 49, 50, 59 |
| Incertitude quant aux impacts potentiels sur les écosystèmes des sites récepteurs. | 3, 43, 49, 51, 62 |
| Disponibilité des habitats appropriés. | 24 |
| Incertitude et variabilité climatique. | 6, 38, 41, 61 |
| Mauvaise connaissance de la biologie de l'espèce et de son niveau de résilience quant aux changements climatiques ou à la translocation. | 20, 32, 51, 58 |
| Mauvaise connaissance des facteurs qui prédisposent une espèce introduite à devenir envahissante. | 29, 42 |
| Incertitude des modèles utilisés pour l'identification des sites récepteurs. | 20, 22, 29, 32, 33, 38, 51, 62 |

1. 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 : 95-111. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x>.
2. ATTORRE, F., T. ABELI, G. BACCHETTA, A. FARCOMENI, G. FENU, M. DE SANCTIS, D. GARGANO, L. PERUZZI, C. MONTAGNANI, G. ROSSI, F. CONTI et S. ORSENIGO, 2018. How to include the impact of climate change in the extinction risk assessment of policy plant species? *Journal for Nature Conservation*, 44 : 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.06.004>.
3. AUBIN, I., C.M. GARBE, S. COLOMBO, C.R. DREVER, D.W. MCKENNEY, C. MESSIER, J. PEDLAR, M.A. SANER, L. VENIER, A.M. WELLSTEAD, R. WINDER, E. WITTEN et C. STE-MARIE, 2011. Why we disagree about assisted migration: Ethical implications of a key debate regarding the future of Canada's forests. *The Forestry Chronicle*, 87 : 755-765. <https://doi.org/10.5558/tfc2011-092>.
4. BAKER, C.M., A. GORDON et M. BODE, 2017. Ensemble ecosystem modeling for predicting ecosystem response to predator reintroduction. *Conservation Biology*, 31 : 376-384. <https://doi.org/10.1111/cobi.12798>.
5. BELLEMARE, J., B. CONNOLLY et D.F. SAX, 2017. Climate change, managed relocation, and the risk of intra-continental plant invasions: A theoretical and empirical exploration relative to the flora of New England. *Rhodora*, 119 : 73-109. <https://doi.org/10.3119/16-10>.
6. BENITO-GARZÓN, M., M. HA-DUONG, N. FRASCARIA-LACOSTE et J. FERNÁNDEZ-MANJARRÉS, 2013. Habitat restoration and climate change: Dealing with climate variability, incomplete data, and management decisions with tree translocations. *Restoration Ecology*, 21 : 530-536. <https://doi.org/10.1111/rec.12032>.
7. BUCHAROVA, A., 2017. Assisted migration within species range ignores biotic interactions and lacks evidence: Missing evidence for assisted migration. *Restoration Ecology*, 25 : 14-18. <https://doi.org/10.1111/rec.12457>.
8. CHAPIN, F.S., K. DANELL, T. ELMQVIST, C. FOLKE et N. FRESCO, 2007. Managing climate change impacts to enhance the resilience and sustainability of Fennoscandian forests. *Ambio*, 36 : 528-533. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[528:MCCITE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[528:MCCITE]2.0.CO;2).
9. CHEN, J., C.H. CANNON et H. HU, 2009. Tropical botanical gardens: At the *in situ* ecosystem management frontier. *Trends in Plant Science*, 14 : 584-589. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.08.010>.
10. DAVIDSON, I. et C. SIMKANIN, 2008. Skeptical of Assisted Colonization. *Science*, 322 : 1048-1049. <https://doi.org/10.1126/science.322.5904.1048b>.
11. DUNWIDDIE, P.W. et D.L. ROGERS, 2017. Rare species and aliens: Reconsidering non-native plants in the management of natural areas. *Restoration Ecology*, 25 : S164-S169. <https://doi.org/10.1111/rec.12437>.
12. DUVENECK, M.J. et R.M. SCHELLER, 2015. Climate-suitable planting as a strategy for maintaining forest productivity and functional diversity. *Ecological Applications*, 25 : 1653-1668. <https://doi.org/10.1890/14-0738.1>.
