

IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE POTENTIEL DE SURVIE DE HUIT ESPÈCES DE PLANTES  
VASCULAIRES EN SITUATION PRÉCAIRE AU QUÉBEC

Par  
Simon Tardif

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement  
et en développement durable en vue de  
l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Sous la direction de madame Kim Marineau

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Le 5 septembre 2019

## SOMMAIRE

Mots clés : Changements climatiques, espèces en situation précaire, impacts des changements climatiques, mesures de protection, espèces menacées, espèces vulnérables, plante vasculaire.

Le climat global se modifie à une vitesse alarmante. Selon le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, la température globale pourrait augmenter de 0,3 °C à 4,8 °C d'ici 2100. Le Québec serait également touché par les changements climatiques. Il est évalué que les écosystèmes propices aux espèces végétales tempérées et boréales pourraient subir une migration de 200 à 1200 kilomètres vers le nord, d'ici 2100. D'autres modifications du climat se feront également ressentir dans les précipitations annuelles, le couvert de neige, les périodes de croissance et les périodes de sécheresse.

L'objectif principal de cette production de fin d'études est d'évaluer le potentiel de survie de huit espèces de plantes vasculaires en situation précaire au Québec face aux changements climatiques. Ces espèces sont l'arabette du Québec (*Boechera quebecensis*), l'aristide à rameaux basilaires (*Aristida basiramea*), l'arnica de Griscom (*Arnica griscomii* subsp. *griscomii*), l'aspidote touffue (*Aspidotis densa*), la floerkée fausse-proserpinie (*Floerkea proserpinacoides*), le gaylussaquier de Bigelow (*Gaylussacia bigeloviana*), la phégoptère à hexagones (*Phegopteris hexagonoptera*) et le séneçon fausse-cymbalaire (*Packera cymbalaria*). L'étude de ces espèces et de leurs habitats a permis d'identifier 17 impacts potentiels différents des changements climatiques. Ces impacts concernent principalement l'augmentation de la compétition faite par l'introduction de nouvelles espèces, la perte ou la détérioration de l'habitat, la modification du taux de reproduction et d'autres impacts entravant la survie de ces espèces.

Finalement, des recommandations ont été formulées, afin de limiter les impacts des changements climatiques sur ces espèces au Québec. Ces recommandations ciblent des actions concrètes comme la lutte aux espèces envahissantes et la migration assistée. Celles-ci visent également les méthodes de suivi, les méthodes de gestion des populations et la réalisation d'études plus approfondies sur les espèces et les écosystèmes du Québec.

## **REMERCIEMENT**

Tout d'abord, j'aimerais remercier ma directrice d'essai, madame Kim Marineau, qui m'a accompagné et soutenu tout au long de la réalisation de cette production de fin d'études. J'ai grandement apprécié ses commentaires, sa disponibilité et sa confiance envers moi.

Merci à ma femme qui a été présente pour moi tout au long de ma maîtrise. Je n'aurais pas pu passer à travers sans son support et ses encouragements.

Je remercie également ma famille et mes amis qui ont toujours cru en moi et qui m'ont supporté tout au long de mon parcours scolaire.

# TABLE DES MATIÈRES

|  |    |
|--|----|
| Introduction.....  | 1  |
| 1. Les changements climatiques .....   | 4  |
| 1.1. Historique et présent .....   | 4  |
| 1.1.1. Température.....  | 5  |
| 1.1.2. Précipitations.....   | 6  |
| 1.1.3. Périodes de sécheresse .....  | 8  |
| 1.1.4. Couvert de neige et périodes de croissance .....                            | 9  |
| 1.1.5. Modifications sur la biodiversité .....                                     | 10 |
| 1.2 Projections.....   | 11 |
| 1.2.1. Température.....  | 12 |
| 1.2.2. Précipitations.....   | 13 |
| 1.2.3. Périodes de sécheresse .....  | 14 |
| 1.2.4. Couvert de neige et périodes de croissance .....                            | 16 |
| 1.2.5. Modifications sur la biodiversité .....                                     | 16 |
| 2. Impacts des changements climatiques sur les espèces en situation précaire ..... | 18 |
| 2.1. Biodiversité et espèce en situation précaire .....                            | 18 |
| 2.2. Cadre législatif concernant les espèces en situation précaire .....           | 19 |
| 2.2.1. Loi sur la conservation du patrimoine naturel .....                         | 19 |
| 2.2.2. Loi sur les espèces menacées ou vulnérables .....                           | 20 |
| 2.2.3. Loi sur les espèces en péril .....  | 20 |
| 2.3. Sélection des espèces à l'étude.....  | 21 |
| 2.4. Description des espèces sélectionnées .....                                   | 22 |
| 2.4.1. Arabette du Québec .....  | 22 |
| 2.4.2. Aristide à rameaux basilaires .....   | 25 |
| 2.4.3. Arnica de Griscom .....   | 27 |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.4. Aspidote touffue.....  | 29 |
| 2.4.5. Floerkée fausse-proserpinie .....  | 30 |
| 2.4.6. Gaylussaquier de Bigelow .....   | 32 |
| 2.4.7. Phégoptère à hexagones .....   | 34 |
| 2.4.8. Séneçon fausse-cymbalaire .....  | 37 |
| 2.5. Impacts potentiels des changements climatiques et autres menaces .....           | 39 |
| 2.5.1. Arabette du Québec .....   | 39 |
| 2.5.2. Aristide à rameaux basilaires .....  | 41 |
| 2.5.3. Arnica de Griscom .....  | 42 |
| 2.5.4. Aspidote touffue.....  | 43 |
| 2.5.5. Floerkée fausse-proserpinie .....  | 44 |
| 2.5.6. Gaylussaquier de Bigelow .....   | 46 |
| 2.5.7. Phégoptère à hexagones .....   | 47 |
| 2.5.8. Séneçon fausse-cymbalaire .....  | 49 |
| 3. Méthodologie .....   | 51 |
| 4. Résultats et discussion .....  | 54 |
| 4.1. Gravité d'impact pour les huit espèces à l'étude.....                            | 54 |
| 4.2. Discussion .....   | 63 |
| 5. Recommandations.....   | 66 |
| 5.1. Recommandations générales .....  | 66 |
| 5.2. Recommandations pour les impacts de priorité « urgente » et « importante » ..... | 67 |
| Conclusion .....  | 70 |
| Références.....   | 72 |

## LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Figure 1.1 Évolution des concentrations atmosphériques du dioxyde de carbone, du méthane et de l'oxyde nitreux.....                      | 5  |
| Figure 1.2 Variation des précipitations à l'échelle mondiale durant le XXe siècle .....  | 7  |
| Figure 1.3 Évolution de deux indicateurs de précipitation pour le Canada entre 1950 et 2003 .....  | 8  |
| Figure 1.4 Migration des isothermes projetée pour l'horizon 2080 .....   | 13 |
| Figure 1.5 Migration des isohyètes projetée pour l'horizon 2080 .....  | 15 |
| Figure 2.1 Photo de l'arabette du Québec .....   | 23 |
| Figure 2.2 Occurrences de l'arabette du Québec au Québec .....   | 23 |
| Figure 2.3 Photo de l'aristide à rameaux basilaires .....  | 25 |
| Figure 2.4 Occurrences de l'aristide à rameaux basilaires au Québec.....   | 26 |
| Figure 2.5 Photo de l'arnica de Griscom .....  | 27 |
| Figure 2.6 Occurrences de l'arnica de Griscom au Québec.....   | 28 |
| Figure 2.7 Photo de l'aspidote touffue.....  | 29 |
| Figure 2.8 Occurrences de l'aspidote touffue au Québec.....  | 30 |
| Figure 2.9 Photo de la floerkée fausse-proserpinie .....   | 31 |
| Figure 2.10 Occurrences de la floerkée fausse-proserpinie au Québec .....  | 31 |
| Figure 2.11 Photo du gaylussaquier de Bigelow .....  | 33 |
| Figure 2.12 Occurrences du gaylussaquier de Bigelow au Québec.....   | 34 |
| Figure 2.13 Photo de la phégoptère à hexagones.....  | 35 |
| Figure 2.14 Occurrences de la phégoptère à hexagones au Québec.....  | 36 |
| Figure 2.15 Photo du séneçon fausse-cymbalaire .....   | 37 |
| Figure 2.16 Occurrences du séneçon fausse-cymbalaire au Québec.....  | 38 |
| <br>   |    |
| Tableau 3.1 : Impacts potentiels des changements climatiques pour les huit espèces à l'étude .....                                       | 52 |
| Tableau 3.2 Classes de priorité des impacts potentiels des changements climatiques selon la gravité d'impact .....                       | 53 |
| Tableau 4.1 Impacts potentiels des changements climatiques pour l'arabette du Québec et les gravités d'impacts associées .....           | 55 |
| Tableau 4.2 Impacts potentiels des changements climatiques pour l'aristide à rameaux basilaires et les gravités d'impacts associées..... | 56 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau 4.3 Impacts potentiels des changements climatiques pour l’arnica de Griscom et les gravités d’impacts associées .....           | 57 |
| Tableau 4.4 Impacts potentiels des changements climatiques pour l’aspidote touffue et les gravités d’impacts associées .....            | 58 |
| Tableau 4.5 Impacts potentiels des changements climatiques pour la floerkée fausse-prosperinie et les gravités d’impacts associées..... | 59 |
| Tableau 4.6 Impacts potentiels des changements climatiques pour le gaylussaquier de Bigelow et les gravités d’impacts associées.....    | 60 |
| Tableau 4.7 Impacts potentiels des changements climatiques pour la phégoptère à hexagones et les gravités d’impacts associées.....      | 61 |
| Tableau 4.8 Impacts potentiels des changements climatiques pour le séneçon fausse-cymbalaire et les gravités d’impacts associées.....   | 62 |

## **LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES**

|                  |   |
|------------------|---|
| CH <sub>4</sub>  | Méthane   |
| CO <sub>2</sub>  | Dioxyde de carbone  |
| COSEPAC          | Comité sur la situation des espèces en péril au Canada  |
| CUFE             | Centre universitaire de formation en environnement et développement durable                       |
| GES              | Gaz à effet de serre  |
| GIEC             | Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat                                    |
| MDDELCC          | Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques |
| MELCC            | Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques                    |
| N <sub>2</sub> O | Oxyde nitreux   |



## LEXIQUE

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Aigrette                   | Faisceau de poils porté par divers fruits et graines et qui favorise leur dispersion par le vent (Larousse : Dictionnaire, s. d.a)  |
| Akène                      | Fruit sec à une seule graine non adhérente (FloraQuebeca, s. d.a)   |
| Calcicole                  | Se dit des espèces végétales qui se développent, exclusivement ou de préférence, sur les sols calcaires (Larousse : Dictionnaire, s. d.b)   |
| Écorégion                  | Région géographique caractérisée par des caractéristiques écologiques similaires, comme la santé des sols, la flore, la faune, les conditions climatiques, etc. (Yale school of forestry and environmental studies, s. d.). |
| Édaphique                  | Ce qui est relatif au sol (Larousse : Dictionnaire, s. d.c).  |
| Degrés-jours de croissance | Indicateur de croissance et de développement de la flore et de la faune, se basant sur l'accumulation de chaleur pour déterminer le taux de développement (Midwestern Regional Climate Center, s. d.).                      |
| Isohyète                   | Lignes reliant les points ayant les mêmes précipitations (Berteaux, 2014).  |
| Isotherme                  | Lignes reliant les endroits de même température (Berteaux, 2014).   |
| Migration assistée         | Déplacement effectué par l'être humain d'individus d'une population animale ou végétale en dehors de l'aire de répartition de l'espèce (Berteaux, 2014).  |
| Mucronée                   | Brusquement terminé en une pointe courte et raide appelée mucron (FloraQuebeca, s. d.b)   |
| Oblancéolée                | En forme de fer de lance renversé, c'est-à-dire la pointe en bas (FloraQuebeca, s. d.c)   |
| Obovée                     | En forme d'ove, mais avec la partie élargie en haut (FloraQuebeca, s. d.d)  |
| Stochastique               | Se dit d'un phénomène qui relève du hasard (Larousse : Dictionnaire, s. d.d)  |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Taïga                 | Formation végétale constituée de conifères au sud de la toundra (Larousse : Dictionnaire, s. d.e)   |
| Toundra               | Formation végétale des régions subpolaires (Larousse : Dictionnaire, s. d.f)  |
| Tourbière ombrotrophe | Type de tourbière qui n'est alimenté en eau que par les précipitations atmosphériques, desquelles provient également la seule source en éléments nutritifs, hormis celle venant de la décomposition des végétaux qui forment le substrat de la tourbière (Payette & Rochefort, 2001). |

## INTRODUCTION

Entre 1950 et 2015, la population mondiale est passée de 2,6 milliards à 7,3 milliards d'êtres humains sur Terre (Organisation des Nations unies, 2015). L'importante croissance démographique qu'a connue l'espèce humaine, au cours du dernier siècle, a entraîné une intensification de l'activité humaine. L'augmentation des populations humaines a nécessité une expansion des milieux urbains, une intensification de l'agriculture et de l'exploitation des ressources naturelles, un développement du réseau routier et une augmentation de biens d'autres activités. Toutes ces activités ont entraîné un grand empiètement sur le milieu naturel et ont causé de graves impacts sur la biodiversité faunique et floristique. (Conservation Nature, s. d.) De plus, cette croissance démographique n'est pas près de s'arrêter. Il est estimé que la population mondiale aura atteint 9,7 milliards d'êtres humains en 2050 et qu'elle atteindra 11 milliards vers 2100 (Organisation des Nations unies, 2015).

Les pertes et les détériorations qu'ont connues les milieux naturels ont fragilisé la biodiversité et ont entraîné une diminution de certaines populations animales et végétales. Ces diminutions de population ont conduit à une raréfaction de certaines espèces. Ces espèces portent désormais le statut d'espèce en voie de disparition, d'espèce en péril, d'espèce menacée ou d'espèce vulnérable (Gouvernement du Canada, s. d.a). Seulement au Québec, 116 espèces floristiques et fauniques ont un statut d'espèce menacée ou d'espèce vulnérable (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC], s. d.e). Une grande partie de ces espèces sont en situation précaire due à l'activité humaine qui a eu lieu dans leurs habitats. Cependant, depuis quelques années, un nouvel impact de l'activité humaine se fait ressentir sur les milieux naturels. Cet impact est causé par les changements climatiques. En effet, les changements climatiques et la perte de biodiversité sont considérés comme étant les principaux enjeux environnementaux de notre époque (Skogen, Helland et Kaltenborn, 2018).

À cause de la nouveauté de la prise de conscience du phénomène des changements climatiques et des impacts négatifs qui commencent à se faire ressentir, ce phénomène a grandement été étudié dans les dernières années (Baldwin, Jensen et Schönfeldt, 2013; Centre de la science de la biodiversité du Québec, 2012; Yu, Wang, Parr et Ahmed, 2014). De plus, plusieurs études ont été réalisées sur les impacts des changements climatiques sur des espèces animales en situation précaire et sur la biodiversité en général (Atmeh, Andruszkiewicz et Zub, 2018; Both, Bouwhuis, Lessells et Visser, 2006; Mallory, Campbell et Boyce, 2018). En 2016, Vincent Coutu a rédigé un essai, dans le cadre de sa maîtrise au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable (CUFE), portant sur les changements climatiques et la faune. Le titre de son essai était : « impact des changements climatiques sur certaines

espèces à statut précaire au Québec et analyse des mesures de protection actuelles ». Ce dernier portait sur les impacts des changements climatiques sur six espèces animales en situation précaire au Québec. (Coutu, 2016)

Bien qu'on retrouve un grand nombre d'études sur les changements climatiques et la faune, peu d'études ont été réalisées sur les impacts des changements climatiques sur des espèces floristiques en situation précaire au Québec, particulièrement les espèces se trouvant uniquement au sud du fleuve Saint-Laurent. C'est donc pour cela que mon essai portera sur ce sujet. Mon projet de fin d'études tentera de suivre la même approche que celle de Coutu (2016), afin de pousser le sujet des impacts des changements climatiques sur les espèces en situation précaire du Québec un peu plus loin.

Ainsi, l'objectif général de cette production de fin d'études est d'évaluer le potentiel de survie de certaines espèces floristiques en situation précaire du sud du Québec face aux changements globaux. Pour atteindre ce but, quelques sous-objectifs ont été identifiés. Le premier est de dresser un portrait des changements climatiques qui ont eu lieu dans le passé, qui ont lieu actuellement et qui auront lieu dans le futur. Ensuite, afin d'estimer le potentiel de survie de ces espèces, il serait intéressant d'évaluer la possibilité pour ces espèces de coloniser de nouveaux territoires au nord du fleuve Saint-Laurent, grâce à leur mode de reproduction et de dispersion spécifique. Le troisième sous-objectif est d'évaluer l'impact que les changements climatiques auront sur les espèces à l'étude et sur leurs habitats, suite à l'augmentation de température, la modification des précipitations, à l'arrivée de nouvelles espèces sur le territoire québécois, etc. Finalement, une énumération des mesures qui devraient être prises afin de permettre à ces espèces de survivre aux changements climatiques devra être réalisée.

La recherche de toutes ces informations s'est faite grâce à la revue de la littérature, aucune entrevue ou collecte de données sur le terrain n'a été réalisée. Pour s'assurer de la qualité et de la validité des sources trouvées, de l'information récente, provenant d'auteurs crédibles et qui a été vérifiée par les pairs, a été priorisée lorsque possible. Ensuite, la méthode d'analyse des impacts des changements climatiques s'est inspirée de Coutu (2016), afin d'obtenir des résultats comparables. Cela permettra d'obtenir une bonne vue d'ensemble des impacts des changements climatiques sur les plantes et animaux en situation précaire au Québec.

Cette production de fin d'études est présentée en cinq chapitres. Le premier chapitre présente une description du phénomène des changements climatiques historiques et actuels et présente les projections pour le futur. Cette description est divisée selon divers indicateurs des changements climatiques susceptibles d'avoir un impact sur les plantes, soit, la température, les précipitations, les périodes de

sécheresse, le couvert de neige, les périodes de croissance et les modifications sur la biodiversité. Le deuxième chapitre explique pourquoi il est important d'étudier les espèces en situation précaire et présente les mesures de protection actuelles concernant ces espèces. Ce chapitre décrit également les caractéristiques des huit espèces à l'étude. Suite à cette description, les impacts des changements climatiques sur chacune des huit espèces sont dépeints. Le troisième chapitre présente la méthodologie utilisée. Le quatrième chapitre présente une évaluation de la gravité de chacun de ces impacts, selon l'effet de l'impact, l'importance de l'impact et la vitesse de l'impact sur l'espèce. Finalement, dans le cinquième chapitre des recommandations sont formulées, dans le but de limiter les impacts des changements climatiques sur ces espèces au Québec.

## **1. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

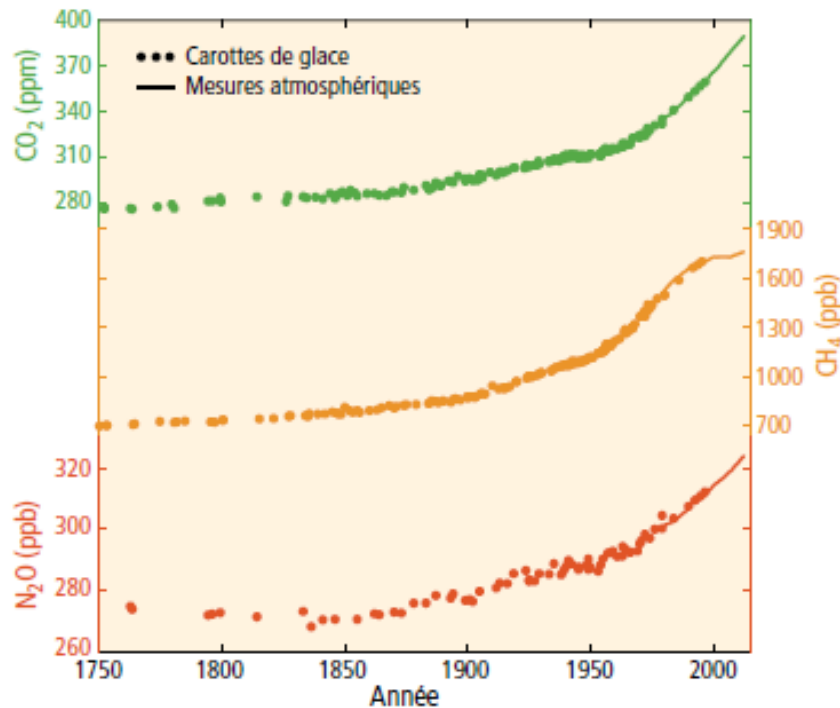
Ce premier chapitre présente une synthèse du phénomène des changements climatiques. Les données propres au Québec seront priorisées. Cependant, des données sur le Canada ou à l'échelle mondiale sont utilisées, si les données sur le Québec ne sont pas disponibles. Ce chapitre met en évidence les changements climatiques jusqu'à ce jour (section 1.1) et les projections de ceux-ci provenant de modélisations (section 1.2). Les modélisations des changements climatiques comportent des incertitudes, qui seront décrites à la section 1.2 et doivent donc être interprétées avec précaution. Les indicateurs des changements climatiques qui seront analysés dans ce chapitre sont la température, les précipitations, les périodes de sécheresse, le couvert de neige et les périodes de croissance, ainsi que les modifications réelles ou attendues sur la biodiversité. Il existe de nombreux autres indicateurs des changements climatiques comme les nuages, le vent, les tempêtes, les ouragans, les feux de forêt, etc. Cependant, les données concernant ces indicateurs ne sont pas suffisantes, elles sont parfois contradictoires et les projections sont souvent non significatives. De plus, d'autres indicateurs qui sont étudiés, tels le couvert de glace, la modification des océans, le pergélisol, etc. n'ont pas d'impact direct révélé sur la flore terrestre du sud du Québec. C'est pour toutes ces raisons que ces indicateurs n'ont pas été pris en compte dans cet essai.

### **1.1. Historique et présent**

Les gaz à effet de serre (GES) sont des gaz présents de façon naturelle dans l'atmosphère terrestre. Ceux-ci participent au phénomène naturel de l'effet de serre de la Terre. Ce phénomène naturel fait en sorte que la température moyenne terrestre est de 14 °C et non de -19 °C (Berteaux, 2014). Cependant, l'être humain a grandement affecté les concentrations naturelles de GES. En effet, depuis la révolution industrielle une augmentation importante des émissions de GES, causée par la combustion d'énergie fossile, a été observée. La figure 1.1 illustre l'évolution, de 1750 à 2014, de la concentration du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), du méthane (CH<sub>4</sub>) et de l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), qui sont tous des GES. L'effet de l'augmentation des GES, combinée à d'autres facteurs anthropiques, est probablement la cause principale des changements climatiques (Baer et Singer, 2018). Ces changements observés dans le passé et qui semblent s'amplifier aujourd'hui sont résumés dans les sous-sections suivantes, en fonction des différents indicateurs sélectionnés précédemment.