13. FAZEY, I. et J. FISCHER, 2009. Assisted colonization is a techno-fix. *Trends in Ecology & Evolution*, 24 : 475. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.003>.
14. GALATOWITSCH, S., L. FRELICH et L. PHILLIPS-MAO, 2009. Regional climate change adaptation strategies for biodiversity conservation in a midcontinental region of North America. *Biological Conservation*, 142 : 2012-2022. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.03.030>.
15. GALLAGHER, R.V., R.O. MAKINSON, P.M. HOGBIN et N. HANCOCK, 2015. Assisted colonization as a climate change adaptation tool. *Austral Ecology*, 40 : 12-20. <https://doi.org/10.1111/aec.12163>.
16. GARNETT, S.T., K.K. ZANDER, S. HAGERMAN, T.A. SATTERFIELD et J. MEYERHOFF, 2018. Social preferences for adaptation measures to conserve Australian birds threatened by climate change. *Oryx*, 52 : 325-335. <https://doi.org/10.1017/S0030605316001058>.
17. GRIFFITHS, C.J., N. ZUËL, V. TATAYAH, C.G. JONES, O. GRIFFITHS et S. HARRIS, 2012. The welfare implications of using exotic tortoises as ecological replacements. *PLoS ONE*, 7 : e39395. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039395>.
18. HAGERMAN, S., H. DOWLATABADI, T. SATTERFIELD et T. MCDANIELS, 2010. Expert views on biodiversity conservation in an era of climate change. *Global Environmental Change*, 20 : 192-207. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.10.005>.
19. HAJJAR, R. et R.A. KOZAK, 2015. Exploring public perceptions of forest adaptation strategies in Western Canada: Implications for policy-makers. *Forest Policy and Economics*, 61 : 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.08.004>.
20. HANCOCK, N. et R. GALLAGHER, 2014. How ready are we to move species threatened from climate change? Insights into the assisted colonization debate from Australia. *Austral Ecology*, 39 : 830-838. <https://doi.org/10.1111/aec.12151>.
21. HAYWARD, M.W., 2009. Conservation management for the past, present and future. *Biodiversity and Conservation*, 18 : 765-775.
22. HELLER, N.E. et E.S. ZAVALTA, 2009. Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142 : 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>.
23. HELLMANN, J.J., J.E. BYERS, B.G. BIERWAGEN et J.S. DUKES, 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22 : 534-543. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x>.
24. HOEGH-GULDBERG, O., L. HUGHES, S. MCINTYRE, D.B. LINDENMAYER, C. PARMESAN, H.P. POSSINGHAM et C.D. THOMAS, 2008. Assisted colonization and rapid climate change. *Science*, 321 : 345-346. <https://doi.org/10.1126/science.1157897>.
25. HOF, A.R., C.C. DYMOND et D.J. MLADENOFF, 2017. Climate change mitigation through adaptation: The effectiveness of forest diversification by novel tree planting regimes. *Ecosphere*, 8 : e01981. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1981>.
26. HULME, P.E., 2005. Adapting to climate change: Is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42 : 784-794. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01082.x>.
27. HUNTER, M.L., 2007. Climate change and moving species: Furthering the debate on assisted colonization. *Conservation Biology*, 21 : 1356-1358. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00780.x>.
28. KLENK, N.L., 2015. The development of assisted migration policy in Canada: An analysis of the politics of composing future forests. *Land Use Policy*, 44 : 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.12.003>.

29. LAWLER, J.J., 2009. Climate change adaptation strategies for resource management and conservation planning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162: 79-98. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04147.x>.
30. LUNT, I.D., M. BYRNE, J.J. HELLMANN, N.J. MITCHELL, S.T. GARNETT, M.W. HAYWARD, T.G. MARTIN, E. McDONALD-MADDEN, S.E. WILLIAMS et K.K. ZANDER, 2013. Using assisted colonisation to conserve biodiversity and restore ecosystem function under climate change. *Biological Conservation*, 157: 172-177. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.08.034>.
31. MARSICO, T.D. et J.J. HELLMANN, 2009. Dispersal limitation inferred from an experimental translocation of *Lomatium* (Apiaceae) species outside their geographic ranges. *Oikos*, 118: 1783-1792. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17698.x>.
32. 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: 1080-1089. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x>.
33. 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: 297-302. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00676.x>.
34. MCLANE, S.C. et S.N. AITKEN, 2012. Whitebark pine (*Pinus albicaulis*) assisted migration potential: Testing establishment north of the species range. *Ecological Applications*, 22: 142-153. <https://doi.org/10.1890/11-0329.1>.
35. MUELLER, J.M. et J.J. HELLMANN, 2008. An assessment of invasion risk from assisted migration. *Conservation Biology*, 22: 562-567. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00952.x>.
36. NEFF, M.W. et B.M.H. LARSON, 2014. Scientists, managers, and assisted colonization: Four contrasting perspectives entangle science and policy. *Biological Conservation*, 172: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.02.001>.
37. PALMER, C. et B.M.H. LARSON, 2014. Should we move the whitebark pine? Assisted migration, ethics and global environmental change. *Environmental Values*, 23: 641-662. <https://doi.org/10.3197/096327114X13947900181833>.
38. PARK, A. et C. TALBOT, 2012. Assisted migration: Uncertainty, risk and opportunity. *The Forestry Chronicle*, 88: 412-419. <https://doi.org/10.5558/tfc2012-077>.
39. PARKER, K.A., M. SEABROOK-DAVISON et J.G. EWEN, 2010. Opportunities for nonnative ecological replacements in ecosystem restoration. *Restoration Ecology*, 18: 269-273. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00676.x>.
40. PEDLAR, J.H., D.W. MCKENNEY, I. AUBIN, T. BEARDMORE, J. BEAULIEU, L. IVERSON, G.A. O'NEIL, R.S. WINDER et C. STE-MARIE, 2012. Placing forestry in the assisted migration debate. *BioScience*, 62: 835-842. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.9.10>.
41. PEDLAR, J.H., D.W. MCKENNEY, I. AUBIN, L.R. IVERSON, R.S. WINDER, C. STE-MARIE et G.A. O'NEILL, 2013. Extreme climate variability should be considered in forestry assisted migration: A reply. *BioScience*, 63: 317-318. <https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.5.21>.
42. RAHEL, F.J., B. BIERWAGEN et Y. TANIGUCHI, 2008. Managing aquatic species of conservation concern in the face of climate change and invasive species. *Conservation Biology*, 22: 551-561. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00953.x>.
43. RICCIARDI, A. et D. SIMBERLOFF, 2009. Assisted colonization is not a viable conservation strategy. *Trends in Ecology & Evolution*, 24: 248-253. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.12.006>.
44. RICHARDSON, D.M., J.J. HELLMANN, J.S. MCLACHLAN, D.F. SAX, M.W. SCHWARTZ, P. GONZALEZ, E. J. BRENNAM, A. CAMACHO, T.L. ROOT, O.E. SALA, S.H. SCHNEIDER, D.M. ASHE, J. RAPPAPORT CLARK, R. EARLY, J.R. ETTERTSON, E.D. FIELDER, J.L. GILL, B.A. MINTEER, S. POLASKY, H.D. SAFFORD, A.R. THOMPSON et M. VELLEND, 2009. Multidimensional evaluation of managed relocation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 9721-9724. <https://doi.org/10.1073/pnas.0902327106>.
45. SANSILVESTRI, R., N. FRASCARIA-LACOSTE et J.F. FERNÁNDEZ-MANJARRÉS, 2015. Reconstructing a deconstructed concept: Policy tools for implementing assisted migration for species and ecosystem management. *Environmental Science & Policy*, 51: 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.005>.
46. SANSILVESTRI, R., N. FRASCARIA-LACOSTE et J. FERNÁNDEZ-MANJARRÉS, 2016. One option, two countries, several strategies: Subjacent mechanisms of assisted migration implementation in Canada and France. *Restoration Ecology*, 24: 489-498. <https://doi.org/10.1111/rec.12343>.
47. SAX, D.F., K.F. SMITH et A.R. THOMPSON, 2009. Managed relocation: A nuanced evaluation is needed. *Trends in Ecology & Evolution*, 24: 472-473. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.004>.
48. SCHLAEPFER, M.A., W.D. HELENBROOK, K.B. SEARING et K.T. SHOEMAKER, 2009. Assisted colonization: Evaluating contrasting management actions (and values) in the face of uncertainty. *Trends in Ecology & Evolution*, 24: 471-472. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.008>.
49. SCHWARTZ, M.W., J.J. HELLMANN, J.M. MCLACHLAN, D.F. SAX, J.O. BOREVITZ, J. BRENNAN, A.E. CAMACHO, G. CEBALLOS, J.R. CLARK, H. DOREMUS, R. EARLY, J.R. ETTERTSON, D. FIELDER, J.L. GILL, P. GONZALEZ, N. GREEN, L. HANNAH, D.W. JAMIESON, D. JAVELINE, B.A. MINTEER, J. ODENBAUGH, S. POLASKY, D.M. RICHARDSON, T.L. ROOT, H.D. SAFFORD, O. SALA, S.H. SCHNEIDER, A.R. THOMPSON, J.W. WILLIAMS, M. VELLEND, P. VITT et S. ZELLMER, 2012. Managed relocation: Integrating the scientific, regulatory, and ethical challenges. *BioScience*, 62: 732-743. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.8.6>.
50. SCHWARTZ, M.W., 2016. Elucidating biological opportunities and constraints on assisted colonization. *Applied Vegetation Science*, 19: 185-186. <https://doi.org/10.1111/avsc.12237>.
51. SEDDON, P.J., D.P. ARMSTRONG, P. SOORAE, F. LAUNAY, S. WALKER, C.R. RUIZ MIRANDA, S. MOLUR, H. KOLDEWEY et D.G. KLEIMAN, 2009. The risks of assisted colonization. *Conservation Biology*, 23: 788-789. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01200.x>.
52. SHIREY, P.D. et G.A. LAMBERTI, 2010. Assisted colonization under the U.S. Endangered Species Act. *Conservation Letters*, 3: 45-52. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2009.00083.x>.
53. SPEAR, D. et S.L. CHOWN, 2009. The extent and impacts of ungulate translocations: South Africa in a global context. *Biological Conservation*, 142: 353-363. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.031>.