### 1.1.1. Température

La variation de température est l'indicateur des changements climatiques le plus observé et le plus étudié partout autour du globe. Les résultats obtenus, par l'observation de tendances, lors d'études sur les changements climatiques, peuvent toutefois être assez différents les uns des autres. Ces différences de résultat peuvent être expliquées par la grande variabilité des températures moyennes d'une décennie à l'autre et parfois même d'une année à l'autre. Un événement météorologique exceptionnel, comme le plus fort El Niño en 1998, peut causer une variation importante de température entre deux années consécutives (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC], 2014). Les tendances de température calculées sur de courtes périodes sont donc très sensibles à la date de début et de fin de cette période. C'est donc pour cela que les tendances de températures calculées sur de longues périodes sont à favoriser.



**Figure 1.1 Évolution des concentrations atmosphériques du dioxyde de carbone (vert), du méthane (orange) et de l'oxyde nitreux (rouge) (tiré de : GIEC, 2014)**

Depuis le début du XXe siècle, la température moyenne mondiale a subi une augmentation de 0,74 °C, soit une augmentation de 0,074 °C par décennie (Bertheaux, 2014). Cependant, le taux de réchauffement s'est grandement accéléré, dans les cinquante dernières années et est passé à un réchauffement de 0,13 °C par décennie (Solomon et al., 2007).

L'ampleur des changements de température varie selon la localisation et les saisons. En effet, les régions situées à des latitudes plus grandes sur le globe ont subi des réchauffements climatiques plus importants que les régions plus près de l'équateur (Solomon et al., 2007). De plus, l'altitude, indépendamment de la latitude d'un site, aurait un impact sur le taux de réchauffement. En effet, de plus en plus de preuves scientifiques viennent appuyer le fait que le taux de réchauffement serait plus important à des altitudes élevées, peu importe la latitude du site. (Pepin et al., 2015) Un autre constat qui a été observé, concernant le taux de réchauffement, est que ce dernier subirait des variations saisonnières tout au long de l'année. Par exemple, au Canada, les plus grands taux de réchauffements climatiques, depuis 1950, ont été observés en hiver et au printemps. (Bush, Loder, James, Mortsch et Cohen, 2014)

Au Québec, la situation est légèrement différente que pour le reste du Canada et du monde. Entre 1961 et 2005, la température moyenne au Québec a connu un réchauffement de 0,28 °C par décennie (Berteaux, 2014). Cet accroissement du taux de réchauffement a conduit à un réchauffement de la température moyenne annuelle de 1 °C à 3 °C pour toutes les régions du Québec (Ouranos, 2015). La modification saisonnière du taux de réchauffement ne fait pas exception au Québec. Cependant, contrairement à la moyenne canadienne, c'est durant l'été que le taux de réchauffement est le plus élevé, soit à 0,34 °C par décennie. C'est ensuite durant le printemps que le réchauffement a été le plus marqué (0,33 °C par décennie) et vient ensuite l'hiver (0,25 °C par décennie) et l'automne (0,19 °C par décennie). De plus, les variations de température ont été plus importantes au nord du Québec qu'au sud de la province. Par exemple, l'augmentation moyenne de température dans la toundra et la taïga ont été respectivement de 0,30 °C et 0,33 °C par décennie. Dans les écorégions plus au sud, comme la forêt septentrionale et la forêt tempérée de l'Est, le réchauffement était de 0,23 °C et 0,16 °C par décennie. (Berteaux, 2014)

L'augmentation des températures ambiantes aura de nombreux impacts sur les écosystèmes du Québec. Par exemple, une température plus chaude fera en sorte de devancer le printemps, de rallonger la période de croissance des plantes, d'augmenter la productivité des écosystèmes et de modifier les périodes de gel (Ouranos, 2015). Certains de ces impacts seront décrits dans les prochaines sections.

### **1.1.2. Précipitations**

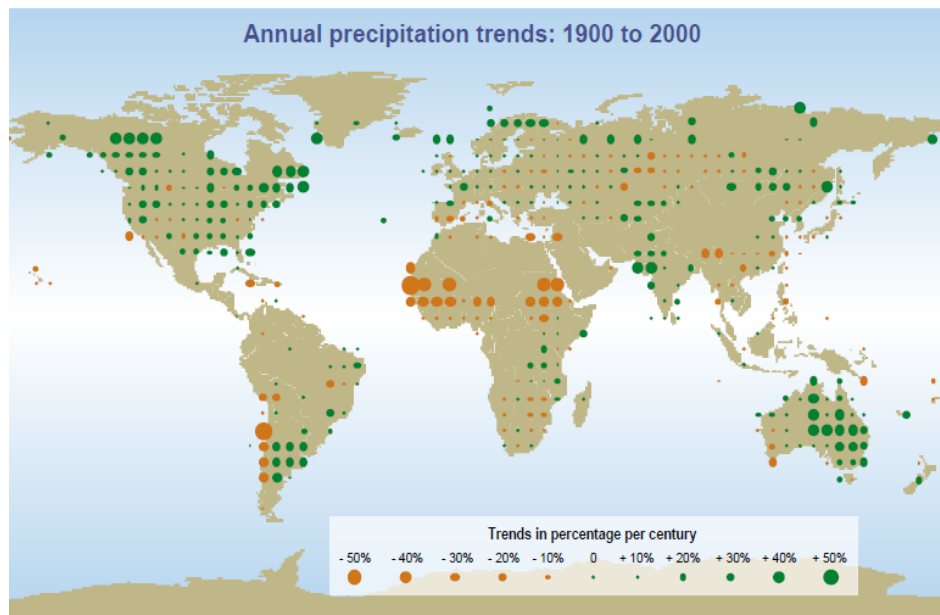
Le réchauffement de la température globale a un impact direct sur les précipitations à travers le monde, car la capacité de rétention en eau de l'air est directement liée à la température. Une augmentation d'un degré Celsius permet à l'air de retenir sept pour cent plus de vapeur d'eau. L'augmentation de



température à la surface du globe, qui a été observée au XXe siècle, entraîne donc une augmentation de la concentration en vapeur d'eau dans l'air. À cause des courants aériens dominant sur la planète, les concentrations de vapeur dans l'air, du même coup les précipitations, sont déplacées des zones arides (équateur) vers les régions plus tempérées ou humides (latitude plus grande) (Trenberth, 2011). La figure 1.2 illustre bien le fait qu'au cours du dernier siècle, les précipitations ont diminué dans les régions arides et ont augmenté dans les régions plus tempérées et humides.

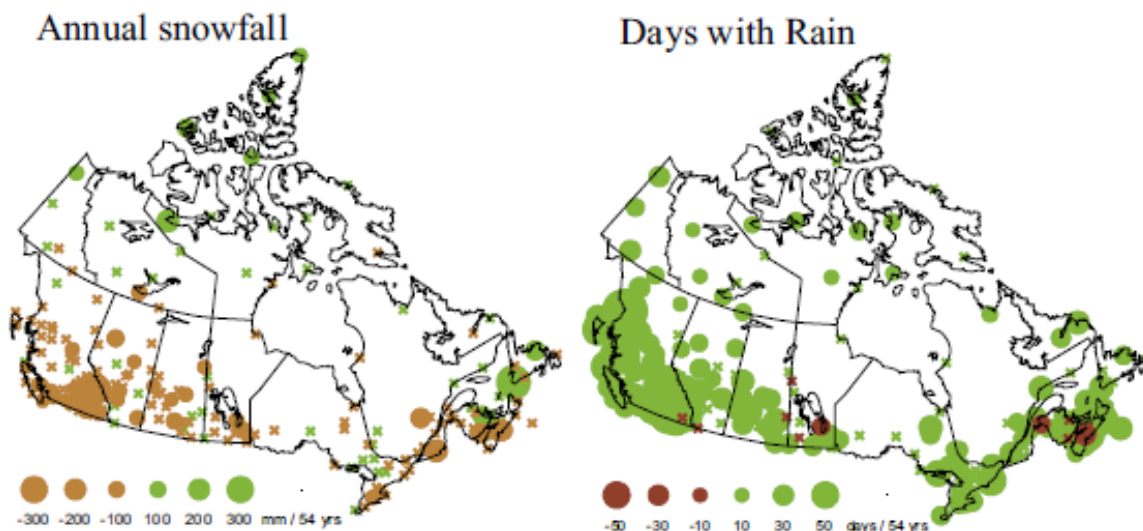
Au Québec, entre 1961 et 2005, une hausse de la quantité de précipitation a été observée pour toutes les régions de la province. Cependant, la variation des précipitations a été plus importante pour les régions situées plus au nord. Les précipitations ont augmenté en moyenne de 5,2 millimètres par décennie pour les régions du Sud (forêt septentrionale et forêt tempérée de l'Est). Pour les régions du Nord, comme la cordillère arctique, la toundra et la taïga, les précipitations ont augmenté en moyenne de 40,8 millimètres par décennie. (Berteaux, 2014)

Dans le sud du Québec, c'est au printemps et à l'automne qu'on retrouve les plus grandes augmentations de précipitation. La saison printanière est caractérisée par une augmentation de la quantité de pluie et une diminution des précipitations de neige. On constate également une diminution des quantités de précipitations lors de la saison hivernale, dans le sud du Québec. (Ouranos, 2015)



**Figure 1.2** Variation des précipitations à l'échelle mondiale durant le XXe siècle (tirée de Gitay, Suárez, Watson et Dokken, 2002)

Cette diminution des précipitations en hiver a causé une diminution des chutes de neige d'environ 200 millimètres par année, pour les régions au sud du fleuve Saint-Laurent, entre 1950 et 2003 (figure 1.3). De plus, comme il est illustré à la figure 1.3, le nombre de jours de pluie par année dans le sud du Québec a augmenté en moyenne de 20 à 30 jours, entre 1950 et 2003. Durant cette même période, l'intensité des précipitations, sous forme de pluie, a diminué d'environ trois millimètres de pluie par jour. (Vincent et Mekis, 2006) Le sud du Québec reçoit donc moins de neige en hiver et davantage de pluie durant les autres saisons, particulièrement au printemps.



**Figure 1.3 Évolution de deux indicateurs de précipitation (quantité de neige et jours avec pluie) pour le Canada entre 1950 et 2003 (modifié de Vincent et Mekis, 2006)**

### 1.1.3. Périodes de sécheresse

Une période de sécheresse est définie comme une période où les conditions météorologiques sont anormalement sèches et le sont sur une période suffisamment prolongée pour causer un déséquilibre hydrologique à l'environnement (Ouranos, 2015). Les conséquences des périodes de sécheresse sur la biodiversité dépendent de plusieurs conditions de l'environnement et de la capacité des espèces à s'y adapter. En général, lors de périodes de sécheresse, la productivité des écosystèmes semble diminuer et la mortalité animale et végétale semble augmenter. Chez les plantes, la sécheresse limite la croissance aérienne et racinaire et affecte leurs processus physiologiques, telle la production de fleurs et de graines (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita et Basra, 2009). Plus la période de sécheresse est longue, plus les impacts sur la plante seront importants.

Ce ne sont pas toutes les espèces qui sont affectées avec la même intensité par la sécheresse. Les espèces préférant des habitats frais ou humides et celles avec un taux de reproduction ou une mobilité plus faible semblent plus sensibles que les autres aux périodes de sécheresse (Clark et al., 2016).

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'intensité et la durée d'une période de sécheresse. Une augmentation importante de la température ambiante, comme celle qui a été observée dans les dernières décennies, entraînera une plus grande évapotranspiration chez les végétaux et augmentera la capacité de rétention en eau de l'air. Ces deux impacts de l'augmentation de la température contribuent à la diminution de la disponibilité de l'eau dans le sol et ainsi à l'assèchement du sol (Trenberth, 2011). Cet assèchement du sol combiné à la diminution des précipitations durant la période estivale amplifie l'intensité et la durée des périodes de sécheresse.

Différentes études sur l'évolution des périodes de sécheresse, au cours des dernières décennies, ont été menées pour le territoire canadien et québécois. Entre 1950 et 2003, le nombre maximal de jours consécutifs sans précipitation a diminué jusqu'à 10 jours pour certains secteurs du Sud-Ouest du Canada (Vincent et Mekis, 2006). Le sud du Québec a connu une diminution moins importante. En effet, entre 1901 et 2010, selon le secteur du sud du Québec, le nombre maximal de jours consécutifs sans précipitation n'a diminué que de 2 jours par décennie ou n'a tout simplement pas diminué (Ouranos, 2015). Ces diminutions dans le nombre de jours consécutifs sans précipitation dans le sud du Québec affectent légèrement à la baisse l'intensité des périodes de sécheresse.

#### **1.1.4. Couvert de neige et périodes de croissance**

Depuis la moitié du XXe siècle, la durée d'enneigement annuelle a diminué de deux jours par décennie au Québec (Ouranos, 2015). Comme il a été vu à la section 1.1.2, l'accumulation de neige durant l'hiver a également diminué d'environ 200 mm, durant cette même période (Vincent et Mekis, 2006). De plus, l'augmentation de la température ambiante au printemps et à l'automne dans le sud du Québec a fait en sorte que le premier gel se produit plus tardivement et que le dernier se produit plus hâtivement. L'augmentation de la température ambiante et l'arrivée plus hâtive du printemps ont mené à l'allongement de la saison de croissance pour les végétaux. En effet, un allongement de la saison de croissance de zéro à quarante jours a été observé, selon la région du Québec entre 1950 et 2007 (Zhang et al., 2010).

Cet allongement de saison de croissance associé à l'augmentation de la température ambiante engendre une augmentation du nombre de degrés-jours de croissance. Le degré-jour de croissance est une mesure

de la quantité totale de chaleur qui est disponible annuellement pour la croissance des végétaux. Un faible nombre de degrés-jours de croissance dans une région limitera la possibilité de certaines plantes à s'y établir. Le sud du Québec, entre 1961 et 2005, a connu une augmentation de 26 à 31 degrés-jours de croissance par décennie. Le nord du Québec a, quant à lui, subi une augmentation de 32 à 64 degrés-jours de croissance par décennie, durant cette même période.

#### **1.1.5. Modifications sur la biodiversité**

Le climat est l'un des principaux facteurs dictant la répartition géographique de la faune et de la flore, la productivité de celle-ci et la composition en espèces d'une région. De nombreux êtres vivants ne peuvent réussir à se reproduire et à croître que dans une certaine échelle de température et de conditions environnementales spécifiques. (Gitay et al., 2002) Les changements climatiques peuvent donc affecter les populations animales et végétales ainsi que leurs habitats, à un point tel que les conditions de l'habitat ne seraient plus propices à l'espèce. Dans l'éventualité où les conditions environnementales de l'habitat d'une population donnée seraient modifiées, deux solutions s'offrent à cette population. Pour survivre, cette dernière devra s'adapter rapidement aux nouvelles conditions de son habitat ou elle devra se déplacer dans un habitat où les conditions environnementales nécessaires à sa survie sont présentes. (Berteaux, 2014) Cependant, si ni l'adaptation et ni le déplacement de la population n'est possible, l'extinction de cette population se fera plus ou moins rapidement.

La hausse de température et le dérèglement de la période de croissance, qui ont été décrits à la section 1.1.4., peuvent avoir d'importantes conséquences sur les espèces végétales. En effet, des individus qui débuteraient leurs croissances trop hâtivement seraient menacés par l'arrivée d'un gel tardif. À l'inverse, les individus débutant leurs croissances trop tardivement subiraient une plus grande compétition avec les autres individus du milieu. Ces individus pourraient également manquer de temps avant la fin de la période de croissance pour effectuer un cycle de vie complet. (Berteaux, 2014)

La phénologie est une science qui vise à décrire les phénomènes périodiques annuels marquant la vie des espèces animales et végétales. Ces phénomènes sont la floraison, la fructification, la nidification, l'hibernation, la migration, etc. (Berteaux, 2014) Les changements climatiques, qui ont été observés dans les dernières décennies, ont grandement affecté ces phénomènes périodiques chez différentes espèces animales et végétales autour du globe.

Au Québec, la période de floraison du tussilage pas-d'âne (*Tussilago farfara*) débute 15 à 31 jours plus tôt aujourd'hui que dans les années 1920 (Berteaux, 2014). Certaines plantes européennes ont connu un

allongement de leur période de floraison de plus de 11 jours, entre 1959 et 1993. Plusieurs espèces d'oiseaux ont adopté une période de reproduction plus hâtive. (Gitay et al., 2002) Cet avancement de la période de reproduction peut avoir de graves conséquences sur ces populations. En effet, la nouvelle période d'éclosion peut ne plus concorder avec la période d'abondance en nourriture, ce qui limite la disponibilité alimentaire et les chances de survie des jeunes.

De plus, le déplacement des aires de répartition de plusieurs espèces a été constaté à l'échelle mondiale. Une méta-analyse de différentes études sur le sujet a permis d'établir que les répartitions géographiques des espèces à travers le monde ont migré en moyenne vers les pôles de 17 kilomètres par décennie. Une migration en altitude de 11 mètres par décennie a également été observée. (Chen, Hill, Ohlemüller, Roy et Thomas, 2011) Ce déplacement des aires de répartition est en lien avec le déplacement de l'habitat potentiel de chaque espèce vers les pôles. Les espèces doivent donc se déplacer à un rythme similaire, afin de suivre leur habitat potentiel. Le déplacement des aires de répartition du sud vers le Canada provoque l'immigration de nouvelles espèces animales et végétales sur ce territoire. Ces nouvelles espèces viennent compétitionner avec les espèces indigènes et viennent ainsi diminuer les chances de survie de ces dernières. (Ouranos, 2015)

## **1.2 Projections**

L'analyse des changements climatiques passés laisse croire que ceux-ci ne ralentiront pas dans les années futures. Afin de prévoir l'impact qu'auront les changements climatiques sur les différentes régions de la planète, de nombreux chercheurs ont créé des modèles climatiques globaux ou régionaux. Ces différents modèles de projections obtiennent des résultats similaires jusqu'en 2050. Cependant, une différence de quelques degrés entre les modèles apparaît dans les résultats pour la fin du siècle (Bertheaux, 2014).

Ces divergences entre les résultats des nombreux modèles de projections peuvent être expliquées par diverses incertitudes émanant de la modélisation. La principale cause d'écart entre les prédictions d'un modèle à l'autre provient des hypothèses sur la quantité de GES qui seront émis d'ici la fin du siècle (Bertheaux, 2014). Étant donné que les études n'utilisent pas toutes les mêmes projections d'émissions de GES dans le futur, les résultats concernant leurs impacts sont donc divergents. Une autre cause d'incertitude est due aux différences de fonctionnement des nombreux modèles de prédiction (Bertheaux, 2014). Étant donné que les modèles climatiques n'utilisent pas les mêmes équations ni les mêmes paramétrages, les résultats de ces modélisations ne sont forcément pas les mêmes. Finalement, l'utilisation de différentes bases de données de conditions climatiques initiales et d'échelle spatiale génère

une certaine incertitude dans les scénarios de prédiction (Berteaux, 2014). L'utilisation des données climatiques sur une échelle temporelle donnée permet de représenter l'évolution des changements climatiques historiques, qui sont les données à la base des modélisations. Donc, le fait d'utiliser une échelle temporelle différente affectera forcément les projections climatiques. De plus, comme il l'a été démontré dans la section 1.1, l'évolution des indicateurs des changements climatiques n'est pas la même si l'analyse est faite à l'échelle du globe, du Canada ou du Québec. Il est donc important d'interpréter les résultats des modélisations avec précaution.

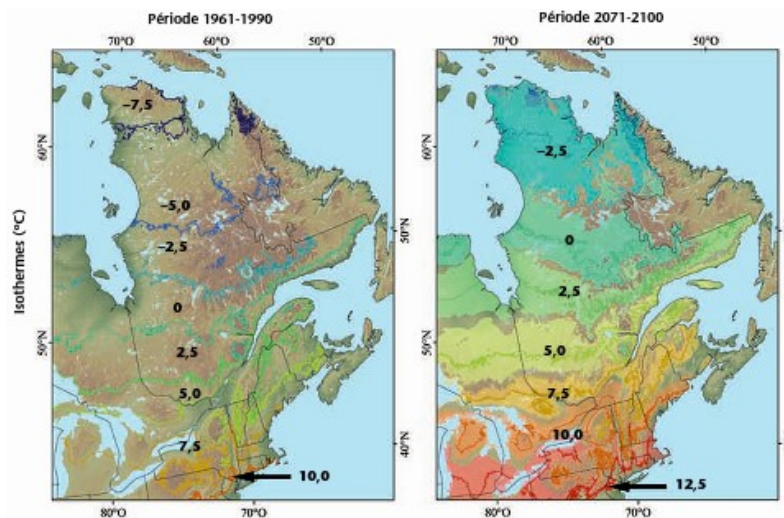
### **1.2.1. Température**

Les méta-analyses d'un grand nombre d'études sur le réchauffement climatique permettent de dire que l'augmentation de la température qui a été observée durant le XXe siècle ne cessera pas au cours du prochain siècle (Berteaux, 2014; GIEC, 2014). En effet, le GIEC (2014) évalue, par ses projections, une augmentation de la température globale de 0,3 °C à 4,8 °C, pour l'horizon 2081-2100, selon le scénario d'émission de GES choisi. Avec l'accord de Paris de 2016, les 195 pays signataires ont montré leur désir de maintenir l'augmentation de la température moyenne sous la barre des 2,0 °C, ce qui pourrait être grandement inférieur à la prédiction d'une augmentation de 4,8 °C pour l'horizon 2081-2100. De plus, ces signataires voudraient continuer les efforts afin de limiter cette hausse à 1,5 °C. (Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, 2018) Il est clair qu'une augmentation de la température globale, même de l'ordre de 1,5 °C, aura d'importantes conséquences sur les écosystèmes. Par exemple, une hausse de température de 1,5 °C à 2,0 °C devrait faire augmenter respectivement la probabilité d'une vague de chaleur, se produisant tous les 20 ans dans le climat actuel, de 130 % à 340 % (Kharin et al., 2018). Selon les prédictions des projections du GIEC, le réchauffement des régions arctiques se fera plus rapidement que la moyenne mondiale. Les vagues de chaleur, au cours des différentes saisons, se feront plus fréquentes et dureront plus longtemps. Cependant, même avec cette importante augmentation de température annuelle, des vagues de froid extrême pourront tout de même se produire. (GIEC, 2014)

Pour le Québec, les scénarios prévoient une augmentation de la température moyenne de 1,1 °C à 5,4 °C et de 1,9 °C à 8,2 °C, d'ici 2050 et 2080 respectivement (Berteaux, 2014). Cette augmentation de la température moyenne au Québec sera plus importante en hiver qu'en été. De plus, le réchauffement sera plus marqué dans le nord et dans le centre de la province que dans le sud. En effet, les gains de température prévus pour le centre et le nord du Québec sont d'environ 3 °C à 6 °C, pour l'horizon 2041-2070 et d'environ 5 °C à 10 °C, pour l'horizon 2071-2100. Tandis que pour le sud du Québec, la projection est une augmentation de température d'environ 2 °C à 4 °C, pour 2041-2070 et d'environ 4 °C à 7 °C, pour

2071-2100. (Ouranos, 2015) Dans le sud du Québec, c'est durant l'été que les plus grandes augmentations de température sont prévues.