54. STE-MARIE, C., 2014. Adapter l'aménagement forestier durable aux changements climatiques : examen de la migration assistée des espèces d'arbres et son rôle potentiel dans l'adaptation de l'aménagement forestier durable aux changements climatiques. Conseil canadien des ministres des forêts, Ottawa, 32 p. Disponible en ligne à : https://www.ccfm.org/pdf/CCFM_Assisted_Tree_Migration_November_2014_French.pdf.
55. SWARTS, N.D. et K.W. DIXON, 2009. Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *Annals of Botany*, 104 : 543-556. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp025>.
56. VAN DER VEKEN, S., M. HERMY, M. VELLEND, A. KNAPEN et K. VERHEYEN, 2008. Garden plants get a head start on climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6 : 212-216. <https://doi.org/10.1890/070063>.
57. VITT, P., K. HAVENS et O. HOEGH-GULDBERG, 2009. Assisted migration: Part of an integrated conservation strategy. *Trends in Ecology & Evolution*, 24 : 473-474. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.007>.
58. VITT, P., K. HAVENS, A.T. KRAMER, D. SOLLENBERGER et E. YATES, 2010. Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biological Conservation*, 143 : 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.08.015>.
59. WATSON, D.M. et M.J. WATSON, 2015. Wildlife restoration: Mainstreaming translocations to keep common species common. *Biological Conservation*, 191 : 830-838. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.08.035>.
60. WEEKS, A.R., C.M. SGRO, A.G. YOUNG, R. FRANKHAM, N.J. MITCHELL, K.A. MILLER, M. BYRNE, D.J. COATES, M.D.B. ELDRIDGE, M.F. BREED, E.A. JAMES et A.A. HOFFMANN, 2011. Assessing the benefits and risks of translocations in changing environments: A genetic perspective. *Evolutionary Applications*, 4 : 709-725. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2011.00192.x>.
61. WILLIAMS, M.I. et R.K. DUMROESE, 2013. Preparing for climate change: Forestry and assisted migration. *Journal of Forestry*, 111 : 287-297. <https://doi.org/10.5849/jof.13-016>.
62. WINDER, R., E. NELSON et T. BEARDMORE, 2011. Ecological implications for assisted migration in Canadian forests. *The Forestry Chronicle*, 87 : 731-744. <https://doi.org/10.5558/tfc2011-090>.



Groupe **Hemispheres**
L'heure juste en environnement



-  Évaluation environnementale
-  Gestion écologique du territoire
-  Conservation des lacs et cours d'eau

QUÉBEC MONTRÉAL LÉVIS www.hemis.ca
SANS FRAIS 1 866 569-7140 info@hemis.ca

LA FAUNE, notre mission, notre passion !

Grâce à la générosité de nos donateurs et aux contributions des chasseurs, pêcheurs et piégeurs, 270 projets de conservation de la faune ont été soutenus en 2019-2020 !

- Des initiatives réalisées par des organismes du milieu ;
- Sélectionnées avec rigueur par des experts ;
- Pour des impacts réels sur les milieux de vie de la faune.



Jean-Simon Bégin / Québec couleur nature

› **Faites partie du mouvement faunique !**

Devenez donateur mensuel : www.jedonneenligne.org/fondationdelafaune/CAMP/



Fondation
de la faune
du Québec



Gervais Comeau Conseiller en placement
gervais.comeau@iagto.ca - gervaiscomeau.com

iagestionprivee.ca



Yvan Bedard
PHOTONATURE
Ph.D. Prof. émérite
Neuville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046

yvan_bedard@hotmail.com

PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS

<http://yvanbedardphotonature.com>