Ces augmentations de température feront également en sorte de déplacer vers le nord le climat propre à une région. En 2080, le climat ressenti présentement sur l'île de Montréal se sera déplacé de 240 kilomètres vers le nord, pour rejoindre La Tuque et Roberval. À cette même période, la température sur l'île de Montréal devrait être similaire à la température actuelle de Philadelphie et de Chicago, qui sont à plus de 600 kilomètres au sud. (Bertheaux, 2014) C'est donc tous les isothermes qui subiront un déplacement géographique vers le nord au cours du prochain siècle. La figure 1.4 illustre la migration vers le nord des isothermes du Québec pour l'horizon 2080. Ce ne sont pas tous les isothermes qui subiront la même amplitude de déplacement. En effet, l'isotherme  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , qui caractérise la forêt boréale, se déplacera de 750 kilomètres vers le nord (Bertheaux, 2014).



**Figure 1.4 Migration des isothermes projetée pour l'horizon 2080** (tiré de Bertheaux, 2014)

### 1.2.2. Précipitations

Comme il l'a été démontré à la section 1.1.2, l'augmentation de la température entraîne une plus grande accumulation de vapeur d'eau dans l'air. Ce phénomène, étant combiné aux courants aériens, entraîne une augmentation des déplacements des précipitations des zones arides vers les régions plus tempérées ou humides (Trenberth, 2011). L'augmentation de température prévue pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle devrait donc amplifier ce phénomène.

Les modélisations de nombreux chercheurs viennent appuyer cette théorie. En effet, le GIEC (2014) prévoit une augmentation des précipitations moyennes dans les régions de hautes latitudes et une diminution de

celles-ci dans les régions subtropicales arides et dans les régions plus près de l'équateur. Les événements de sécheresse devraient donc s'accroître dans les régions arides et le risque d'inondation devrait augmenter dans les régions de hautes latitudes.

Dans les prochaines décennies, toutes les régions du Québec peuvent s'attendre à une augmentation des quantités de précipitation annuelle (Ouranos, 2015). Cette accentuation des précipitations se produira principalement durant les saisons hivernales et printanières. Le nord du Québec devrait être davantage touché par cette hausse des précipitations. Cette région de la province devrait connaître une augmentation de 14 % à 18 % des quantités de précipitation annuelle, d'ici 2100. Le sud de la province devrait plutôt subir une augmentation de 8 % à 11 %, d'ici 2100. (Berteaux, 2014) Cependant, les précipitations extrêmes devraient se faire plus fréquentes dans le sud et le centre du Québec plutôt que dans le nord. Les précipitations extrêmes devraient augmenter de 10 % à 22 % dans le sud et de 4 % à 6 % au centre du Québec (Ouranos, 2015). Les hausses des précipitations printanières devraient donc accélérer la fonte des neiges au Québec. Ce qui créera forcément un déséquilibre du régime hydrologique actuel et engendrera des inondations plus importantes possiblement comme celles vécues en 2011, 2017 et 2019.

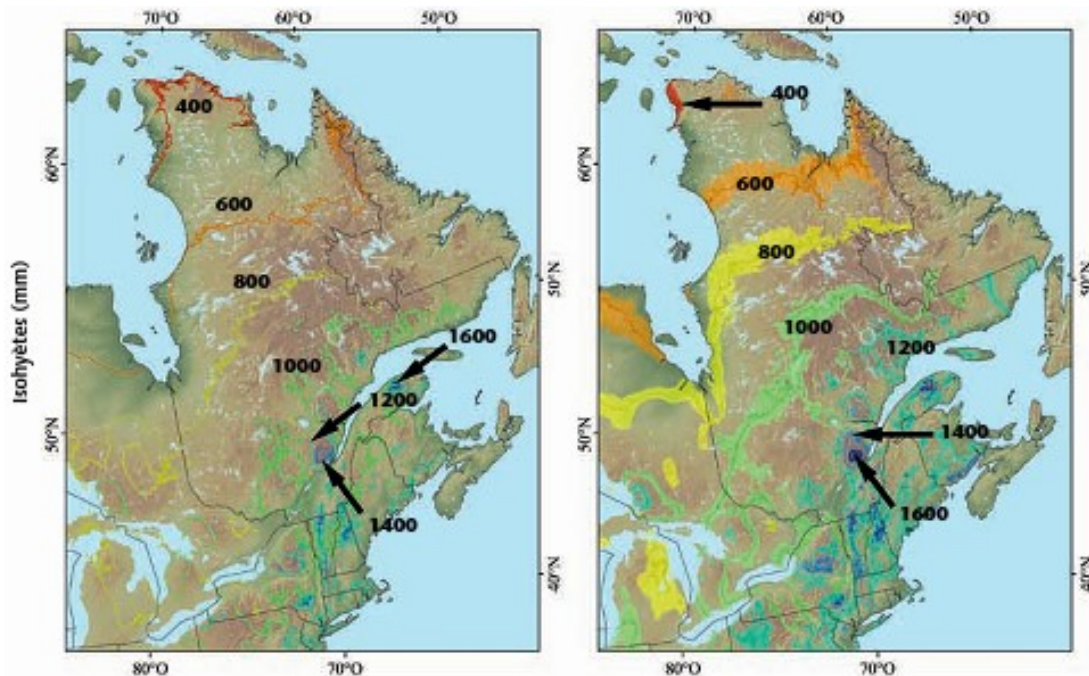
Comme pour les isothermes, un déplacement des isohyètes est prévu pour l'horizon 2071-2100 (figure 1.5). Cependant, ce déplacement est moins important que pour les isothermes, étant donné que les précipitations varieront moins que la température dans les prochaines décennies.

### **1.2.3. Périodes de sécheresse**

Le déplacement prévu des précipitations des régions arides vers les régions tempérées affectera le cycle hydrique des régions tempérées. Au Québec, l'augmentation des précipitations annuelles affectera certainement les périodes de sécheresse.

La hausse des précipitations, sur l'ensemble du Québec, fera en sorte de diminuer annuellement de 0 à 5 jours le nombre de journées consécutives en condition de sécheresse (Ouranos, 2015). Cependant, durant la saison estivale, le nombre de jours consécutifs sans pluie connaîtra une augmentation (Ouranos, 2015; Trenberth, 2011). Cette augmentation durant l'été engendrera des conditions de sol plus sèches pour le Québec.





**Figure 1.5 Migration des isohyètes projetée pour l'horizon 2080 (tiré de Berteaux, 2014)**

Le réchauffement de la température ambiante et l'augmentation des précipitations sous forme de pluie plutôt que sous forme de neige durant l'hiver et le printemps contribueront à la fonte plus rapide de la neige en début de printemps (Trenberth, 2011). Cette fonte de neige accélérée, combinée à plus de précipitations au printemps, intensifiera le ruissellement printanier, ainsi que le risque d'inondation. Ce ruissellement accéléré en début de printemps causera une diminution de l'humidité dans le sol plus tard durant la saison estivale, ce qui augmentera les risques de sécheresses (Trenberth, 2011).

Les milieux humides, comme les zones côtières, les tourbières et les prairies humides, risquent d'être les écosystèmes les plus affectés par les changements climatiques, dus à leur sensibilité hydrique (Burkett et Kusler, 2000). En effet, un milieu humide peut être modifié ou affecté par un changement subtil du régime hydrologique qui l'alimente. Les changements climatiques bouleverseront les milieux humides en modifiant la nature et la durée des périodes de sécheresse, ainsi que l'intensité et la fréquence des événements extrêmes (Gitay et al., 2002). La détérioration des milieux humides entraînera des pertes d'habitat pour un grand nombre d'espèces animales et végétales.

De plus, les milieux humides sont reconnus pour avoir un excellent pouvoir de séquestration des GES (Mitsch et al., 2013). Leur destruction viendrait donc nuire grandement à la lutte aux changements climatiques, en réduisant la capacité naturelle des écosystèmes à capter les GES.

#### **1.2.4. Couvert de neige et périodes de croissance**

Il a été démontré que l'augmentation des températures ambiantes au Québec réduira la longueur des saisons de gel de 2 à 4 semaines, pour l'horizon 2050 (Ouranos, 2015). De plus, le réchauffement de température et l'augmentation des précipitations sous forme de pluie durant l'hiver causeront une réduction des précipitations de neige au Québec. Certaines modélisations affirment que le nombre de jours d'enneigement diminuera de 45 à 75 jours par année pour la région du golfe du Saint-Laurent et de 45 à 65 jours pour le sud du Québec, d'ici 2050 (Ouranos, 2015). Cette réduction de l'enneigement et la hausse des températures diminueront également l'accumulation de neige au sol.

La couche de neige au sol joue un rôle très important dans la survie des espèces végétales annuelles. Cette neige crée une barrière isolante qui protège les jeunes pousses (semis) d'arbres et d'arbustes, qui sont très vulnérables au gel, contre les vents et les températures froides de l'hiver. Cependant, Reinmann, Susser, Demaria et Templer (2019) prévoient une perte de la couche de neige isolante sur 49 % à 95 % de la superficie forestière du nord des États-Unis, d'ici 2099. Il est donc possible de présumer que la couche de neige isolante subira également un amincissement sur le territoire québécois.

Le gain de degrés-jours de croissance qu'a connu le Québec entre 1961 et 2005 se poursuivra dans les prochaines décennies. Un gain entre 206 et 452 degrés-jours de croissance par année est prévu pour le nord du Québec, à l'horizon 2071-2100. Ce gain correspond à une augmentation de plus de 75 % pour cette région du Québec. Le sud du Québec, quant à lui, gagnera entre 489 à 598 degrés-jours de croissance par année, pour la même période, ce qui correspond à un gain de plus de 50 %. (Berteaux, 2014)

Cette augmentation de degrés-jours de croissance favorisera une saison de croissance plus longue et plus productive au Québec. C'est exactement ce que prédit le consortium de recherche Ouranos. Ouranos (2015) prévoit un allongement de 10 à 30 jours de la saison de croissance sur l'ensemble du Québec, pour l'horizon 2050.

#### **1.2.5. Modifications sur la biodiversité**

Les changements climatiques auront des impacts à différents niveaux sur la biodiversité. En effet, les projections climatiques prévoient des impacts sur les individus, les populations, les espèces et même sur les écosystèmes (Berteaux, 2014). Cependant, les projections sur la biodiversité sont plus complexes à réaliser et à analyser. En effet, l'importance des impacts sur la biodiversité dépend de processus naturels, tels le changement de climat et l'introduction d'espèces exotiques, mais également de pressions

anthropiques en lien ou non avec les changements climatiques. L'incertitude des futures pressions anthropiques vient grandement complexifier les prédictions sur la modification de la biodiversité.

Actuellement, plusieurs espèces fauniques et floristiques sont en situation précaire due à des pressions naturelles ou anthropiques. Les changements climatiques, qui sont prévus pour le prochain siècle, amplifieront ces pressions, en particulier pour les espèces ayant des capacités d'adaptation ou de déplacement limitées (Gitay et al., 2002).

De plus, les modifications phénologiques, qui ont été observées dans les dernières décennies chez certaines espèces, seront accentuées par l'évolution des changements climatiques prévus pour le futur. Ces modifications phénologiques, combinées à la migration des espèces et des écosystèmes vers le nord, devraient entraîner un décalage temporel ou physique entre une espèce et ses sources alimentaires. Ces modifications pourraient également entraîner un chevauchement temporel ou physique entre une espèce et ses espèces compétitrices.

Les changements climatiques continueront donc d'affecter les écosystèmes, durant le XXI<sup>e</sup> siècle. La vitesse de déplacement des aires de répartition devrait s'accroître au cours du prochain siècle. Effectivement, les modèles climatiques et écosystémiques suggèrent que les écosystèmes propices aux espèces végétales tempérées et boréales pourraient subir une migration de 200 à 1200 kilomètres vers le nord, d'ici 2100. Cependant, il a été démontré que la plupart des espèces végétales ne peuvent migrer que de 20 à 200 kilomètres par siècle. (Gitay et al., 2002) Ce grand écart entre ces différentes vitesses de migration augmentera la difficulté pour les espèces végétales de s'adapter à leur environnement et accentuera la compétition faite par l'arrivée de certaines espèces non indigènes envahissantes.

Grâce à l'analyse d'un grand nombre d'études, Nolan et al. (2018) ont conclu que la végétation terrestre sur l'entièreté de la planète est exposée à un important risque de changement majeur de la composition et de la structure, si l'émission de GES ne diminue pas au cours du prochain siècle. La transformation de la composition entraînera une réorganisation des communautés végétales et animales, le remplacement des espèces dominantes et la modification des interactions entre les espèces. Les transformations structurelles causeront des modifications des habitats et des ressources pour les espèces et engendreront des modifications des sources et des puits de carbone. (Nolan et al., 2018)

## **2. IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESPÈCES EN SITUATION PRÉCAIRE**

Ce deuxième chapitre démontre l'importance de la biodiversité et la pertinence d'analyser les impacts des changements climatiques sur les espèces floristiques en situation précaire. Une description des principales lois mises en place pour protéger ces espèces et leurs habitats est également présentée. Par la suite, la démarche qui a permis de sélectionner les espèces en situation précaire à l'étude pour cette rédaction de fin d'études est présentée. Ensuite, l'aspect physique, la distribution géographique, les caractéristiques de l'habitat, l'état des populations, les causes de précarité et la biologie, particulièrement la reproduction et le mode de dispersion des graines de chaque espèce sélectionnée sont résumés. La possibilité qu'aurait chaque espèce, dans une situation optimale, de disperser ses graines au nord du fleuve Saint-Laurent est également évaluée. Finalement, les impacts potentiels des changements climatiques sur ces espèces et leurs habitats sont présentés.

### **2.1. Biodiversité et espèce en situation précaire**

L'être humain comprend de plus en plus l'importance qu'occupe la biodiversité. En effet, une plus grande biodiversité favorise la production et la décomposition de la biomasse, augmente la capacité de capture, de rétention et de recyclage des nutriments et augmente la résistance de l'écosystème face aux invasions de ravageurs et aux maladies. De plus, une bonne biodiversité favorise les processus écologiques dans un écosystème et les stabilise dans le temps. (Berteaux, 2014)

De nombreuses études ont démontré que les pertes de biodiversité, que ce soit la disparition d'une seule espèce, peuvent avoir d'importants effets négatifs sur un écosystème (Balvanera et al., 2006; Hautier et al., 2015). Par exemple, une étude menée dans l'ouest de Montréal a démontré que la réduction de la biodiversité des plantes dans un champ abandonné entraîne une réduction de la productivité primaire de l'ensemble de cet écosystème (Wilsey et Potvin, 2000). Un autre exemple assez connu est celui des loutres de mer (*Enhydra lutris*) et des oursins verts (*Strongylocentrotus droebachiensis*) au large de la côte ouest de l'Alaska. Dans cette région, une diminution des proies habituelles de l'épaulard a conduit ces derniers à chasser les loutres de mer. Cela a mené à la diminution des populations de loutre de mer. La diminution des populations de cette espèce a donc permis aux populations d'oursins d'augmenter, ce qui a mené à la destruction des forêts de varech dans cette région. (Campbell et Reece, 2007) Ces deux exemples démontrent bien donc que le simple fait de réduire le nombre d'individus d'une espèce, soit la proie de l'épaulard ou les plantes dans un champ, peut avoir des répercussions sur un écosystème en entier.

La biodiversité n'apporte pas seulement des bienfaits à l'écosystème. Elle peut également rendre service à l'être humain. Les bénéfices qu'apporte la biodiversité sont appelés des services écologiques. Ces services écologiques sont regroupés selon cinq catégories. La première étant les services de soutien qui permettent de maintenir les conditions favorables à la vie sur Terre. Ce service inclut les cycles des éléments nutritifs, le cycle du carbone, la filtration de l'eau, la pollinisation et bien d'autres. La seconde catégorie comprend les services de régulation qui contrôlent le fonctionnement des écosystèmes, par exemple par la régulation du climat et par le contrôle de l'érosion et des inondations. La suivante englobe les services d'approvisionnement qui fournissent à l'être humain des biens matériels, comme des aliments, les matériaux de construction et les combustibles. La quatrième catégorie correspond aux services socioculturels en lien avec le divertissement, l'enrichissement spirituel et le tourisme. Finalement, il y a la catégorie des services ontogéniques qui contribuent au développement de l'individu au niveau psychologique et social. (Berteaux, 2014)

C'est donc pour toutes ces raisons qu'il est important de prendre soin de la biodiversité sur notre planète. Les espèces en situation précaire sont de bons indicateurs de la santé de la biodiversité. En effet, ces espèces, étant déjà en situation précaire, seront potentiellement les premières à disparaître si les conditions de l'environnement varient trop. Ces espèces agissent donc comme des indicateurs de changement dans les différents écosystèmes où on les retrouve. Il est donc primordial, afin de protéger la biodiversité du Québec, d'évaluer l'impact que pourraient avoir les changements climatiques sur ces espèces en situation précaire.

## **2.2. Cadre législatif concernant les espèces en situation précaire**

Dans cette sous-section de ce chapitre, les différentes lois s'appliquant aux espèces floristiques en situation précaire au Québec et au Canada seront présentées et décrites. Ces lois sont à la base même de la protection de ce type d'espèce, tant au niveau provincial qu'au niveau fédéral.

### **2.2.1. Loi sur la conservation du patrimoine naturel**

Cette loi provinciale québécoise s'applique à l'ensemble du domaine privé et public et est en vigueur depuis le 18 décembre 2002 (Frenette, 2005). L'objectif de cette loi est :

« de sauvegarder le caractère, la diversité et l'intégrité du patrimoine naturel du Québec par des mesures de conservation de sa diversité biologique et des éléments des milieux naturels qui conditionnent la vie afin notamment de répondre aux besoins des générations actuelles et futures. » (*Loi sur la conservation du patrimoine naturel*)

Cette loi vise donc la mise en place d'un réseau d'aires protégées représentatif de la biodiversité du Québec, afin de promouvoir la préservation, la protection, la restauration et l'utilisation des écosystèmes de la province. Pour atteindre ces objectifs, la loi interdit, à l'intérieur des aires protégées, la pratique de certaines activités, comme l'exploitation minière, gazière et pétrolière, l'aménagement forestier et l'exploitation des forces hydrauliques. (*Loi sur la conservation du patrimoine naturel*) Il existe quatre types d'aires protégées, selon cette loi, qui peuvent toutes être permanentes ou provisoires. Ces types d'aires protégées sont le paysage humanisé, la réserve aquatique, la réserve de biodiversité et la réserve écologique (Frenette, 2005).

### **2.2.2. Loi sur les espèces menacées ou vulnérables**

La loi sur les espèces menacées ou vulnérables est une loi provinciale du Québec qui a été adoptée en 1989. Cette loi s'applique aux espèces fauniques et floristiques menacées, vulnérables ou susceptibles d'être ainsi désignées que l'on retrouve sur le territoire québécois. (*Loi sur les espèces menacées ou vulnérables*) Au Québec, on compte 38 espèces fauniques menacées ou vulnérables et 115 espèces fauniques susceptibles d'être ainsi désignées (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, s. d.b). On compte également 78 espèces floristiques menacées ou vulnérables et 558 espèces floristiques vasculaires ou invasives susceptibles d'être ainsi désignées (MELCC, s. d.e). Cette loi assure la protection des espèces menacées ou vulnérables ainsi que de leurs habitats et établit les pouvoirs et les responsabilités des ministères face à ces espèces. Cette loi permet au gouvernement de désigner de nouvelles espèces menacées ou vulnérables ainsi que l'habitat qui y est associé. De plus, la loi détermine les activités pouvant affecter ces espèces et leurs habitats, les réglemente et détermine les dispositions pénales en cas de non-respect de la loi. (*Loi sur les espèces menacées ou vulnérables*)

### **2.2.3. Loi sur les espèces en péril**

La loi sur les espèces en péril est une loi canadienne entrée en vigueur en 2002. Cette loi vise à prévenir la disparition des espèces sauvages canadiennes. Elle vise le rétablissement des espèces ayant disparu du Canada, les espèces en voie de disparition et les espèces menacées. Cette loi a également pour but de prévenir que les espèces en situation préoccupante deviennent des espèces menacées ou en voie de disparition. (*Loi sur les espèces en péril*) Cette loi a sa raison d'être, étant donné que plus de 770 espèces fauniques et floristiques sont en voie de disparition, sont menacées ou en situation préoccupante à l'échelle du Canada (Gouvernement du Canada, s. d.). De plus, depuis le début de la colonisation, plus de 30 espèces sauvages ont disparu du Canada et au moins 13 d'entre elles ont complètement disparu de la

surface de la Terre (Champagne, 2005). La loi sur les espèces en péril prévoit une prise en considération des peuples autochtones du Canada afin de protéger les espèces en situation précaire tout en respectant les droits ancestraux autochtones (*Loi sur les espèces en péril*). Cette loi détermine les activités interdites en lien avec ces espèces en situation précaire et définit les peines juridiques en cas de non-respect des interdictions (Environnement et Changement climatique Canada, 2009). De plus, la loi autorise la délivrance de permis pour certaines activités en lien avec la recherche scientifique sur la conservation des espèces, pour des activités qui profiteront à l'espèce et pour des activités ne touchant l'espèce que de façon indirecte (*Loi sur les espèces en péril*).

### **2.3. Sélection des espèces à l'étude**

Pour la réalisation de cette production de fin d'études, entre 5 et 10 espèces floristiques en situation précaire au Québec étaient visées. Un nombre minimal de cinq espèces était souhaité, afin d'avoir une diversité de familles floristiques et d'habitats différents. Un nombre maximal de 10 espèces était également souhaité, afin de limiter l'information nécessaire à l'analyse et de ne pas trop alourdir la rédaction de cette production.

Afin de réaliser la sélection des plantes à l'étude, la liste des espèces floristiques en situation précaire au Québec a été analysée. On retrouve 78 espèces de plantes en situation précaire sur cette liste (MELCC, s. d.e). Ensuite, comme il a été mentionné dans l'introduction, l'un des sous-objectifs de cette rédaction est d'évaluer la possibilité pour les espèces sélectionnées de coloniser par elles-mêmes de nouveaux territoires au nord du fleuve Saint-Laurent, en considérant ce dernier comme étant un obstacle à la dispersion. Il est donc très important que les espèces choisies n'aient aucune occurrence québécoise récente au nord du fleuve Saint-Laurent. Les seuls types d'occurrences acceptés au nord du fleuve Saint-Laurent sont les occurrences disparues et historiques. Parmi les 78 espèces floristiques en situation précaire, seulement 24 espèces se retrouvent uniquement au sud du fleuve Saint-Laurent (MELCC, s. d.e). Afin d'obtenir un nombre encore plus restreint de plantes à l'étude, les espèces n'ayant qu'une seule population ou dont toutes les populations sont situées à un même endroit au Québec n'ont pas été sélectionnées pour l'analyse. Ce critère a été choisi afin d'éliminer, de la sélection, les espèces dont la présence au Québec est due à un cas isolé de distribution nordique pour l'espèce. De plus, cette sélection a été effectuée, étant donné la faible disponibilité de littérature scientifique sur un grand nombre de ces espèces peu abondantes au Québec. L'application de ce critère a permis de soustraire 11 espèces des espèces potentielles, ce qui laisse une sélection de 13 espèces. Ce nombre étant encore trop important pour la taille de cette production de fin d'études, les espèces dont toutes les occurrences sont localisées

à plus de 50 kilomètres au sud du fleuve Saint-Laurent ont été écartées. Ce critère de sélection a été utilisé, afin de favoriser les espèces les plus rapprochées de la barrière qu'est le fleuve Saint-Laurent. La distance de 50 kilomètres a été choisie, car à cette distance au sud du fleuve Saint-Laurent en Montérégie, à la hauteur de Saint-Jean-sur-Richelieu, là où sont localisées des occurrences de la plupart des 13 espèces restantes, on retrouve la rivière Richelieu. Cette rivière forme donc une délimitation très claire qui est présente sur la majorité des cartes de distribution des espèces au Québec. Cette opération a permis de sélectionner huit espèces floristiques en situation précaire qui seront analysées dans le cadre de cette production de fin d'études.

Ces huit espèces sont l'arabette du Québec, l'aristide à rameaux basilaires, l'arnica de Griscom, l'aspidote touffue, la floerkée fausse-proserpinie, le gaylussaquier de Bigelow, la phégoptère à hexagones et le séneçon fausse-cymbalaire.

#### **2.4. Description des espèces sélectionnées**

Dans cette sous-section de ce deuxième chapitre, les huit espèces à l'étude sont décrites. Une description de l'apparence, de la répartition au Québec, de l'habitat et de la biologie de chaque espèce est réalisée. Les facteurs expliquant la raison de la précarité de ces espèces sont également présentés. Ensuite, en prenant en considération les méthodes de reproduction et de dispersion de chaque espèce à l'étude, la possibilité pour celles-ci de migrer au nord du fleuve Saint-Laurent est évaluée.

##### **2.4.1. Arabette du Québec**

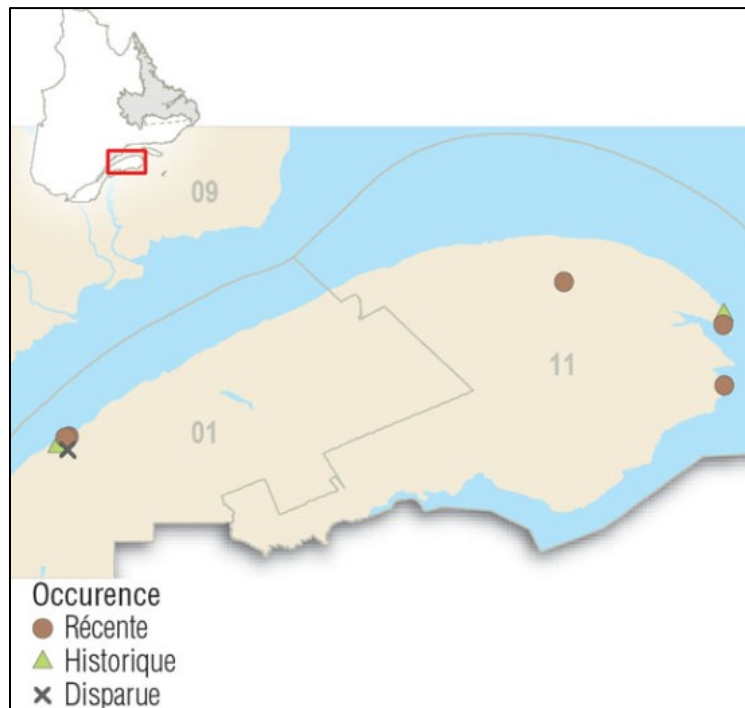
L'arabette du Québec (*Boechnera quebecensis*) (figure 2.1) est une herbacée de la famille des brassicacées que l'on retrouve uniquement au Québec et nulle part ailleurs dans le monde (MELCC, s. d.a). Elle a été découverte en 1907 dans le parc national du Bic près de Rimouski par le botaniste américain Merritt L. Fernald (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada [COSEPA], 2017). Cette plante a un statut d'espèce menacée au Québec et elle a, depuis 2017, un statut d'espèce en voie de disparition au Canada (Gouvernement du Canada, s. d.; MELCC, s. d.a). Les feuilles de cette plante sont disposées en rosette à la base de celle-ci et mesurent 3 à 6 cm de long (Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques [MDDELCC], s. d.a). L'arabette du Québec possède une tige dressée de 10 à 45 cm de hauteur qui supporte de 11 à 41 fleurs blanches ou rarement lilas ou pourpres (COSEPA, 2017).





**Figure 2.1 Photo de l'arabette du Québec** (tirée de MELCC, s. d.a)

Au Québec, quatre populations de cette plante sont recensées dans le Bas-Saint-Laurent et en Gaspésie (figure 2.2).



**Figure 2.2 Occurrences de l'arabette du Québec au Québec** (tiré de MELCC, s. d.a)

L'arabette du Québec pousse dans les escarpements rocheux et les falaises maritimes calcaires le long du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent (MDDELCC, s. d.a). Une des occurrences de cette espèce est située

à l'intérieur des terres au pied d'une dépression concave d'une falaise où elle est à l'abri des précipitations. Cette plante préfère donc les milieux secs et ensoleillés, mais peut tout de même croître dans les parties un plus ombragées des falaises, là où l'ensoleillement n'est pas constant tout au long de la journée. Cependant, cette espèce ne peut pas croître dans un environnement trop ombrageux. Une des occurrences de cette espèce se situe dans le parc national de Forillon en Gaspésie et bénéficie donc d'une protection en vertu de la loi sur les parcs nationaux du Canada. Une autre population est située dans un écosystème forestier exceptionnel qui est protégé contre l'exploitation forestière. (COSEPAC, 2017)

L'arabette du Québec est une espèce d'origine hybride, ses plantes parentes supposées seraient l'arabette de Holboel (*Boechea holboellii*) que l'on ne retrouve qu'au Groenland et l'arabette de Drummond (*Boechea stricta*) que l'on retrouve au Canada et aux États-Unis (COSEPAC, 2017; Système d'information taxonomique intégré, s. d.a; Système d'information taxonomique intégré s. d.b). La période de floraison de l'arabette du Québec s'étend de la fin mai jusqu'à la mi-juillet. La période de fructification commence au début du mois de juin et se termine au début d'août. La plupart du temps, l'arabette du Québec se reproduit par apomixie, soit par reproduction sans fécondation. (COSEPAC, 2017)

En 2015, la population totale d'individus matures de cette espèce au Canada était de 317 individus (COSEPAC, 2017). Le nombre d'individus dans les différentes populations est généralement inférieur à 100 individus et ces populations occupent habituellement une superficie réduite. De plus, les populations, pour des raisons inconnues, ne réussissent pas à occuper tout l'habitat potentiel disponible sur un site donné. (MDDELCC, s. d.a) La faible taille d'occupation du territoire, par les individus de cette espèce, pourrait être attribuée à la faible capacité de dispersion de l'espèce. En effet, les graines de cette plante sont dépourvues de mécanismes d'adaptation évidents leur permettant une dispersion efficace sur de grandes distances. (COSEPAC, 2017) Étant donné que l'arabette du Québec n'est pas en mesure de disperser ses graines sur de grandes distances, il serait fortement improbable, voire même impossible, que les graines de cette plante puissent traverser le fleuve Saint-Laurent naturellement.

L'arabette du Québec ne serait pas sujette à l'herbivorie, que ce soit concernant la plante elle-même ou ses graines (COSEPAC, 2017). De plus, la compétition interspécifique dans les habitats rocheux ouverts pourrait affecter légèrement cette espèce, même si celle-ci ne colonise qu'une faible superficie de l'habitat disponible et que les superficies vacantes pouvant être colonisées sont importantes (COSEPAC, 2017; MDDELCC, s. d.a). Cette herbacée peut toutefois être menacée par le développement immobilier, les éboulis, le piétinement et par d'autres perturbations d'origine naturelle (COSEPAC, 2017; MELCC, s. d.a). Les causes expliquant la rareté de l'arabette du Québec sont donc sa vulnérabilité aux perturbations, la

faible capacité de dispersion et le fait que cette plante n'arrive pas à coloniser tous les sites disponibles dans son habitat.

#### **2.4.2. Aristide à rameaux basilaires**

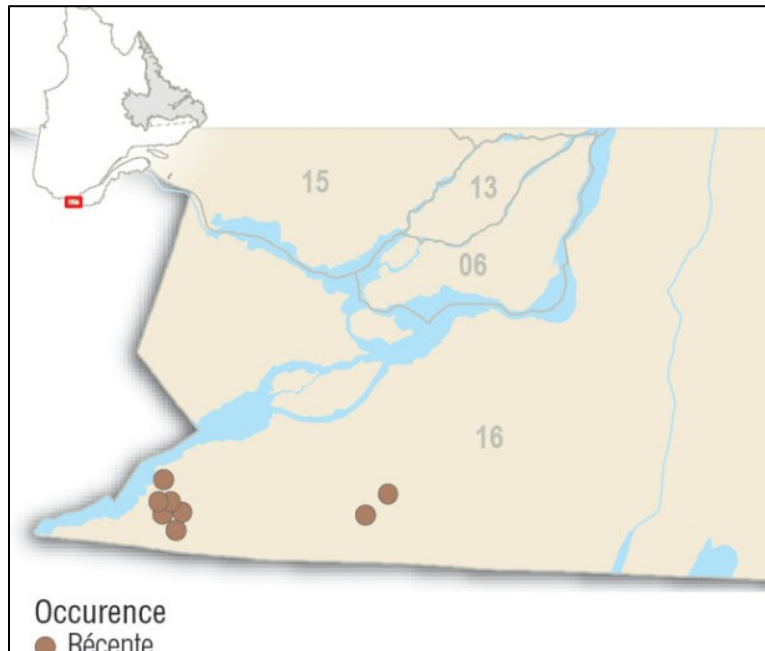
L'aristide à rameaux basilaires (*Aristida basiramea*) (figure 2.3) est une herbacée annuelle de la famille des poacées qui est similaire au blé et que l'on retrouve au Québec, en Ontario et aux États-Unis (Barbeau et Brisson, 2004). La première occurrence canadienne de cette espèce a été découverte en 1975, en Ontario. Au Québec, ce n'est qu'en 2001 que la première population a été découverte à Cazaville dans le Haut-Saint-Laurent, près de la frontière canado-américaine (COSEPAC, 2002). Cette herbacée a un statut d'espèce menacée au Québec et un statut d'espèce en voie de disparition au Canada (Gouvernement du Canada, s. d.; MELCC, s. d.b). Comme on peut le voir sur la figure 2.3, l'aristide à rameaux basilaires pousse en petite touffe dressée ou en bouquet dense et peut atteindre 30 à 60 cm de hauteur. Les feuilles de cette plante sont longues (5 à 15 cm) et très étroites (1 millimètre). (COSEPAC, 2002) Ses fleurs forment une mince panicule de 4 à 10 cm de long (Barbeau et Brisson, 2004).



**Figure 2.3 Photo de l'aristide à rameaux basilaires** (tirée de MELCC, s. d.b)

Au Québec, huit populations de cette plante sont connues dans le Haut-Saint-Laurent en Montérégie (figure 2.4). Six de ces populations sont considérées comme viables et deux sont non viables (Tardif, Tremblay, Jolicoeur et Labrecque, 2016). L'habitat de l'aristide à rameaux basilaires est constitué de milieux sablonneux, secs et ouverts, tels les sablières ou les sommets de crêtes de sable ou de dunes (FloraQuebeca, 2009). Cette espèce peut également croître dans les milieux sablonneux acides où la

végétation est clairsemée, comme dans les pinèdes clairsemées (COSEPAC, 2002). C'est donc une plante qui est très tolérante à la chaleur et à la sécheresse. Cependant, cette poacée est une espèce très peu compétitive et est très intolérante à l'ombre (Barbeau et Brisson, 2004).



**Figure 2.4 Occurrences de l'aristide à rameaux basilaires au Québec** (tiré de MELCC, s. d.b)

L'aristide à rameaux basilaires est une plante qui fleurit tardivement dans l'été, soit vers la fin du mois d'août ou au début septembre. Cette espèce produit donc ses fruits durant l'automne. Cette fructification tardive ferait même en sorte qu'une partie des graines n'arriveraient pas à maturité avant l'arrivée du premier gel. (Barbeau et Brisson, 2004) La longueur de la période de croissance est donc un des principaux critères limitant la répartition géographique de l'espèce vers le nord. La dispersion des épillets de l'aristide à rameaux basilaires se fait par le vent et par les animaux, grâce à la présence d'arêtes divergentes à la base des fleurs (COSEPAC, 2002). Pour cette espèce, la dispersion des graines au nord du fleuve Saint-Laurent est considérée comme étant probable, si les graines sont transportées par des animaux plutôt que par le vent. Étant donné que le fleuve Saint-Laurent fait près de quatre kilomètres de large au niveau des occurrences de l'aristide à rameaux basilaires, il serait peu probable que le vent fasse parcourir une telle distance aux graines de cette poacée. Toutefois, un animal qui aurait des épillets accrochés à lui pourrait traverser le fleuve Saint-Laurent à un endroit de plus faible largeur.

L'efficacité de la dispersion des épillets et la facilité pour l'aristide à rameaux basilaires de coloniser un habitat propice font en sorte que la densité des populations est très grande. En effet, en 2002, l'effectif

des populations québécoises de cette espèce a été évalué à plus de 10 000 individus (COSEPAC, 2002). Ce n'est donc pas la reproduction qui est à la base de la situation de précarité de l'aristide à rameaux basiliaires, mais bien la rareté de l'habitat propice à cette espèce et les perturbations d'origine humaine, telles l'exploitation des sablières et l'utilisation de véhicules hors routes (MELCC, s. d.b).

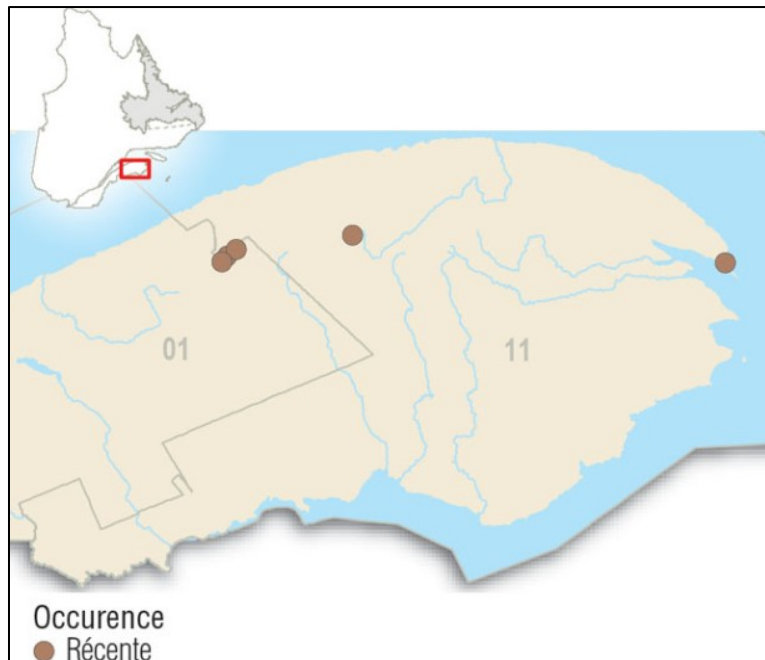
### 2.4.3. Arnica de Griscom

L'arnica de Griscom (*Arnica griscomii subsp. griscomii*) (figure 2.5) est une herbacée vivace de la famille des astéracées et une espèce endémique du Canada. Cette plante a été découverte en Gaspésie en 1923 et fut ensuite observée sur la côte ouest de Terre-Neuve dix ans plus tard. (COSEPAC, 2014) L'arnica de Griscom a un statut d'espèce menacée au Québec et au Canada (Gouvernement du Canada, s. d.; MELCC, s. d.c). Les feuilles de cette plante herbacée forment une rosette à la base de celle-ci et comptent de 3 à 4 petites dents rondes sur chaque côté (COSEPAC, 2014). Une tige dressée de 5 à 25 cm de haut, plus ou moins velue, porte une unique fleur jaune de 4 à 5 cm de large (MDDELCC, s. d.b). Le fruit de cette plante est formé d'un akène surmonté d'un anneau de soies blanches (MELCC, s. d.c).



**Figure 2.5 Photo de l'arnica de Griscom** (tiré de MELCC, s. d.c)

Au Québec, cinq populations de cette espèce sont présentes dans le Bas-Saint-Laurent et en Gaspésie (figure 2.6). L'arnica de Griscom est une espèce alpine calcicole qui pousse dans des escarpements côtiers et alpins, des corniches et des éboulis rocheux. Elle pousse en pleine lumière ou légèrement à l'ombre. Cette herbacée prospère sur les minces sols tourbeux où la végétation basse et clairsemée est présente. (COSEPAC, 2014)



**Figure 2.6 Occurrences de l'arnica de Griscom au Québec** (tiré de MELCC, s. d.c)

L'arnica de Griscom se propage au moyen de rhizomes et forme des colonies denses, pouvant atteindre une superficie d'un mètre carré (COSEPAC, 2014). La période de floraison de cette plante débute à partir du mois de juillet et ses fruits sont produits à partir du mois d'août. Cette plante peut produire des graines (akènes) sans avoir besoin de pollinisation. (MDDELCC, s. d.b) Les akènes de cette herbacée qui sont surmontés d'une aigrette sont ensuite dispersés par le vent ce qui leur permet de parcourir de grandes distances (COSEPAC, 2014). Il serait donc possible pour l'espèce de disperser ses graines au nord du fleuve Saint-Laurent. Cependant, une caractéristique inconnue de l'habitat de cette espèce semble limiter sa capacité de colonisation de nouveaux habitats. En effet, il a été observé que l'espèce ne colonise pas l'entièreté des sites où on la retrouve et ne colonise pas des milieux à proximité qui semblent être propices pour elle. (COSEPAC, 2014)

Le dénombrement des populations d'arnica de Griscom qui a eu lieu entre 1990 et 2014 indique que la population totale au Québec est constituée d'environ 125 individus portant des fleurs. Le nombre limité d'individus de cette espèce au Québec est expliqué par la difficulté de cette plante à compétitionner contre les espèces à croissance plus rapide présentes dans son habitat. (COSEPAC, 2014) C'est donc pour cela que l'arnica de Griscom est trouvée dans les milieux où les conditions extrêmes du sol et du climat sont non propices aux autres espèces.

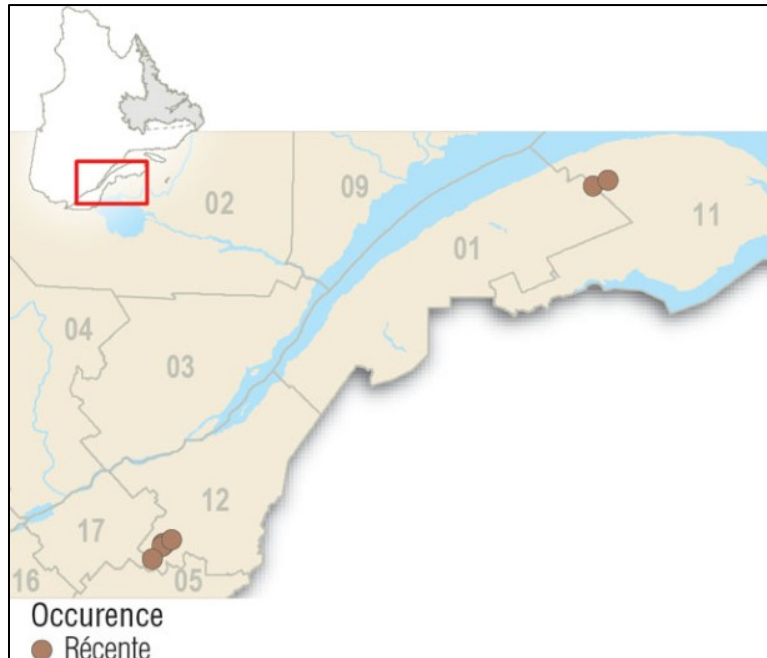
#### 2.4.4. Aspidote touffue

L'aspidote touffue (*Aspidotis densa*) (figure 2.7) est une fougère de la famille des ptéridacées que l'on trouve au Québec et dans l'ouest du Canada et des États-Unis (United States Department of Agriculture, s. d.). Cette fougère a un statut de plante menacée au Québec, mais aucun statut à l'échelle canadienne (Gouvernement du Canada, s. d.; MELCC, s. d.d). Comme on peut le voir sur la photo de la figure 2.7, cette fougère pousse en touffes denses. Les frondes de cette plante mesurent entre 7 et 30 cm de long et le pétiole est souvent 2 à 5 fois plus long que le limbe de la fronde (Flora of North America, s. d.a). Les frondes fertiles sont généralement plus nombreuses, moins découpées et deux fois plus longues que les frondes stériles. Ces dernières sont parfois absentes. (MDDELCC, s. d.c)



**Figure 2.7 Photo de l'aspidote touffue** (tiré de MELCC, s. d.d)

Au Québec, sept populations de l'aspidote touffue sont connues dans les régions de la Gaspésie, de Chaudière-Appalaches et du Centre-du-Québec (figure 2.8). Parmi ces occurrences, on compte cinq populations viables, dont quatre qui sont protégées (Tardif, Tremblay, Jolicoeur et Labrecque, 2016). On trouve cette plante sur les versants sud des montagnes et des collines à une altitude située entre 300 et 3400 mètres (Flora of North America, s. d.a; MDDELCC, s. d.c). L'aspidote touffue pousse sur un substrat de roches serpentines et dans les milieux rocheux exposés, secs et en pente, comme les escarpements et les talus d'éboulis (FloraQuebeca, 2009). De plus, cette plante est une espèce intolérante à l'ombre, mais elle peut tout de même croître en présence d'un couvert forestier clairsemé (MDDELCC, s. d.c).



**Figure 2.8 Occurrences de l'aspidote touffue au Québec** (tiré de MELCC, s. d.d)

La période de sporulation de l'aspidote touffue a lieu du mois de juin au mois d'août. La dispersion des spores de cette espèce se fait par le vent et cela sur de courtes distances. (MDDELCC, s. d.c) Il est donc peu probable que les spores de l'aspidote touffue parviennent à traverser le fleuve Saint-Laurent.

Les sept occurrences de cette fougère sont toutes des populations de petite taille, soient comptant moins de 500 individus. L'exploitation minière, les éboulis, les autres perturbations d'origine naturelle et une trop grande récolte faite pour des raisons horticoles sont les principales menaces pour cette espèce. (MELCC, s. d.d) Deux des sept populations du Québec ont été menacées par l'exploitation minière dans le passé. Aujourd'hui, trois des sept habitats sont protégés en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables. (MDDELCC, s. d.c)

#### **2.4.5. Floerkée fausse-proserpinie**

La floerkée fausse-proserpinie (*Floerkea proserpinacoides*) (figure 2.9) est une herbacée annuelle de la famille des limnanthacées et est une espèce que l'on retrouve dans l'est et dans l'ouest de l'Amérique du Nord (MDDELCC, s. d.g). Depuis 2005, cette plante a un statut d'espèce vulnérable au Québec et elle a un statut d'espèce non en péril au Canada (Gouvernement du Canada, s. d.b; MELCC, s. d.f). La floerkée fausse-proserpinie est formée de tiges vertes, glabres et peu ramifiées. Les différentes tiges s'entremêlent au sol pour former un tapis dense. Les feuilles de cette plante sont alternes, sans stipule et constituées de trois à cinq folioles linéaires. Ses fleurs sont très petites, peu visibles et se développent à l'aisselle de

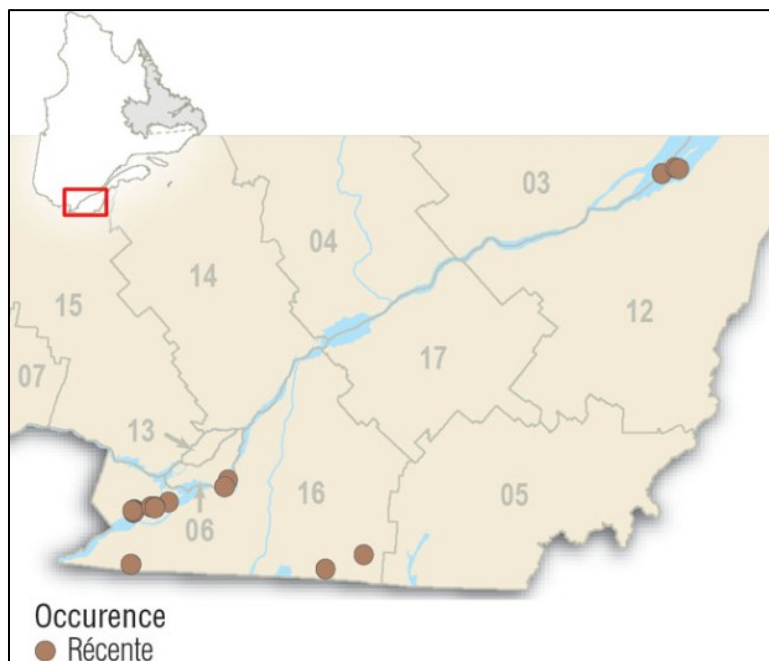


chaque feuille. Chaque fleur va former, durant la période de fructification, un à trois nucules (fruit).  
(MDDELCC, s. d.g)



**Figure 2.9** Photo de la floerkée fausse-proserpinie (tiré de Michigan Flora, 2011)

Au Québec, 18 occurrences de la floerkée fausse-proserpinie sont réparties dans les régions de Montréal, de la Montérégie et de Chaudière-Appalaches (figure 2.10).



**Figure 2.10** Occurrences de la floerkée fausse-proserpinie au Québec (tiré de MELCC, s. d.f)

On retrouve également cette plante sur quelques petites îles du fleuve Saint-Laurent dans la région du Haut-Saint-Laurent (FloraQuebeca, 2009).

L'habitat de cette espèce est composé de milieux frais partiellement ouverts et dominés par le tilleul d'Amérique, le vinaigrier, l'orme d'Amérique, le micocoulier occidental, l'érable argenté ou les frênes. Ces milieux sont souvent des sites partiellement inondés au printemps, suite à la fonte des neiges. Cependant, ce ne sont pas des habitats compris dans les plaines de débordement. (MDDELCC, s. d.g) La floerkée fausse-proserpinie est donc une plante de milieu forestier humide qui ne tolère pas d'être submergée durant de longues périodes. Elle est également une plante qui croît en pleine lumière, mais elle est tout de même tolérante à l'ombre. Le développement immobilier, la coupe forestière et le piétinement semblent être les plus grandes menaces à la survie de cette espèce (MELCC, s. d.f).

La floerkée fausse-proserpinie est une espèce annuelle éphémère de printemps, dont la période de germination se produit de décembre à février. La période de floraison de cette plante a lieu durant le mois de mai. (Houle, 2002) Cette plante se reproduit par autopollinisation et ses fruits arrivent à maturité entre le mois de mai et de juin. Le cycle annuel de cette plante est relativement court, soit de 60 à 70 jours entre l'émergence des plantules et la sénescence des adultes. (MDDELCC, s. d.g) Les graines de la floerkée fausse-proserpinie sont dépourvues de mécanismes d'adaptation évidents leur permettant une dispersion efficace sur de grandes distances. La dispersion primaire des graines se produira par gravité et se fera sur de très courtes distances. Ensuite, une seconde dispersion pourra être réalisée par les fourmis. La propagation par les fourmis se fait également sur une courte distance, souvent moins de 50 cm. (Moorhead III et Farnsworth, 2003) Le vent et l'eau peuvent également offrir une seconde dispersion aux graines de la floerkée fausse-proserpinie. La dispersion des graines par le vent et le ruissellement semblent plus efficaces et possibles sur de grandes distances. Toutefois, cette dispersion sur de longues distances semble très peu fréquente pour cette espèce. (McKenna et Houle, 2000) La rareté de la floerkée fausse-proserpinie au Québec peut donc être expliquée par l'inefficacité de cette espèce à disperser ses graines sur de longues distances. Toutefois, puisque cette espèce a été en mesure de coloniser des îles du fleuve Saint-Laurent, dans le passé, la dispersion de ses graines au nord du fleuve Saint-Laurent semble possible, mais peu probable.

#### **2.4.6. Gaylussaquier de Bigelow**

Le gaylussaquier de Bigelow (*Gaylussacia bigeloviana*) (figure 2.11) est un arbuste de la famille des éricacées que l'on retrouve sur la côte est du Canada et des États-Unis (Biota of North America Program,

2014). Cet arbuste a un statut de plante menacée au Québec, mais n'a aucun statut à l'échelle canadienne (Gouvernement du Canada, s. d.b; MELCC, s. d.g). Comme on peut le voir à la figure 2.11, cette éricacée pousse en buisson de 10 à 50 cm de hauteur et les tiges aériennes sont issues de rhizomes horizontaux enfouis dans la tourbe (MDDELCC, s. d.d). Les feuilles, d'un vert foncé brillant, sont de forme oblancéolée à obovée, mesurent de 2 à 4 cm de long et ont une extrémité mucronée. Les feuilles de cette plante sont, comme la majorité des éricacées, un peu coriaces et sont couvertes de glandes sur les deux faces. (Flora of North America, s. d.b) Les fleurs blanches ou parfois rosées sont disposées en grappes à l'extrémité d'une petite bractée. Le fruit du gaylussaquier de Bigelow est une drupe noire couverte de glandes. (MELCC, s. d.g)



**Figure 2.11 Photo du gaylussaquier de Bigelow** (tiré de MELCC, s. d.g)

Au Québec, cinq occurrences du gaylussaquier de Bigelow sont recensées dans les régions de la Gaspésie, des Îles-de-la-Madeleine et du Bas-Saint-Laurent (figure 2.12). Dans ces régions, on ne retrouverait cette espèce que dans les tourbières ombrotrophes (MELCC, s. d.g). L'habitat du gaylussaquier de Bigelow est très souvent situé à proximité de la mer. Dans ce type de milieu humide, cet arbuste colonise des habitats variés, allant du très humide à l'habitat assez sec. On retrouve cette plante dans les dépressions humides avec des tapis de bryophytes jusque sur les buttes plus hautes et plus sèches des tourbières. (MDDELCC, s. d.d)



**Figure 2.12 Occurrences du gaylussaquier de Bigelow au Québec** (tiré de MELCC, s. d.g)

Cette plante a besoin d'être en pleine lumière pour pouvoir croître. La période de floraison de cet arbuste a lieu de la fin du mois de juin à la mi-juillet. Les fruits arrivent ensuite à maturité vers la fin du mois d'août. Chaque année, ce n'est qu'une partie des individus qui vont fleurir et ainsi produire des fruits. La dispersion de cette espèce se fait principalement par propagation végétative, soit par le développement de rhizomes. (MDDELCC, s. d.d) Il est donc très peu probable, voire impossible, que le gaylussaquier de Bigelow se propage naturellement au nord du fleuve Saint-Laurent.

Au Québec, seulement deux des cinq populations de gaylussaquier de Bigelow sont de bonne qualité, c'est-à-dire, en assez grande abondance pour assurer sa pérennité. Cette espèce est très sensible aux modifications faites à son habitat, particulièrement l'assèchement des tourbières fait lors de leur exploitation. (MELCC, s. d.g) Les autres menaces anthropiques pour cette espèce sont le piétinement par les véhicules hors routes et la collecte de ses fruits qui ressemblent au bleuets (MDDELCC, s. d.d; Frère Marie-Victorin, 2002).

#### **2.4.7. Phégoptère à hexagones**

La phégoptère à hexagones (*Phegopteris hexagonoptera*) (figure 2.13) est une fougère de la famille des thélyptéridacées que l'on peut observer dans de nombreux endroits en Amérique du Nord (MDDELCC, s. d.e).

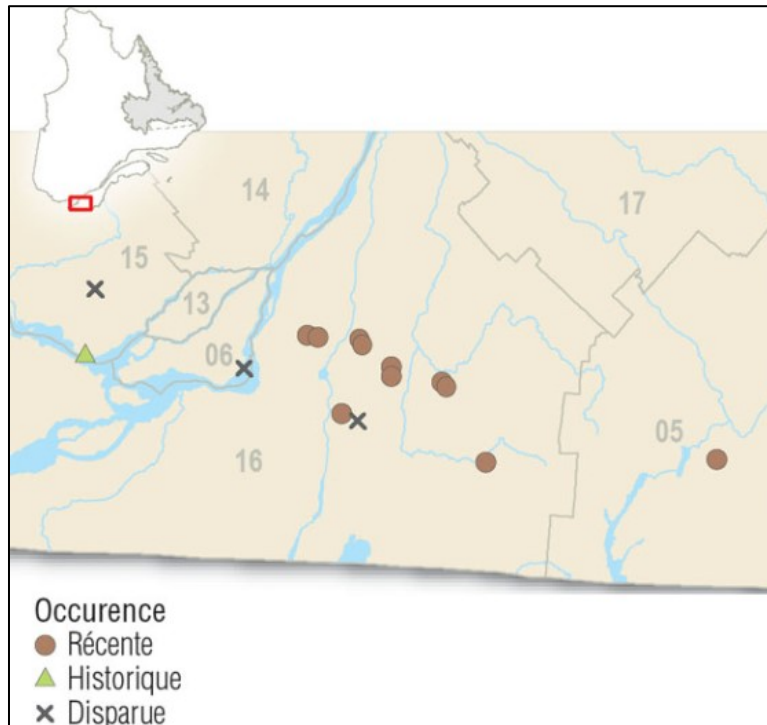


**Figure 2.13 Photo de la phégoptère à hexagones** (tiré de MELCC, s. d.h)

Elle a été observée pour la première fois en Floride en 1803 et a été observée en Ontario en 1889 (Van Overbeeke, Jalava et Donley, 2013; Wunderlin, Hansen, Franck et Essig, 2019). Cette fougère a un statut d'espèce menacée au Québec et elle a, depuis 1983, un statut d'espèce préoccupante au Canada (Gouvernement du Canada, s. d.b; MELCC, s. d.h). La phégoptère à hexagones est une fougère vivace mesurant entre 25 et 75 cm de hauteur (Gouvernement de l'Ontario, 2016). Ses frondes triangulaires mesurent de 20 à 40 cm et le dessous de la fronde est glanduleux et couvert de duvet (Gouvernement du Canada, 2011). Les frondes de cette fougère présentent un rachis ailé, ce qui la distingue des autres espèces de fougères (Minnesota Department of Natural Resource, s. d.). La première paire inférieure de pennes est plus longue, de forme plus ovale et plus orientée vers l'avant que les autres (MDDELCC, s. d.e). Les sores de cette fougère sont petits, ronds et situés sur la nervure près de la marge du limbe. Cette plante est également issue d'un rhizome rampant, écailleux et brunâtre. (MELCC, s. d.h)

Au Québec, 11 populations de cette plante sont présentes dans les régions de la Montérégie et de l'Estrie (figure 2.14). On retrouve trois populations très abondantes dans le parc national du Mont-Saint-Bruno en Montérégie. En 2009, ce parc national abritait plus de 60 % de tous les individus de cette espèce dans la province de Québec. (Nault, 2009) La phégoptère à hexagone pousse dans les forêts de feuillus riches, non perturbées et matures, telles les forêts d'érable à sucre, de hêtre à grandes feuilles, de frêne blanc et de chêne (Gouvernement de l'Ontario, 2013). On la retrouve particulièrement dans les milieux plus humides

où le sol est riche, comme dans les bas de pente, les zones d'écoulement latéral et les marécages (MELCC, s. d.h). Cette fougère est une espèce qui pousse à l'ombre, mais qui peut tout de même survivre si le couvert forestier est légèrement ouvert (MDDELCC, s. d.e).



**Figure 2.14 Occurrences de la phégoptère à hexagones au Québec** (tiré de MELCC, s. d.h)

L'émergence des frondes de la phégoptère à hexagones se produit vers la fin du mois de mai (Gouvernement du Canada, 2011). Cette fougère peut se reproduire de façon asexuée et sexuellement. Elle est en mesure de produire des clones grâce au développement de son réseau de rhizomes. Les colonies de phégoptère à hexagones qui contiennent plusieurs individus peuvent ainsi recouvrir une superficie allant jusqu'à 120 mètres carrés. (Van Overbeeke et al., 2013) Cette espèce produit également des spores qui seront relâchées et dispersées par le vent, entre la mi-juillet et la mi-octobre (MDDELCC, s. d.e). Les spores ainsi relâchées pourront parcourir de grandes distances (Van Overbeeke et al., 2013). Il serait donc possible pour la phégoptère à hexagones de disperser ses spores au nord du fleuve Saint-Laurent, si celle-ci arrivait à coloniser des sites plus près de la rive sud du fleuve.

Depuis 2001, cette espèce bénéficie d'une protection juridique au Québec, ainsi six de ses 11 habitats sont protégés et contiennent des populations de bonne qualité. Les autres populations de cette espèce sont malheureusement menacées par la perte et la dégradation de leurs habitats. (MDDELCC, s. d.e) La dégradation de son habitat est principalement due à l'urbanisation, à l'agriculture, aux mauvaises

pratiques forestières et à toutes autres activités causant une ouverture dans le couvert forestier. De plus, cette espèce est une faible compétitrice face aux espèces déjà présentes dans son environnement et face aux nouvelles espèces qui s'introduisent dans son habitat. (MELCC, s. d.h)

#### **2.4.8. Séneçon fausse-cymbalaire**

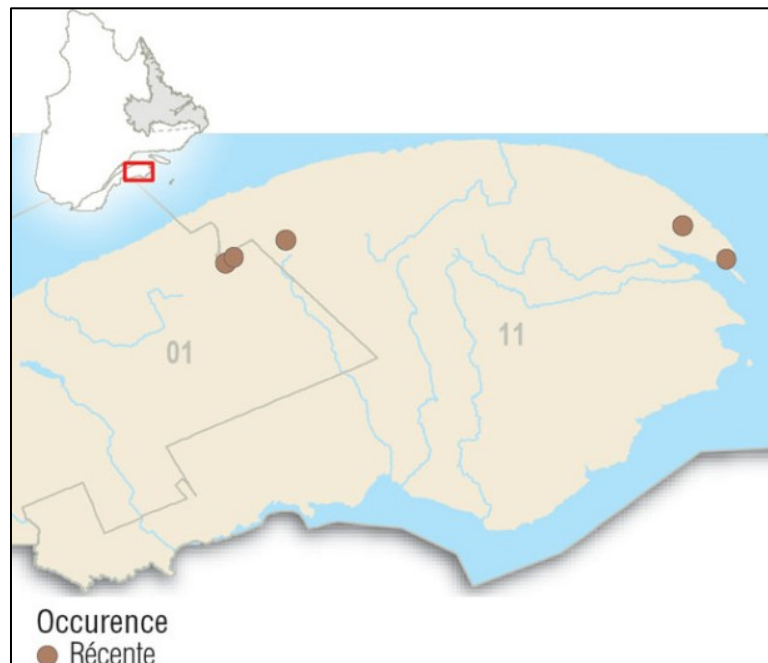
Le séneçon fausse-cymbalaire (*Packera cymbalaria*) (figure 2.15) est une herbacée de la famille des astéracées que l'on retrouve au Canada et dans quelques états américains (MDDELCC, s. d.f).



**Figure 2.15 Photo du séneçon fausse-cymbalaire** (tiré de MELCC, s. d.i)

Elle a un statut de plante menacée au Québec, mais aucun statut à l'échelle canadienne (Gouvernement du Canada, s. d.a; MELCC, s. d.i). Cette petite herbacée vivace, issue d'un rhizome, possède des tiges solitaires dressées, simples ou rarement ramifiées et d'une hauteur de 3 à 25 cm (MDDELCC, s. d.f). Les feuilles basales de cette plante sont pétiolées, de forme ovale, lyrée ou réniforme, faiblement lobée ou dentée et atteignent 10 cm de longueur (Flora of North America, s. d.c). Les feuilles de la tige sont peu nombreuses, sessiles et réduites à des bractées lancéolées et entières (MDDELCC, s. d.f). L'inflorescence est généralement composée d'un seul capitule possédant un centre jaune, orangé ou rougeâtre et des rayons mesurant jusqu'à dix millimètres. Le fruit est un akène surmonté d'un anneau de soies blanches (MELCC, s. d.i).

Au Québec, cinq occurrences du séneçon fausse-cymbalaire sont trouvées dans les régions de la Gaspésie et du Bas-Saint-Laurent et ces populations sont toutes protégées (figure 2.16) (Tardif, Tremblay, Jolicoeur et Labrecque, 2016). Cette herbacée pousse en milieu alpin et subalpin, sur un substrat de nature calcaire (MDDELCC, s. d.f). On la recense dans les corniches, les crevasses des escarpements rocheux, la partie supérieure des éboulis stabilisés, les talus engazonnés et même dans les corniches et les crevasses de falaises maritimes à des altitudes situées entre 180 et 330 mètres (MELCC, s. d.i).



**Figure 2.16 Occurrences du séneçon fausse-cymbalaire au Québec** (tiré de MELCC, s. d.i)

Le séneçon fausse-cymbalaire a besoin d'être en pleine lumière pour pouvoir croître (MDDELCC, s. d.f). La période de floraison de cette plante se déroule entre la mi-juillet et le début du mois d'août (Flora of North America, s. d.c). Les fruits de cette astéracée arrivent à maturité durant le mois d'août. Cette plante peut se reproduire de façon asexuelle ou sexuellement (MELCC, s. d.i). En effet, elle peut se multiplier grâce à son réseau de rhizomes ou se reproduire et disperser ses akènes grâce aux vents (MDDELCC, s. d.f). Étant donné la grande largeur du fleuve Saint-Laurent au niveau de la Gaspésie, il serait possible, mais peu probable que les akènes de cette plante puissent être dispersés au nord du fleuve.

Au Québec, les cinq occurrences de cette espèce sont situées dans des aires protégées. Depuis 1995, le séneçon fausse-cymbalaire et son habitat disposent d'une protection juridique, grâce à son statut d'espèce menacée. (MDDELCC, s. d.f) Cependant, le nombre d'individus composant les populations étant très faible, les différentes colonies de cette espèce sont extrêmement vulnérables à tout type de perturbations,



qu'elles soient anthropiques ou naturelles. De plus, à cause de la grande distance séparant les différentes populations de cette espèce, la survie de ces populations dépend en grande partie de la reproduction asexuée par les rhizomes. (MELCC, s. d.i)

## **2.5. Impacts potentiels des changements climatiques et autres menaces**

Dans cette sous-section, une description des impacts avérés et potentiels des changements climatiques est présentée pour les huit espèces à l'étude. Les impacts qui sont décrits sont directement ou indirectement reliés aux différents indicateurs de changements climatiques qui ont été décrits au chapitre 1. Les impacts des changements climatiques décrits dans cette sous-section concernent l'espèce, son habitat en général ou seulement une caractéristique spécifique de cet habitat.

### **2.5.1. Arabette du Québec**

Dans les conditions climatiques actuelles, peu de menaces pèsent sur l'arabette du Québec et sur son habitat, étant donné qu'elle colonise des environnements hostiles comme des escarpements rocheux et des éboulis en haute altitude. Les menaces potentielles pour cette espèce et pour son habitat sont le développement immobilier, les éboulis et les autres perturbations d'origine naturelle qui sont susceptibles de faire disparaître une population en entier (MELCC, s. d.a).

Étant donné qu'une grande partie de l'habitat de cette herbacée est localisée dans des environnements isolés à l'écart des menaces anthropiques, ce sont les changements climatiques qui, dans les prochaines décennies, risquent d'engendrer la plus grande menace pour cette espèce.

Comme il a été démontré dans le premier chapitre de cette production de fin d'études, le réchauffement de la température ambiante qui est prévue pour la fin du siècle engendrera une migration des espèces vers le nord, mais également une migration des espèces en altitude. Cette migration des espèces sera potentiellement l'une des principales causes d'impact négatif sur l'arabette du Québec (COSEPAC, 2017). En effet, avec le réchauffement prévu des températures, l'habitat de cette herbacée sera désormais accessible à différentes plantes que l'on retrouve présentement aux États-Unis et au Nouveau-Brunswick, mais également à des plantes du Québec poussant à des altitudes plus faibles. L'arabette du Québec, étant une espèce moyennement compétitive, aura plus de difficulté à capter les ressources en eau et en nutriment dont elle a besoin pour croître (COSEPAC, 2017). Cette diminution dans la disponibilité des ressources nécessaires à cette espèce pourrait ralentir son taux de croissance et de reproduction et pourrait même causer la disparition de certaines populations.

Un autre impact directement lié à la migration des espèces en altitude est la compétition pour la lumière. L'arabette du Québec croît dans des environnements dits arctiques-alpins, là où les espèces de grande taille n'arrivent pas à survivre. Cependant, avec le réchauffement du climat dans ce type d'habitat, des espèces de plus faible altitude, dont des espèces ligneuses, pourront commencer à coloniser ce type d'environnement. Donc l'implantation de grandes espèces dans l'habitat de l'arabette du Québec conduira à la fermeture graduelle du couvert forestier et à la baisse de la quantité de lumière disponible au sol. L'arabette du Québec sera donc impactée négativement par cette baisse de luminosité, car c'est une espèce peu tolérante à l'ombre. (COSEPAC, 2017)

Ensuite, l'augmentation des précipitations et l'augmentation des températures, prévues dans les prochaines décennies, causeront une modification de la stabilité de l'habitat de l'arabette du Québec. En effet, cette espèce croît sur des parois rocheuses assez friables. Donc l'augmentation des précipitations sous forme de pluie et l'augmentation du stress thermique entraîneront probablement une augmentation de l'érosion et une augmentation des risques et de la fréquence des éboulements dans ce type de milieu. (COSEPAC, 2017) Ces éboulements pourraient être extrêmement néfastes pour l'espèce, mais pourraient également lui être bénéfiques. Effectivement, ces phénomènes pourraient créer de nouveaux habitats propices à l'arabette du Québec et pourraient éliminer des espèces compétitrices (COSEPAC, 2017). D'un autre côté, la chute de gros blocs de roche pourrait écraser les individus d'arabette du Québec qui se trouvent au pied des escarpements rocheux. Donc la diminution de la stabilité de la paroi rocheuse pourrait entraîner la disparition de populations entières d'arabette du Québec. Malheureusement, ces phénomènes sont hautement stochastiques et très difficiles à prévoir. Au Québec, l'érosion est active sur tous les habitats connus de l'arabette du Québec, mais les sites du lac de la Falaise, du parc national de Forillon et de la Muraille du mont Blanc sont particulièrement vulnérables, à cause de la continuelle accumulation de pierres dans le talus où sont situées les différentes populations. (COSEPAC, 2017)

L'allongement des périodes de sécheresse estivales qui est prévu pour le Québec aura également un impact négatif sur cette herbacée menacée. Effectivement, la sécheresse affecte plusieurs aspects des plantes. La sécheresse limite la croissance aérienne et racinaire des plantes et affecte leurs processus physiologiques, telle la production de fleurs et de graines (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita et Basra, 2009). Plus la période de sécheresse est longue, plus les impacts sur la plante seront importants. Cependant, l'allongement des périodes de sécheresse n'aura pas d'impact extrême sur l'arabette du Québec, étant donné qu'elle est adaptée à croître dans des environnements secs, tels les éboulis rocheux.

Finalement, avec l’allongement de la saison de croissance, c’est-à-dire avec le premier gel arrivant plus tardivement et le dernier gel se produisant plus hâtivement, les plantes alpines fleuriront plus tôt dans la saison. Cet allongement de la saison de croissance devrait favoriser ces plantes qui ont présentement une période de croissance plus limitée. Toutefois, la modification de la période de croissance pourrait ne plus coïncider avec la période de croissance des insectes pollinisateurs. En effet, les espèces alpines seraient plus vulnérables au décalage entre la période de floraison et l’émergence des pollinisateurs, ce qui pourrait grandement nuire à ces espèces. (Giménez-Benavides et al., 2018) Cependant, l’arabette du Québec serait moyennement affectée par un tel type de décalage, étant donné que cette espèce se reproduit principalement de façon asexuée sans l’aide de pollinisateurs (COSEPAC, 2017).

### **2.5.2. Aristide à rameaux basilaires**

Comme expliqué précédemment, l’aristide à rameaux basilaires supporte très mal la compétition faite par les autres espèces et est très intolérante à l’ombre. Donc la migration prévue des espèces vers le nord dans les prochaines décennies entraînera une introduction de nouvelles espèces exotiques envahissantes dans l’habitat de cette plante. Ces espèces vont compétitionner avec l’aristide à rameaux basilaires pour les ressources en nutriment et en lumière. Au Canada en 2001, plusieurs espèces envahissantes étaient déjà présentes dans les habitats de cette poacée. Le nerprun bourdaine (*Rhamnus frangula*), la centaurée maculée (*Centaurea maculosa*), le mélilot blanc (*Melilotus albus*) et le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) étaient les espèces les plus compétitives (COSEPAC, 2002). Il est donc très raisonnable de croire que les changements climatiques, plus précisément la migration des espèces qui en résultera, permettront à un plus grand nombre d’espèces de s’implanter dans l’habitat de l’aristide à rameaux basilaires.

Par ailleurs, l’augmentation de la température ambiante et l’allongement des périodes de sécheresse estivales devraient avoir un impact limité sur cette espèce. Cette poacée menacée étant adaptée à croître dans les sablières supporte très bien les températures chaudes et les périodes de sécheresse. Il est évident, comme Farooq et al. (2009) l’ont décrit, que l’allongement des périodes de sécheresse aura un certain impact négatif sur la croissance et la reproduction de cette plante. Toutefois, l’augmentation prévue des périodes de sécheresse durant l’été accentuera les conditions extrêmes sèches dans les sablières du Québec, ce qui limitera la possibilité pour plusieurs espèces de perdurer dans ce type de milieu. En Ontario, il a été observé qu’après plusieurs étés consécutifs assez secs, seul le pin sylvestre arrivait à l’emporter sur l’aristide à rameaux basilaires (COSEPAC, 2002). Donc l’augmentation des périodes de sécheresse entraînera une certaine réduction et un certain contrôle de la compétition fait à l’aristide à rameaux

basilaires par la majorité des espèces déjà présentes dans son environnement et par certaines des futures espèces exotiques envahissantes qui pourront s’y établir.

Finalement, le gain prévu de 489 à 598 degrés-jours de croissance par année affectera positivement cette espèce. En effet, comme décrit précédemment, la longueur de la période de croissance serait un des principaux facteurs limitant la répartition géographique de l’espèce vers le nord, due à la fructification tardive de cette plante. L’allongement de la période de croissance permettrait donc à une plus grande quantité de graines d’arriver à maturité avant que surviennent les premiers gels (Barbeau et Brisson, 2004). Ce qui améliorerait le taux de reproduction et la capacité d’occupation de l’habitat de cette espèce. De plus, l’allongement des périodes de croissance et l’augmentation des températures dans toutes les régions du Québec permettraient à cette poacée de s’implanter au nord du fleuve Saint-Laurent. Dans ce cas, les changements climatiques auraient un impact positif sur cette plante.

### **2.5.3. Arnica de Griscom**

L’arnica de Griscom croît dans des habitats très similaires à l’arabette du Québec. Ces deux espèces sont retrouvées en altitude dans des escarpements rocheux, des corniches et des éboulis rocheux. Il est donc normal que les mêmes menaces pèsent sur ces deux espèces. En effet, tout comme l’arabette du Québec, l’arnica de Griscom est très vulnérable à toute perturbation d’origine naturelle susceptible de faire disparaître une population en entier (MDDELCC, s. d.b).

La migration des espèces vers le nord et en altitude résultant de la hausse des températures ambiantes aura des conséquences négatives sur cette herbacée en situation précaire. Cette plante est grandement limitée par les plantes à croissance rapide qui lui font une trop grande compétition pour l’accessibilité aux ressources (COSEPAC, 2014). Cette espèce prospère dans les environnements aux conditions de sol et de température très rudes où la majorité des espèces sont très désavantagées. Cependant, le réchauffement de la température des habitats de haute altitude permettra aux espèces que l’on retrouve présentement à des latitudes et des altitudes plus faibles de s’installer dans ces habitats. La migration des espèces nuira donc grandement à l’arnica de Griscom.

Cette herbacée, s’établissant dans un environnement où les espèces de grande taille n’arrivent pas à croître, a besoin d’un grand accès à la lumière et est donc très peu tolérante à l’ombre. Le réchauffement du climat, l’augmentation des précipitations annuelles et l’allongement de la période de croissance pourraient entraîner l’implantation d’espèces à croissance rapide de plus grande taille dans l’habitat de haute altitude de l’arnica de Griscom (COSEPAC, 2014). L’implantation de ce type de plante entraînera une

fermeture du couvert végétal et une production d'ombre sur les populations d'arnica de Griscom, ce qui conduirait éventuellement à la disparition de ces populations.

Au Québec, toutes les populations de cette herbacée menacée croissent sur des escarpements et des éboulis rocheux qui sont des milieux instables de nature (COSEPAC, 2014). Comme pour l'arabette du Québec, la combinaison de l'augmentation des températures et des précipitations sous forme de pluie causera une diminution de la stabilité du substrat rocheux. Cela augmentera donc le taux d'érosion et la probabilité d'éboulement dans l'habitat de l'arnica de Griscom. Les changements climatiques engendreront encore plus de menaces pour cette espèce, étant donné que toutes les populations de celles-ci sont constituées d'un faible nombre d'individus et qu'elles sont déjà très vulnérables à ce type de perturbation (MDDELCC, s. d.b). Ainsi, l'allongement des périodes de sécheresse estivales aura un impact négatif sur la croissance et les processus physiologiques de l'arnica de Griscom (Farooq et al., 2009). Cet impact sera toutefois assez limité, étant donné que cette espèce, comme l'arabette du Québec, est adaptée à croître dans des environnements secs.

Finalement, avec l'allongement de la saison de croissance les plantes alpines fleuriront plus tôt dans la saison. De plus, les espèces alpines seraient plus vulnérables au décalage entre la période de floraison et l'émergence des pollinisateurs, ce qui pourrait grandement nuire à ces espèces. (Giménez-Benavides et al., 2018) L'impact d'un tel décalage sur cette plante serait assez limité, étant donné que cette espèce peut produire des akènes sans avoir recours à des pollinisateurs.

#### **2.5.4. Aspidote touffue**

On retrouve l'aspidote touffue dans les milieux rocheux exposés sur des montagnes et des collines à une altitude entre 300 et 3400 mètres. Ces habitats, étant très similaires aux habitats de l'arabette du Québec et de l'arnica de Griscom, seront sujets aux mêmes impacts des changements climatiques.

Le réchauffement du climat facilitera l'implantation de nouvelles espèces dans les habitats de haute altitude. L'aspidote touffue subira des conséquences de l'introduction d'espèces envahissantes, car celles-ci viendront compétitionner pour les ressources présentes dans le milieu. De plus, l'évolution prévue du climat vers un climat plus clément permettra aux plantes de grandes tailles de croître dans l'habitat de l'aspidote touffue. Cette dernière, étant une espèce complètement intolérante à l'ombre, ne pourra pas survivre si le couvert forestier se referme au-dessus d'elle.

Ensuite, comme pour l'arabette du Québec et pour l'arnica de Griscom, l'augmentation des températures et des précipitations déstabilisera le substrat rocheux présent dans l'habitat de cette fougère menacée.

Les populations de cette espèce seront donc plus vulnérables aux éboulements et aux glissements de terrain.

Finalement, l'allongement des périodes de sécheresse n'aura qu'un impact limité sur cette plante, étant donné qu'elle est adaptée aux habitats secs où l'eau ruisselle très rapidement.

#### **2.5.5. Floerkée fausse-proserpinie**

Une étude réalisée en Nouvelle-Angleterre aux États-Unis sur la conservation de la floerkée fausse-proserpinie a déterminé que les principales menaces non anthropiques pour cette espèce étaient l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et les changements hydrologiques dans son habitat (Moorhead III et Farnsworth, 2003).

Avec la migration attendue des espèces vers le nord, un plus grand nombre d'espèces pourront désormais s'implanter dans l'habitat de la floerkée fausse-proserpinie. L'implantation d'espèces printanières dans l'habitat de cette herbacée vulnérable pourrait générer de la compétition pour les ressources. Cette diminution de ressources disponibles pour la floerkée fausse-proserpinie viendrait limiter sa croissance et ainsi affecter son cycle de vie. Toutefois, puisque cette espèce émerge très tôt au printemps, le nombre d'espèces pouvant compétitionner avec elle reste tout de même limité. (Houle, 2002)

L'augmentation des précipitations annuelles et la fonte des glaces plus hâtivement au printemps vont affecter le régime hydrique au Québec, dans le futur. Cette modification va causer des inondations printanières plus importantes que dans le passé. La floerkée fausse-proserpinie est une plante qui pousse dans des milieux forestiers humides partiellement inondés au printemps, mais qui sont situés en dehors des plaines de débordement des cours d'eau. Cette herbacée ne tolérera donc probablement pas une augmentation importante de l'intensité et de la fréquence des inondations dans son habitat (Moorhead III et Farnsworth, 2003). Les inondations extrêmes qui sont prévues pour la fin du siècle pourraient éliminer certaines populations de cette plante en situation précaire, en élargissant les plaines de débordement des cours d'eau. De plus, la modification du régime hydrique affectera également l'habitat de cette plante, en accentuant l'érosion des berges, en augmentant le dépôt de débris sur celles-ci et en modifiant les concentrations de nutriment dans le sol (Moorhead III et Farnsworth, 2003). Cependant, l'intensification des inondations n'aura pas que des impacts négatifs sur l'habitat de la floerkée fausse-proserpinie. L'intensification des inondations entraînera un élargissement des zones inondables en milieu forestier, ce qui offrira davantage d'habitats potentiels pour cette espèce puisque les espèces ne supportant pas les inondations seront éliminées.

Ensuite, l'augmentation du risque de sécheresse en été affectera certainement les conditions d'humidité du sol dans les milieux forestiers humides. En effet, l'allongement des sécheresses combiné à l'augmentation de la température ambiante fera diminuer l'humidité du sol durant certaines périodes de la saison estivale. Toutefois, cette diminution de l'humidité du sol n'affectera pas la floerkée fausse-proserpinie, puisque cette plante termine son cycle de vie tôt au printemps (Houle, 2002). Donc lorsque la sécheresse se fera ressentir dans les milieux forestiers, cette herbacée sera déjà sous forme de graine. Les graines de la floerkée fausse-proserpinie sont adaptées pour survivre aux périodes de sécheresse estivales. Cette espèce est même reconnue pour coloniser des milieux très humides au printemps qui vont s'assécher au cours de l'été. (Moorhead III et Farnsworth, 2003)

Le réchauffement des températures prévu pour le Québec permettra à une plus grande variété d'insectes d'avoir accès à ce territoire. Comme les insectes migrent plus rapidement que les espèces végétales, il est fort probable que les espèces végétales des forêts tempérées rencontrent dans les prochaines décennies des insectes herbivores non indigènes qui étaient auparavant limités aux forêts subtropicales (Dale et al., 2001). En plus de l'introduction de nouvelles espèces ravageuses, les espèces d'insectes déjà présentes au Québec seront également affectées par ce réchauffement du climat. En effet, Dukes et al. (2009) ont démontré qu'une augmentation de 10 °C tendait à doubler le taux métabolique des insectes. Ainsi, le réchauffement du climat au Québec accélérerait la vitesse de consommation, de développement et de mouvements des insectes ravageurs. Ce qui affecterait la dynamique des populations, en modifiant la fécondité, la survie, le cycle de vie et la dispersion (Dukes et al., 2009). En effet, dans les dernières années à Toronto, on a remarqué que suite à l'augmentation de la température estivale, l'agrile du frêne a été en mesure de passer par deux cycles de reproduction plutôt qu'un seul (Atlas climatique du Canada, s. d.). Cela a donc doublé son rythme d'infestation et de ravage. Ainsi, avec l'accélération de la capacité de destruction des insectes ravageurs, ce sont tous les milieux forestiers du sud du Québec qui seraient affectés. L'habitat de la floerkée fausse-proserpinie qui est composé de forêts matures dominées par le tilleul d'Amérique, l'érable argenté ou le frêne subirait une augmentation de la mortalité des arbres matures. Cette augmentation de la mortalité conduirait à l'ouverture du couvert forestier, ce qui représente une amélioration de l'habitat de cette espèce, étant donné qu'elle croît en pleine lumière.

Finalement, les insectes ne sont pas les seuls animaux qui pourraient impacter l'habitat de cette herbacée en situation précaire. Effectivement, au Québec, les hivers constituent le principal facteur limitant la croissance des populations de cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*). Lors d'hivers rigoureux, le taux de mortalité peut excéder 40 %. (Hébert et al., 2013) Avec l'augmentation des températures hivernales qui

est prévue pour la fin du siècle, la mortalité chez le cerf de Virginie va grandement diminuer. Cela conduira à une augmentation des densités de population et donc à une plus grande modification des environnements naturels par le cerf de Virginie. Les cerfs de Virginie, ne s'alimentant pas de petites herbacées, n'affecteraient pas directement les populations de floerkée fausse-proserpinie (Faune et flore du pays, s. d.). Cependant, les cerfs pourraient brouter les autres espèces du sous-étage forestier. Ce qui conduirait éventuellement à une perte de régénération de la strate dominante (Owings, Jacobs, Shields, Saunders et Jenkins, 2017). Ensuite, lorsque les arbres dominants vont mourir, il y aura peu ou pas de gaullis pour les remplacer, ce qui laissera des trouées dans la canopée. L'ouverture du couvert forestier, à la suite du broutage par le cerf, favoriserait la floerkée fausse-proserpinie qui est une espèce de pleine lumière.

#### **2.5.6. Gaylussaquier de Bigelow**

Comme pour les autres espèces à l'étude, la migration prochaine des espèces vers le nord affectera l'habitat du gaylussaquier de Bigelow. L'augmentation de température permettra à de nombreuses espèces exotiques envahissantes d'atteindre la région de la Gaspésie. Le gaylussaquier de Bigelow, étant retrouvée dans les tourbières, sera affectée par l'introduction au Québec de nouvelles espèces exotiques envahissantes ou par l'élargissement de l'aire de répartition de plantes envahissantes déjà présente sur le territoire québécois. En effet, dans le sud de la province, certaines espèces, comme le roseau commun (*Phragmites australis*) et la renouée du Japon (*Reynoutria japonica*), ont déjà commencé à nuire grandement à certains milieux humides de la région (Charest, 2012; Conseil régional de l'environnement de l'Estrie, s. d.). Ces espèces envahissantes, en plus de compétitionner pour les ressources en nutriment, empêcheront la lumière d'atteindre le gaylussaquier de Bigelow. Ce manque de lumière ainsi créé serait fatal à cette éricacée menacée, étant donné son besoin important d'accès à la lumière.

Ensuite, cette espèce, puisqu'elle pousse dans les tourbières ombrotrophes, sera impactée par la modification des précipitations annuelles prévue d'ici 2100. La hausse des précipitations annuelles devrait favoriser les tourbières ombrotrophes. En effet, il a été démontré que la hausse de l'apport en eau pour une tourbière ombrotrophe peut entraîner une augmentation de sa surface et augmenter la capacité de séquestration de carbone (Taminskas et al., 2018). Il est raisonnable de croire que la modification des précipitations ne viendra pas créer de nouvelles tourbières dans les prochaines décennies, mais viendra certainement assurer une certaine pérennité des tourbières déjà existantes. Donc la hausse des précipitations prévue pour le Québec assurera la survie de l'habitat du gaylussaquier de Bigelow.



Finalement, comme on l'a vu dans le premier chapitre, l'augmentation du nombre de jours consécutifs sans pluie en été combiné à l'augmentation du ruissellement au printemps engendrera un assèchement plus important du sol durant la période estivale. Cet assèchement estival du sol répété d'une année à l'autre est donc susceptible d'affecter le niveau de la nappe d'eau souterraine. Ce phénomène conduirait donc à une minéralisation des tourbières et à l'assèchement prolongé du sol tout au long de l'année (Arzel, 2015). Cependant, avec l'augmentation des quantités de précipitation annuelle, il est très peu probable que le niveau de la nappe phréatique soit diminué tout au long de l'année. Le risque est donc de retrouver des conditions d'assèchement du sol seulement lors des périodes de sécheresse estivales. Cette augmentation du risque de sécheresse du sol en été viendra assurément impacter les zones les moins humides des tourbières ombrotrophes, comme les zones plus surélevées où croissent certains individus de cette espèce. Ce qui causera un certain stress hydrique au gaylussaquier de Bigelow. Ce stress hydrique sera cependant assez limité, puisque les feuilles des éricacées sont adaptées pour retenir l'humidité, ce qui leur offre une protection supplémentaire contre la sécheresse (Groupe de recherche en écologie des tourbières, 2013).

#### **2.5.7. Phégoptère à hexagones**

En premier lieu, l'augmentation prévue de la température ambiante permettrait à l'aire de répartition de cette espèce de s'étendre vers le nord. Cependant, la grande fragmentation de l'habitat de la phégoptère à hexagones fera obstacle à son expansion vers le nord. (Gouvernement de l'Ontario, 2013)

Étant donné que les changements climatiques causeront une migration globale des espèces vers le nord, on peut s'attendre qu'un plus grand nombre d'espèces pourront désormais s'implanter dans l'habitat de la phégoptère à hexagones. Au Minnesota, il a été démontré que cette fougère menacée souffrait de la compétition faite par d'autres espèces. Il a été démontré que l'introduction de plantes, comme l'alliaire officinale (*Alliaria petiolata*) et d'animaux non indigènes, comme les vers de terre, exerçait une forte pression sur la phégoptère à hexagones. (Minnesota Department of Natural Resource, s. d.)

Ensuite, l'augmentation du risque de sécheresse en été affectera certainement les conditions d'humidité du sol dans les milieux forestiers humides. En effet, l'allongement des sécheresses combiné à l'augmentation de la température ambiante fera diminuer l'humidité du sol durant la saison estivale. Cette diminution de l'humidité du sol, en plus de créer un stress hydrique pour cette plante en situation précaire, constitue une détérioration de l'habitat de cette espèce. Si ces périodes de sécheresse se répètent d'une année à l'autre, les conditions du sol dans les forêts humides vont changer et les espèces présentes ne

seront plus adaptées aux nouvelles conditions. Ces nouvelles conditions de l'environnement permettront également à de nouvelles espèces de s'installer. De plus, lors de périodes de sécheresse, ce sont les petites plantes, comme les herbacées, les fougères, les semis et les gaulis qui sont le plus fortement affectés et qui auront les plus hauts taux de mortalité. (Dale et al., 2001) Donc, si des périodes intenses de sécheresse surviennent chaque année, il est possible que la forêt ait beaucoup de difficulté à régénérer sa strate mature. Cela pourrait conduire à une perte complète ou partielle de la régénération. Ensuite, lors de la mort des arbres matures, de nombreuses ouvertures dans la canopée seraient formées et cela laisserait pénétrer une plus grande quantité de lumière jusqu'au sol. Ces nouvelles conditions de lumière ne seraient pas favorables à la phéoptère à hexagones, puisqu'elle est ombrophile. La phéoptère à hexagones et son habitat seront donc fortement affectés par l'augmentation des périodes de sécheresse.

Comme mentionné pour la floerkée fausse-proserpinie, le réchauffement des températures entraînerait une introduction de nouvelles espèces d'insectes ravageurs et l'intensification du taux de ravage des espèces déjà présentes sur le territoire québécois. L'habitat de la phéoptère à hexagones qui est composé de forêts dominées par l'érable à sucre, le hêtre à grandes feuilles, le frêne blanc et le chêne subirait une augmentation de la mortalité des arbres matures (Gouvernement de l'Ontario, 2013). Cette augmentation de la mortalité conduirait à l'ouverture du couvert forestier, ce qui serait très nuisible pour l'espèce, étant donné son besoin en ombre et sa vulnérabilité à la compétition interspécifique. Cependant, cette ouverture de la canopée ne serait que temporaire, puisque d'autres espèces profiteraient de ce gain de lumière pour croître rapidement.

Finalement, l'augmentation des températures hivernales prévue pour la fin du siècle favorisera la survie hivernale du cerf de Virginie (Hébert et al., 2013). Cela conduira à une augmentation des densités de population et donc à une plus grande destruction des environnements naturels par le cerf de Virginie. Ce mammifère, comptant parfois les jeunes pousses de fougères dans son régime alimentaire, affectera la survie de certains individus de cette espèce (Faune et flore du pays, s. d.). Cependant, le cerf de Virginie ne broute les fougères quant dernier recours, lorsque les autres sources alimentaires sont plus rares. Donc l'impact du broutage sur cette fougère sera très limité. À plus long terme, les cerfs pourraient brouter les autres espèces du sous-étage forestier. Ce qui conduirait éventuellement à une perte de régénération de la strate dominante et à une ouverture de la canopée. L'ouverture du couvert forestier limiterait en plus la disponibilité de l'habitat potentiel de cette fougère en situation précaire.

### **2.5.8. Séneçon fausse-cymbalaire**

Le séneçon fausse-cymbalaire croît dans des habitats très similaires à ceux de l'arabette du Québec, de l'arnica de Griscom et de l'aspidote touffue. Cette espèce est retrouvée dans les corniches, les escarpements rocheux et les éboulis. Cependant, contrairement aux trois autres espèces cette herbacée pousse dans des environnements plus végétalisés, comme les talus engazonnés. (MELCC, s. d.i) Puisque cette espèce croît dans des milieux assez similaires aux trois autres espèces, il est donc normal que des menaces tout de même similaires puissent affecter ces différentes espèces. Le séneçon fausse-cymbalaire, comme les trois autres espèces, est très vulnérable à toute perturbation d'origine naturelle susceptible de faire disparaître une population en entier (MDDELCC, s. d.f).

La migration des espèces vers le nord et en altitude aura des conséquences négatives sur cette herbacée en situation précaire. En effet, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes dans l'habitat de cette herbacée menacée lui créera de la compétition pour l'accès aux ressources. De plus, le réchauffement du climat, l'augmentation des précipitations annuelles et l'allongement de la période de croissance pourraient entraîner l'implantation d'espèces à croissance rapide de plus grande taille dans les habitats de haute altitude (COSEPAC, 2014). L'introduction de ce type d'espèce entraînera une fermeture du couvert végétal ou une production d'ombre sur les populations de séneçon fausse-cymbalaire. Cette augmentation de l'ombre serait très nuisible pour cette espèce, étant donné son besoin important en lumière.

Ensuite, comme pour l'arabette du Québec, l'arnica de Griscom et l'aspidote touffue, l'augmentation des températures et des précipitations déstabilisera le substrat rocheux présent dans l'habitat de cette herbacée menacée. Cela augmentera donc le taux d'érosion et la probabilité d'éboulement dans l'habitat du séneçon fausse-cymbalaire. Cependant, étant donné que cette espèce croît dans des environnements plus végétalisés que les trois autres espèces d'altitudes étudiées, la déstabilisation du substrat et les risques d'éboulement seraient potentiellement moins importants.

L'allongement des périodes de sécheresse estivales aura un impact négatif sur la croissance et les processus physiologiques du séneçon fausse-cymbalaire (Farooq et al., 2009). Ces impacts seront plus importants que pour l'arabette du Québec, l'arnica de Griscom et l'aspidote touffue, étant donné que le séneçon fausse-cymbalaire croît parfois dans un habitat très sec et parfois dans un habitat gazonné moins sec. Le manque d'eau durant la période estivale ralentira grandement la croissance de cette plante et pourra même causer la mort de plusieurs individus (Farooq et al., 2009).

Finalement, avec l'allongement de la saison de croissance, les plantes alpines fleuriront plus tôt dans la saison. Cet allongement de la saison de croissance devrait favoriser ces plantes qui ont présentement une période de croissance plus limitée. De plus, les espèces alpines seraient plus vulnérables au décalage entre la période de floraison et l'émergence des pollinisateurs, ce qui pourrait grandement nuire à ces espèces. (Giménez-Benavides et al., 2018) Cependant, le séneçon fausse-cymbalaire serait moyennement affecté par ce désynchronisme, étant donné que cette espèce se reproduit principalement de façon asexuée (MELCC, s. d.i).

### 3. MÉTHODOLOGIE

Dans le deuxième chapitre de cette production de fin d'études, les huit espèces sélectionnées ont été présentées et les impacts potentiels des changements climatiques sur ces espèces ont été décrits. Cependant, ces impacts ne sont pas tous équivalents. Ces conséquences des changements climatiques ont soit un impact positif ou négatif sur l'espèce et l'importance de l'impact sur l'espèce n'est pas le même pour tous les impacts. De plus, l'effet de l'impact ne se fait pas ressentir aussi rapidement pour toutes les espèces.

La méthodologie d'analyse qui a été employée dans cette production de fin d'études pour calculer la gravité de chaque impact s'est basée sur les normes ouvertes (*open standards*) du *Conservation Measures Partnership* (Conservation Measures Partnership, 2013).

Dans le chapitre 2, 46 impacts potentiels des changements climatiques ont été identifiés pour les huit espèces en situation précaire à l'étude. Ces impacts ont été classés selon chaque espèce et ont été numérotés. Puisqu'il arrive qu'un même impact va potentiellement affecter plusieurs espèces à l'étude, ces mêmes impacts obtiennent le même numéro. On retrouve donc 17 impacts différents numérotés de 1 à 17 (voir tableau 3.1). Pour chacun de ces 17 impacts, l'indicateur de changement climatique qui y est associé est présenté. Ensuite, la conséquence des changements climatiques qui est reliée à cet indicateur et l'impact potentiel sur l'espèce sont rapidement décrits. Finalement, la valeur de l'effet de l'impact, de l'importance de l'impact et la vitesse de l'impact sont présentées, afin de permettre le calcul de la gravité de chaque impact.

L'effet de l'impact a soit une valeur de -1 ou de +1 dépendamment si l'impact est négatif ou positif pour l'espèce. L'importance de l'impact, qui a une valeur située entre 1 et 10, représente à quel point l'impact affectera l'espèce, si l'impact décrit se réalisait. Un impact ayant une importance de 10, signifie que l'impact affectera grandement la survie de l'espèce. Ensuite, la vitesse de la conséquence de l'impact, d'une valeur de 1 à 5, correspond à la rapidité à laquelle l'impact affecterait l'espèce. Si un impact doit se répéter sur plusieurs années avant de pouvoir affecter grandement une espèce, la valeur de vitesse de cet impact est très faible (valeur de 1). Au contraire, si un impact a de graves conséquences pour la survie de l'espèce dès que celui-ci se produit, la vitesse de l'impact aura une valeur plus grande (valeur de 5). Finalement, la valeur de la gravité de l'impact est le résultat de la multiplication de l'effet de l'impact, de l'importance de l'impact et la vitesse de l'impact. La gravité d'impact peut donc avoir une valeur positive ou négative entre 1 et 50.

**Tableau 3.1 : Impacts potentiels des changements climatiques pour les huit espèces à l'étude**

| Impact potentiel sur les espèces |  |
|----------------------------------|--|
| 1                                | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces de basse altitude    |
| 2                                | Création d'ombre par l'introduction d'espèces plus grandes à croissance rapide   |
| 3                                | Favorise la croissance de la plante  |
| 4                                | Décalage possible entre la période de floraison et l'émergence des pollinisateurs                                      |
| 5                                | Destruction de population située en bas de talus rocheux, lors d'un éboulement   |
| 6                                | Stress hydrique qui limite la croissance et les processus physiologiques   |
| 7                                | Augmentation du nombre de graines arrivant à maturité (amélioration du taux de reproduction)                           |
| 8                                | Accessibilité à de nouveaux habitats potentiels au nord du fleuve Saint-Laurent  |
| 9                                | Réduction et contrôle des espèces compétitrices à cette espèce   |
| 10                               | Ouverture de la canopée, donc amélioration de l'habitat (augmentation du taux de mortalité des arbres matures)         |
| 11                               | Ouverture de la canopée, donc amélioration de l'habitat (perte de la régénération par le broutage)                     |
| 12                               | Augmentation de la mortalité printanière (augmentation de l'érosion, de l'apport de débris et du dépôt de sédiment)    |
| 13                               | Perte d'habitats potentiels (élargissement de la plaine de débordement)  |
| 14                               | Gain d'habitat potentiel (élargissement des zones inondables en milieu forestier)                                      |
| 15                               | Maintien de la qualité de l'habitat de cette espèce  |
| 16                               | Diminution de l'humidité du sol dans les zones plus élevées des milieux humides (détérioration partielle de l'habitat) |
| 17                               | Diminution de l'humidité du sol (détérioration des habitats humides)   |

Ensuite, les classes de priorité sont présentées au tableau 3.2 et servent à déterminer le niveau de priorité de chaque impact. Selon sa gravité d'impact, un impact causé par les changements climatiques peut être évalué « Non prioritaire » (gravité d'impact de 1 à -15), « importante » (gravité d'impact de -16 à -29), « Urgente » (gravité d'impact de -30 à -50) ou « aucune » (gravité d'impact positif) (voir tableau 3.2). Ce niveau de priorité permet de savoir quels impacts devront être surveillés en priorité, afin de maximiser la protection des espèces à l'étude. Le chapitre 3 ne traitera pas des impacts ayant un niveau de priorité « non prioritaire » et « aucune ».

**Tableau 3.2 Classes de priorité des impacts potentiels des changements climatiques selon la gravité d'impact**

| <b>Gravité d'impact</b> | <b>Classes de priorité</b> |
|-------------------------|----------------------------|
| 1 à -15                 | Non prioritaire            |
| -16 à -29               | Importante                 |
| -30 à -50               | Urgente                    |
| Impact positif          | Aucune                     |

## **4. RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Dans ce chapitre, les résultats des analyses sont présentés dans des tableaux, selon l'espèce ciblée, illustrant les valeurs attribuées à la gravité, à l'effet, à l'importance et à la vitesse des 17 impacts (tableaux 4.1 à 4.8). Comme il l'a été spécifié dans le chapitre précédent, le même impact peut revenir pour plusieurs espèces. Cependant, cet impact n'a pas nécessairement la même valeur d'effet, d'importance et de vitesse pour chaque espèce. De plus, on peut également remarquer que différentes conséquences des changements climatiques ont des impacts similaires sur une même espèce ou sur son habitat, mais que la valeur d'un des critères n'est pas la même pour ces deux impacts. L'explication de ces différences est présentée dans la discussion.

### **4.1. Gravité d'impact pour les huit espèces à l'étude**

Les tableaux 4.1 à 4.8 illustrent les valeurs d'effet, d'importance, de vitesse et de gravité d'impact pour les 17 différents impacts potentiels des changements climatiques sur les huit espèces à l'étude. Ces tableaux illustrent également le niveau de priorité de ces différents impacts.



Tableau 4.1 Impacts potentiels des changements climatiques pour l'arabette du Québec et les gravités d'impacts associées

| Espèce en situation précaire                          | Indicateur de changement climatique | Conséquence des changements climatiques  | Impact potentiel sur l'espèce |   | Effet de l'impact (-1 ou +1) | Importance de l'impact (1 à 10) | Vitesse de l'impact (1 à 5) | Gravité de l'impact (E x I x S) |
|---|-------------------------------------|--|-------------------------------|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Arabette du Québec<br>( <i>Boechera quebecensis</i> ) | Température                         | Migration des espèces vers le nord   | 1                             | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces de basse altitude | -1                           | 6                               | 4                           | -24                             |
|   |                                     |  | 2                             | Création d'ombre par l'introduction d'espèces plus grandes à croissance rapide                                      | -1                           | 3                               | 3                           | -9                              |
|   |                                     | Allongement de la saison de croissance   | 3                             | Favorise la croissance de la plante   | +1                           | 6                               | 5                           | +30                             |
|   |                                     |  | 4                             | Décalage possible entre la période de floraison et l'émergence des pollinisateurs                                   | -1                           | 3                               | 3                           | -9                              |
|   | Température et précipitation        | Diminution de la stabilité du substrat rocheux (augmentation du risque d'éboulement) | 5                             | Destruction de population située en bas de talus rocheux, lors d'un éboulement                                      | -1                           | 7                               | 5                           | -35                             |
|   | Période de sécheresse               | Allongement des périodes de sécheresse estivale                                      | 6                             | Stress hydrique qui limite la croissance et les processus physiologiques  | -1                           | 3                               | 2                           | -6                              |

**Tableau 4.2 Impacts potentiels des changements climatiques pour l'aristide à rameaux basilaires et les gravités d'impacts associées**

| Espèce en situation précaire                       | Indicateur de changement climatique | Conséquence des changements climatiques         | Impact potentiel sur l'espèce |  | Effet de l'impact (-1 ou +1) | Importance de l'impact (1 à 10) | Vitesse de l'impact (1 à 5) | Gravité de l'impact (E x I x S) |
|--|-------------------------------------|---|-------------------------------|--|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Aristide à rameaux basilaires (Aristida basiramea) | Température                         | Migration des espèces vers le nord              | 1                             | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes         | -1                           | 6                               | 4                           | -24                             |
|  |                                     |   | 2                             | Création d'ombre par l'introduction d'espèces plus grandes à croissance rapide               | -1                           | 5                               | 4                           | -20                             |
|  |                                     | Allongement de la saison de croissance          | 7                             | Augmentation du nombre de graines arrivant à maturité (amélioration du taux de reproduction) | +1                           | 5                               | 5                           | +25                             |
|  |                                     |   | 8                             | Accessibilité à de nouveaux habitats potentiels au nord du fleuve Saint-Laurent              | +1                           | 10                              | 3                           | +30                             |
|  | Période de sécheresse               | Allongement des périodes de sécheresse estivale | 6                             | Stress hydrique qui limite la croissance et les processus physiologiques                     | -1                           | 2                               | 1                           | -2                              |
|  |                                     |   | 9                             | Réduction et contrôle des espèces compétitrices à cette espèce                               | +1                           | 7                               | 3                           | +21                             |

Tableau 4.3 Impacts potentiels des changements climatiques pour l'arnica de Griscom et les gravités d'impacts associées

| Espèce en situation précaire  | Indicateur de changement climatique | Conséquence des changements climatiques  | Impact potentiel sur l'espèce          |   | Effet de l'impact (-1 ou +1) | Importance de l'impact (1 à 10)  | Vitesse de l'impact (1 à 5) | Gravité de l'impact (E x I x S) |
|---|-------------------------------------|--|--|---|------------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------|
| Arnica de Griscom ( <i>Arnica griscomii</i> subsp. <i>Griscomii</i> ) | Température                         | Migration des espèces vers le nord   | 1                                      | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces de basse altitude | -1                           | 6  | 4                           | -24                             |
|   |                                     |  | 2                                      | Création d'ombre par l'introduction d'espèces plus grandes à croissance rapide                                      | -1                           | 3  | 3                           | -9                              |
|   |                                     | 3  | Favorise la croissance de la plante    | +1  | 6                            | 5  | +30                         |                                 |
|   |                                     | 4  | Allongement de la saison de croissance | Décalage possible entre la période de floraison et l'émergence des pollinisateurs                                   | -1                           | 6  | 3                           | -18                             |
|   | Température et précipitation        | Diminution de la stabilité du substrat rocheux (augmentation du risque d'éboulement) | 5                                      | Destruction de population située en bas de talus rocheux, lors d'un éboulement                                      | -1                           | 6  | 5                           | -30                             |
|   |                                     |  | Période de sécheresse                  | Allongement des périodes de sécheresse estivale   | 6                            | Stress hydrique qui limite la croissance et les processus physiologiques | -1                          | 3                               |

**Tableau 4.4 Impacts potentiels des changements climatiques pour l'aspidote touffue et les gravités d'impacts associées**

| Espèce en situation précaire                | Indicateur de changement climatique | Conséquence des changements climatiques  | Impact potentiel sur l'espèce       |   | Effet de l'impact (-1 ou +1) | Importance de l'impact (1 à 10) | Vitesse de l'impact (1 à 5) | Gravité de l'impact (E x I x S) |
|---|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Aspidote touffue ( <i>Aspidotis densa</i> ) | Température                         | Migration des espèces vers le nord   | 1                                   | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces de basse altitude | -1                           | 6                               | 4                           | -24                             |
|   |                                     |  | 2                                   | Création d'ombre par l'introduction d'espèces plus grandes à croissance rapide                                      | -1                           | 4                               | 3                           | -12                             |
|   |                                     | 3  | Favorise la croissance de la plante | +1  | 6                            | 5                               | +30                         |                                 |
|   | Température et précipitation        | Diminution de la stabilité du substrat rocheux (augmentation du risque d'éboulement) | 5                                   | Destruction de population située en bas de talus rocheux, lors d'un éboulement                                      | -1                           | 6                               | 5                           | -30                             |
|   |                                     |  | 6                                   | Stress hydrique qui limite la croissance et les processus physiologiques  | -1                           | 3                               | 2                           | -6                              |
|   | Période de sécheresse               | Allongement des périodes de sécheresse estivale                                      | 6                                   |   |                              |                                 |                             |                                 |

Tableau 4.5 Impacts potentiels des changements climatiques pour la floerkée fausse-proserpinie et les gravités d'impacts associées

| Espèce en situation précaire                                     | Indicateur de changement climatique | Conséquence des changements climatiques                       | Impact potentiel sur l'espèce |   | Effet de l'impact (-1 ou +1) | Importance de l'impact (1 à 10) | Vitesse de l'impact (1 à 5) | Gravité de l'impact (E x I x S) |
|--|-------------------------------------|---|-------------------------------|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Floerkée fausse-proserpinie ( <i>Floerkea proserpinacoides</i> ) | Température                         | Migration des espèces vers le nord                            | 1                             | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces de basse altitude | -1                           | 6                               | 4                           | -32                             |
|  |                                     | Intensification du taux de destruction des insectes ravageurs | 10                            | Ouverture de la canopée, donc amélioration de l'habitat (augmentation du taux de mortalité des arbres matures)      | +1                           | 5                               | 2                           | +10                             |
|  |                                     | Diminution de la mortalité hivernale du cerf de Virginie      | 11                            | Ouverture de la canopée, donc amélioration de l'habitat (perte de la régénération par le broutage)                  | +1                           | 5                               | 1                           | +5                              |
|  | Température et précipitation        | Intensification des inondations printanières                  | 12                            | Augmentation de la mortalité printanière (augmentation de l'érosion, de l'apport de débris et du dépôt de sédiment) | -1                           | 7                               | 5                           | -35                             |
|  |                                     |   | 13                            | Perte d'habitats potentiels (élargissement de la plaine de débordement)   | -1                           | 6                               | 4                           | -24                             |
|  |                                     |   | 14                            | Gain d'habitat potentiel (élargissement des zones inondables en milieu forestier)                                   | +1                           | 6                               | 3                           | +18                             |

Tableau 4.6 Impacts potentiels des changements climatiques pour le gaylussaquier de Bigelow et les gravités d'impacts associées

| Espèce en situation précaire                                | Indicateur de changement climatique | Conséquence des changements climatiques                         | Impact potentiel sur l'espèce |  | Effet de l'impact (-1 ou +1) | Importance de l'impact (1 à 10) | Vitesse de l'impact (1 à 5) | Gravité de l'impact (E x I x S) |
|---|-------------------------------------|---|-------------------------------|--|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Gaylussaquier de Bigelow ( <i>Gaylussacia bigeloviana</i> ) | Température                         | Migration des espèces vers le nord                              | 1                             | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes                                   | -1                           | 8                               | 4                           | -32                             |
|   |                                     |   | 2                             | Création d'ombre par l'introduction d'espèces plus grandes à croissance rapide   | -1                           | 5                               | 4                           | -20                             |
|   | Précipitation                       | Augmentation de l'apport d'eau pour les tourbières ombrotrophes | 15                            | Maintien de la qualité de l'habitat de cette espèce  | +1                           | 7                               | 5                           | +35                             |
|   | Période de sécheresse               | Allongement des périodes de sécheresse estivale                 | 6                             | Stress hydrique qui limite la croissance et les processus physiologiques   | -1                           | 4                               | 4                           | -16                             |
|   |                                     |   | 16                            | Diminution de l'humidité du sol dans les zones plus élevées des milieux humides (détérioration partielle de l'habitat) | -1                           | 7                               | 3                           | -21                             |

**Tableau 4.7 Impacts potentiels des changements climatiques pour la phéoptère à hexagones et les gravités d'impacts associées**

| Espèce en situation précaire                               | Indicateur de changement climatique | Conséquence des changements climatiques         | Impact potentiel sur l'espèce   |   | Effet de l'impact (-1 ou +1) | Importance de l'impact (1 à 10) | Vitesse de l'impact (1 à 5) | Gravité de l'impact (E x I x S) |
|--|-------------------------------------|---|---|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Phéoptère à hexagones ( <i>Phegopteris hexagonoptera</i> ) | Température                         | Migration des espèces vers le nord              | 1   | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces de basse altitude | -1                           | 8                               | 4                           | -32                             |
|  |                                     |   | 2   | Création d'ombre par l'introduction d'espèces plus grandes à croissance rapide                                      | +1                           | 3                               | 2                           | +6                              |
|  |                                     | 10  | Ouverture de la canopée, donc détérioration de l'habitat (augmentation du taux de mortalité des arbres matures) | -1  | 5                            | 2                               | -15                         |                                 |
|  |                                     | 11  | Ouverture de la canopée, donc détérioration de l'habitat (perte de la régénération par le broutage)             | -1  | 5                            | 1                               | -15                         |                                 |
|  | Période de sécheresse               | Allongement des périodes de sécheresse estivale | 6   | Stress hydrique qui limite la croissance et les processus physiologiques  | -1                           | 6                               | 4                           | -24                             |
|  |                                     |   | 17  | Diminution de l'humidité du sol (détérioration des habitats humides)  | -1                           | 8                               | 3                           | -24                             |

Tableau 4.8 Impacts potentiels des changements climatiques pour le séneçon fausse-cymbalaire et les gravités d'impacts associées

| Espèce en situation précaire                            | Indicateur de changement climatique | Conséquence des changements climatiques  |   | Impact potentiel sur l'espèce   | Effet de l'impact (-1 ou +1) | Importance de l'impact (1 à 10) | Vitesse de l'impact (1 à 5) | Gravité de l'impact (E x I x S) |
|---|-------------------------------------|--|---|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Séneçon fausse-cymbalaire ( <i>Packera cymbalaria</i> ) | Température                         | Migration des espèces vers le nord   | 1 | Compétition pour les ressources par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces de basse altitude | -1                           | 6                               | 4                           | -24                             |
|   |                                     |  | 2 | Création d'ombre par l'introduction d'espèces plus grandes à croissance rapide                                      | -1                           | 4                               | 3                           | -12                             |
|   |                                     | Allongement de la saison de croissance   | 3 | Favorise la croissance de la plante   | +1                           | 6                               | 5                           | +30                             |
|   |                                     |  | 4 | Décalage possible entre la période de floraison et l'émergence des pollinisateurs                                   | -1                           | 6                               | 3                           | -18                             |
|   | Température et précipitation        | Diminution de la stabilité du substrat rocheux (augmentation du risque d'éboulement) | 5 | Destruction de population située en bas de talus rocheux, lors d'un éboulement                                      | -1                           | 5                               | 5                           | -25                             |
|   | Période de sécheresse               | Allongement des périodes de sécheresse estivale                                      | 6 | Stress hydrique qui limite la croissance et les processus physiologiques  | -1                           | 4                               | 2                           | -8                              |



## 4.2. Discussion

Tel que présenté dans le deuxième chapitre de cette production de fin d'études, la migration des espèces vers le nord entraînera une introduction plus importante d'espèces compétitrices et d'espèces exotiques envahissantes dans tous les habitats des espèces à l'étude. En effet, l'impact 1 (tableau 4.1 à 4.8) correspond à la compétition faite par l'introduction de nouvelles espèces dans l'habitat de chaque plante en situation précaire. Cet impact a la même valeur d'effet, soit -1, et a la même valeur de vitesse d'impact, soit 4, pour toutes les espèces à l'étude. Toutefois, la valeur de l'importance de l'impact varie selon le type d'habitat où l'on retrouve la plante et selon la période de floraison de l'espèce. En effet, les espèces, croissant dans un environnement plus sec et où les conditions sont plus extrêmes, obtiennent une valeur d'importance d'impact plus faible que les espèces de milieux humides. Cette différence est due au fait que le nombre d'espèces compétitrices étant en mesure de croître et de survivre dans les environnements extrêmes est plus faible que celui des milieux humides. En effet, au Québec, on retrouve 25 espèces exotiques envahissantes pouvant croître dans un milieu humide et seulement 12 espèces exotiques envahissantes étant en mesure de pousser dans un habitat sec (MELCC, s. d.j). Donc les espèces de milieux humides subiront plus de compétition que les espèces de milieux secs. Cependant, la floerkée fausse-proserpinie, qui est une plante de milieu humide, subira moins de compétition que les autres espèces de milieux humides, puisque cette espèce fleurit très tôt au printemps. Cette floraison très hâtive permet donc à cette plante d'accéder aux ressources avant que la majorité des espèces débutent leur feuillaison.

Comme Giménez-Benavides et al. (2018) l'ont démontré, ce sont les espèces de haute altitude, comme l'arabette du Québec, l'arnica de Griscom et le séneçon fausse-cymbalaire, qui seraient les plus vulnérables au décalage entre la période de floraison et l'émergence des pollinisateurs. Cependant, comme on peut le voir avec l'impact 4, les valeurs d'importance de l'impact pour ces trois espèces ne sont pas les mêmes (tableau 4.1, 4.3 et 4.8). En effet, l'importance de l'impact pour l'arabette du Québec a une valeur de trois, tandis qu'elle a une valeur de six pour l'arnica de Griscom et le séneçon fausse-cymbalaire. Cette différence est expliquée par le fait que l'arabette du Québec, contrairement aux deux autres espèces, se reproduit principalement de façon asexuée (COSEPAC, 2014, 2017; MELCC, s. d.i). Donc cette plante dépend moins des pollinisateurs pour se reproduire que les deux autres espèces. Ce qui fait en sorte qu'elle sera moins impactée par une diminution du taux de pollinisation.

Ensuite, l'impact 5 (tableau 4.1, 4.3, 4.4 et 4.8) concerne la diminution de la stabilité du substrat rocheux, suite à l'augmentation des précipitations et de la température ambiante. Cet impact a des valeurs d'importance différentes, selon l'espèce. Pour l'arabette du Québec, cette importance est de 7, tandis

qu'elle est de 6 pour l'arnica de Griscom et l'aspidote touffue et qu'elle est de 5 pour le séneçon fausse-cymbalaire. L'importance de cet impact pour l'arabette du Québec est jugée la plus grande, étant donné que les sites où l'on retrouve cette espèce sont plus friables que les sites où sont situées les autres espèces. L'importance de cet impact pour le séneçon fausse-cymbalaire est jugée la plus faible des trois, étant donné que cette espèce croît dans des talus végétalisés. Une stabilité supplémentaire est donc fournie au substrat grâce au réseau racinaire se déployant dans celui-ci. Ces différences initiales de stabilité agiront sur l'intensité des éboulements, suite à la diminution de la stabilité. Un site initialement instable subira potentiellement un éboulement ou glissement de terrain plus important qu'un site initialement très stable.

Sept des huit espèces à l'étude subiront une augmentation du stress hydrique suite à l'allongement des périodes de sécheresse estivale (impact 6) (tableau 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.6, 4.7 et 4.8). La seule espèce ne subissant pas les impacts des sécheresses est la floerkée fausse-proserpinie, qui est au stade de graine durant l'été. Les impacts de la sécheresse ont toutefois des valeurs d'importance et de vitesse différentes, pour les sept autres espèces. La valeur de l'importance et de la vitesse de cet impact dépendent du besoin en eau de la plante et du type d'habitat où croît celle-ci. Les plantes de milieux moyennement ou très humides, tels la phégoptère à hexagones et le gaylussaquier de Bigelow, ont un besoin plus important en eau et seront davantage impactées par une sécheresse que les espèces adaptées aux milieux très secs. Cependant, le gaylussaquier de Bigelow, étant une éricacée, résiste davantage aux sécheresses, grâce à ses feuilles coriaces (Chen, Khalili, & Cairney, 2003; Groupe de recherche en écologie des tourbières, 2013).

Ensuite, pour la floerkée fausse-proserpinie, le gaylussaquier de Bigelow et la phégoptère à hexagones, l'allongement des périodes de sécheresse causera une diminution de l'humidité du sol et une détérioration des conditions édaphiques de leur habitat (impacts 16 et 17) (tableau 4.6 et 4.7). L'importance de cette détérioration d'habitat dépend de la proportion de l'habitat qui subira une diminution importante de l'humidité dans le sol. Par exemple, ce ne sont que les zones les plus élevées de l'habitat du gaylussaquier de Bigelow qui subiront une sécheresse importante lors des périodes chaudes de l'été. Ce n'est donc pas tous les individus de cette espèce qui seront impactés par la sécheresse. Donc l'importance de cet impact est plus faible que pour la phégoptère à hexagones, qui subira de la sécheresse dans l'entièreté de son habitat. Pour la floerkée fausse-proserpinie ce ne sont que les zones les plus éloignées des cours d'eau et des milieux les plus humides qui subiront des sécheresses plus extrêmes, ce qui explique la valeur d'importance située entre celles de gaylussaquier de Bigelow et de la phégoptère à hexagones.

Finalement, la floerkée fausse-proserpinie et la phégoptère à hexagones seront impactées de diverses façons par les changements climatiques. Cependant, pour chacune de ces espèces, deux de ces impacts (impacts 10 et 11) auront des conséquences très similaires, mais des niveaux de vitesses différents (tableaux 4.5 et 4.7). L'augmentation de la température ambiante causera une intensification du taux de destruction des insectes ravageurs et entraînera une augmentation des populations de cerf de Virginie. Ces deux évènements conduiront par des actions similaires à l'ouverture de la canopée, ce qui modifiera la disponibilité des habitats propices pour ces espèces. Cependant, les insectes, attaquant les arbres matures et non la régénération comme les cerfs de Virginie le font, entraîneront l'ouverture de la canopée plus rapidement que le broutage des cerfs. Toutefois, puisqu'il faut quelques années à un arbre nouvellement mort pour tomber et ainsi créer une ouverture dans la canopée, la vitesse de ces impacts sera tout de même limitée. C'est donc pour ces raisons que l'impact 10 (insectes) obtient un niveau de vitesse de 2 et que l'impact 11 (cerfs de Virginie) obtient une vitesse de 1 (tableaux 4.5 et 4.7).

## **5. RECOMMANDATIONS**

Dans cette sous-section, des recommandations générales concernant toutes les espèces à l'étude sont formulées. Ces recommandations se basent sur des constats qui ont été observés lors de la recherche d'informations et lors de l'évaluation des impacts. Ensuite, des recommandations sont formulées pour tous les impacts ayant obtenu un niveau de priorité « urgente » et « importante », dans le but de limiter les conséquences des impacts potentiels des changements climatiques.

### **5.1. Recommandations générales**

Il existe un besoin urgent d'études plus spécifiques sur les impacts des changements climatiques sur les plantes et sur les écosystèmes du Québec et du Canada. En effet, lors des recherches d'information, très peu d'études portant sur les impacts des changements climatiques sur les espèces en situation précaire à l'étude ont été trouvées. Dans les quelques cas où des études sur les changements climatiques ont été trouvées, ces dernières provenaient généralement des États-Unis (le cas de la floerkée fausse-proserpine et de la phégoptère à hexagones). Un approfondissement des connaissances scientifiques devrait donc être réalisé, afin de prévoir efficacement les impacts des changements climatiques et pour protéger ces espèces et les écosystèmes.

À une échelle plus large, les impacts des changements climatiques sur les différents types d'habitats sont assez bien documentés. Cependant, ce type de recherche sur les habitats alpins et subalpins est plus rare et moins approfondi. Dans la littérature scientifique, on retrouve un certain nombre d'études portant sur les habitats de très haute altitude, comme les Alpes. Toutefois, les études sur des habitats alpins de moins grande altitude, comme les chaînes de montagnes québécoises, sont plus difficiles à trouver et le contenu est souvent très peu développé.

Ensuite, un suivi de la santé des différentes populations d'espèces en situation précaire devrait être réalisé plus régulièrement. Ce suivi permettrait de surveiller l'état des populations et de leurs habitats et cela permettrait d'observer l'évolution des impacts des changements climatiques. Ce suivi permettrait donc aux autorités responsables de gérer et d'agir le plus rapidement possible afin de limiter ces impacts.

Par la suite, comme présentée dans le chapitre 2, la migration des espèces à l'étude au nord du fleuve Saint-Laurent n'est pas assurée pour toutes les espèces. En effet, six des huit espèces ont une probabilité de dispersion faible ou impossible au-delà de cette barrière. De plus, à cause de la grande vitesse à laquelle les changements climatiques surviendront au Québec et de la faible vitesse de migration des plantes, les autres espèces ne disposeront peut-être pas du temps nécessaire pour effectuer cette dispersion. Il serait

donc recommandé, dès l'apparition des premiers signes importants de détérioration de l'habitat due aux changements climatiques, de tenter d'effectuer de la dispersion assistée des semences dans des environnements propices au nord du fleuve Saint-Laurent. Des systèmes de migration assistés de plantes sont déjà mis en place dans certaines provinces canadiennes (Alberta Biodiversity Monitoring Institute, 2018; Maslovat, 2009). En effet, le gouvernement de la Colombie-Britannique effectue déjà des déplacements en altitude et en latitude nordique des graines d'arbres. Le gouvernement de l'Alberta procède au déplacement de semis d'arbres deux degrés plus au nord que leur aire de distribution naturelle. Au Québec, en 1999, une partie d'une population de phéogoptère à hexagones en danger située au Mont Yamaska en Montérégie a été transplantée dans ce même massif forestier, dans le but de sauvegarder la population. Un suivi sur trois ans des populations transplantées a été réalisé et a révélé que la transplantation de cette espèce est réalisable et a un bon succès. (Marineau, 2002) Il serait donc possible, si des habitats propices aux espèces à l'étude sont identifiés au nord du fleuve, de procéder à de la migration assistée de ces espèces et ainsi leur offrir la chance de prospérer au nord du fleuve Saint-Laurent. Cependant, la transplantation de plantes ne s'avère pas toujours possible ou n'a pas toujours un bon succès. Par exemple, en seulement trois ans, les 800 plants de floerkée fausse-proserpinie, qui ont été transplantés en 2000 à l'Île des Sœurs, sont tous morts (Marineau, 2005).

Finalement, comme mentionné dans le chapitre 2, les huit espèces à l'étude seront toutes potentiellement affectées par l'introduction d'espèces exotiques envahissantes dans leurs habitats (impact 1) (voir tableaux 3.1). Donc, la lutte contre ces espèces envahissantes est nécessaire, afin de limiter leur impact très néfaste sur les plantes et les écosystèmes. Cependant, les méthodes actuelles de lutte contre ces espèces demandent de grands efforts et sont très coûteuses (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, s. d.a). Il serait donc très pertinent de faire plus de recherche, afin de trouver des techniques plus simples et plus efficaces de lutte. De plus, il faudrait tenter de prévoir quelles espèces du sud (États-Unis), en plus des espèces déjà présentes, pourront venir s'établir au Québec suite aux changements climatiques et tenter de trouver des méthodes de lutte efficace contre ces espèces. En faisant cela, il sera possible de ralentir l'envahissement de ces espèces au Québec et ainsi limiter leur impact sur nos écosystèmes.

## **5.2. Recommandations pour les impacts de priorité « urgente » et « importante »**

Les populations d'arabette du Québec, d'arnica de Griscom, d'aspidote touffue et de séneçon fausse-cymbalaire sont toutes potentiellement menacées par une diminution de la stabilité du substrat rocheux (impact 5). Afin de limiter l'impact de cette conséquence des changements climatiques, il serait recommandé de faire un suivi de l'état de stabilité des talus rocheux où sont présentes les populations de

ces espèces. Avant que la stabilité du talus soit compromise, une relocalisation des individus pourra être effectuée afin de prévenir la destruction de la population. Si la relocalisation n'est pas une option, il serait toujours possible d'effectuer des travaux de stabilisation afin de prévenir tout éboulement du talus rocheux.

Les populations d'arnica de Griscom et de séneçon fausse-cymbalaire seront potentiellement sensibles au décalage entre la période de floraison et l'émergence des pollinisateurs, qui découlera de l'allongement de la saison de croissance (impact 4). Lorsque ce décalage commencera à être observé, l'introduction d'une nouvelle espèce de pollinisateur serait l'une des seules solutions pour contrer la baisse du taux de pollinisation de ces espèces. Cependant, une telle introduction d'espèce pourrait avoir des impacts négatifs sur l'ensemble de l'écosystème. Donc, puisque ces impacts négatifs ne sont pas connus, il serait fortement déconseillé d'effectuer volontairement l'introduction d'une espèce exotique dans un écosystème du Québec.

La création d'ombre par l'arrivée d'espèces à croissance rapide dans les strates supérieures constitue une menace « importante » pour l'aristide à rameaux basilaires (impact 2), puisque cette espèce ne tolère pas l'ombre. La première mesure à entreprendre serait de lutter et de contrôler l'envahissement des arbres et des arbustes dans l'habitat de cette espèce en situation précaire. Puisque les populations de l'aristide à rameaux basilaires sont localisées sur un territoire assez restreint, il serait réalisable de lutter contre l'introduction de nouvelles espèces (MELCC, s. d.b). De plus, les perturbations anthropiques, telle l'exploitation des sablières, maintiennent une certaine ouverture dans ce type d'habitat et limitent l'introduction de nouvelles espèces (COSEPAC, 2002). Il est donc recommandé de ne pas mettre sous protection complète l'habitat de l'aristide à rameaux basilaires. Le fait de continuer à exploiter une partie de son habitat, tout en s'assurant de ne pas détruire les populations de cette plante, aiderait à limiter l'introduction de nouvelles espèces.

L'intensification des inondations printanières entraînera une augmentation de la mortalité au printemps et une perte d'habitat potentiel pour la floerkée fausse-proserpinie (impacts 13 et 14). Il est presque impossible d'empêcher cette intensification des inondations. Donc, il est pratiquement certain que les plaines de débordement des cours d'eau du Québec vont s'élargir dans le futur. Les individus de cette espèce se trouvant très près des cours d'eau sont donc voués à mourir ou à investir d'autres habitats. Il est donc recommandé, afin de préserver les populations de cette espèce, de faire un suivi de l'évolution des plaines de débordement et de tenter de déplacer, aux meilleurs des capacités et des connaissances

actuelles, les individus les plus à risque. Grâce à l'élargissement des zones inondables en milieu forestier, l'habitat potentiel de cette espèce sera déplacé.

Pour le gaylussaquier de Bigelow, trois impacts de classe « importante » sont prévus, soit les impacts 2, 6 et 16 (tableau 4.6). Afin de limiter la création d'ombre suite à l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces plus grandes à croissance rapide, une lutte aux espèces exotiques envahissantes devra être réalisée. Pour ce qui est des autres espèces qui pourront venir s'implanter à un moment ou à un autre dans ce type d'habitat, le suivi et la lutte contre l'introduction de toutes les espèces sont plus complexes. Il faudra donc se demander si l'objectif poursuivi sera de conserver les tourbières dans l'état actuel ou s'il est acceptable que celle-ci évolue vers un autre type d'habitat. Ensuite, afin de limiter les impacts en lien avec l'allongement des périodes de sécheresse (impacts 6 et 16), il faudrait limiter l'exploitation des tourbières où est située cette espèce. L'exploitation des tourbières entraîne un drainage des sols, ce qui rend grandement vulnérable ce type d'habitat aux périodes de sécheresse.

Finalement, la phégoptère à hexagones sera également influencée de diverses façons par l'allongement des périodes de sécheresse. Cette modification des périodes de sécheresse causera un stress hydrique et en diminuant l'humidité du sol (impacts 6 et 17). Il serait assez difficile d'agir directement sur l'assèchement du sol dans les milieux humides forestiers. Il est cependant possible de limiter les perturbations du milieu forestier, afin de réduire l'ouverture du couvert forestier, ce qui aidera à garder une température au sol plus fraîche et ainsi réduire l'évaporation de l'eau contenue dans le sol. De plus, puisque cette espèce est principalement retrouvée dans les forêts matures non perturbées, il serait recommandé, pour éviter la disparition de cette espèce, de protéger son habitat de l'activité humaine, en particulier de l'exploitation forestière (Gouvernement de l'Ontario, s. d.).

## CONCLUSION

Cette production de fin d'études a permis de constater comment les changements globaux actuels et futurs allaient affecter notre climat, particulièrement en termes de température, de précipitation, de sécheresse, de périodes de croissance, etc. Il était évident, avant même de débiter cette production, que les modifications prévues du climat vont affecter la biodiversité mondiale et les écosystèmes du Québec. C'est pour cette raison que l'objectif général de cette production était d'évaluer le potentiel de survie de certaines espèces en situation précaire du sud du Québec face aux changements globaux. Pour arriver à répondre à cet objectif, quatre sous-objectifs ont été étudiés.

En premier lieu, un portrait des changements climatiques actuel et futur a été dressé. Ce premier chapitre a révélé des changements du climat importants et inquiétants pour l'avenir des écosystèmes du Québec. Ces changements sont, par exemple, l'augmentation de température de 1,1 °C à 5,4 °C prévus pour 2050, l'allongement des périodes de sécheresse estivales ou encore la migration des écosystèmes de 200 à 1200 kilomètres vers le nord, d'ici 2100.

En second lieu, avec la recherche d'information sur les espèces à l'étude, la possibilité pour ces espèces de coloniser de nouveaux territoires au nord du fleuve Saint-Laurent a été évaluée. La dispersion au nord du fleuve Saint-Laurent a été évaluée comme étant possible pour trois des huit espèces, soit pour l'aristide à rameaux basilaires, l'arnica de Griscom et la phégoptère à hexagones. Une telle dispersion au-delà de cette barrière à la migration a été évaluée comme étant peu probable pour deux espèces, soit pour la floerkée fausse-proserpinie et le séneçon fausse-cymbalaire. Cette même dispersion serait impossible pour l'arabette du Québec, l'aspidote touffue et le gaylussaquier de Bigelow. Il serait donc nécessaire, pour ces cinq dernières espèces, de procéder à de la migration assistée, afin de permettre leur propagation au nord du fleuve Saint-Laurent.

En troisième lieu, la recherche a permis de voir comment ces changements climatiques pourraient affecter les huit espèces à l'étude. Au total, 17 impacts potentiels des changements climatiques sont ressortis pour les huit espèces. En général, les impacts négatifs concernent la perte ou la destruction d'habitats, l'augmentation de la compétition ou l'augmentation du stress hydrique. À partir des informations récoltées, des valeurs d'effet, d'importance et de vitesse ont été attribuées aux 17 impacts. Ces valeurs ont permis de calculer la gravité de chaque impact. Ces gravités d'impact ont ensuite été utilisées afin d'attribuer une classe de priorité à chaque impact. Au total, 15 impacts sur différentes espèces ont atteint la classe « importante » et 7 impacts ont atteint la classe « urgente ».



Finalement, des recommandations, qui permettraient à ces espèces de survivre aux changements climatiques, ont été énumérées. Il serait fortement recommandé d'effectuer davantage de recherches et d'études sur les impacts des changements climatiques sur toutes les plantes en situation précaire au Québec. Un manque de données sur les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes du Québec a aussi été observé. Des études sur des écosystèmes similaires ont été faites ailleurs dans le monde, cependant, ces milieux n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques que ceux du Québec. Il est également fortement recommandé d'effectuer un suivi plus rigoureux de la santé des différentes populations d'espèces en situation précaire au Québec, afin de déceler le plus rapidement possible le déclin des populations et ainsi prévenir la disparition complète de ces populations sur notre territoire. Ensuite, il a été démontré que l'introduction de nouvelles espèces dans les milieux naturels entraînera une augmentation de la compétition faite aux espèces indigènes. Il est donc suggéré de trouver des méthodes de lutte efficace contre les espèces exotiques envahissantes, afin de limiter ce fléau. D'autres recommandations plus spécifiques à une ou quelques espèces ont été suggérées dans cette production de fin d'études.

Cette production de fin d'études offre des pistes de solutions afin de limiter les impacts qu'auront les changements climatiques sur les espèces à l'étude et sur leurs habitats. Toutefois, ces suggestions de gestion, même si elles étaient mises en place, n'empêcheront pas les changements climatiques d'affecter négativement les écosystèmes du Québec et n'arrêteront pas les pertes de biodiversité. Pour ce faire, il serait nécessaire que nous changions nos habitudes de consommation, afin de réduire à la source l'émission de gaz à effet de serre et ainsi espérer réduire l'ampleur des changements climatiques.

Dans le cadre d'une future étude, il serait intéressant d'évaluer comment la perte d'une partie de la biodiversité, engendrée par les changements climatiques, affecterait le reste de la biodiversité du Québec.

## RÉFÉRENCES

- Alberta Biodiversity Monitoring Institute. (2018). Testing rare plant translocations. Repéré à <https://www.abmi.ca/home/publications/501-550/513>
- Arzel, J. (2015). *Priorisation des tourbières de Franche-Comté* (Essai, Université de Sherbrooke). Repéré à [https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/6966/Arzel\\_Julie\\_MEnv\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/6966/Arzel_Julie_MEnv_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Atlas climatique du Canada. (s. d.). Les ravageurs forestiers et changements climatiques. Repéré à <https://atlasclimatique.ca/les-ravageurs-forestiers-et-changements-climatiques>
- Atmeh, K., Andruszkiewicz, A. et Zub, K. (2018). Climate change is affecting mortality of weasels due to camouflage mismatch. *Scientific Reports*, 8(1), 7648. Repéré à <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26057-5>
- Baer, H. A. et Singer, M. (2018). *The anthropology of climate change: An integrated critical perspective* (2<sup>e</sup> éd.). New-York, NY: Routledge.
- Baldwin, A. H., Jensen, K. et Schönfeldt, M. (2013). Warming increases plant biomass and reduces diversity across continents, latitudes, and species migration scenarios in experimental wetland communities. Repéré à <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.12378>
- Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J. S., Nakashizuka, T., Raffealli, D. et Schmid, B. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. Repéré à <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.usherbrooke.ca/doi/epdf/10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x>
- Barbeau, O. et Brisson, J. (2004). *La situation de l'aristide à rameaux basilaires (Aristida basiramea Engelm. ex. Vasey) au Québec*. Repéré à <http://www.irbv.umontreal.ca/wp-content/uploads/brisson-aristida.pdf>
- Berteaux, D. (2014). *Changements climatiques et biodiversité du Québec: Vers un nouveau patrimoine naturel*. PUQ.
- Biota of North America Program. (2014). North American Plant Atlas. Repéré à <http://bonap.net/Napa/TaxonMaps/Genus/County/Gaylussacia>
- Both, C., Bouwhuis, S., Lessells, C. M. et Visser, M. E. (2006). *Climate change and population declines in a long-distance migratory bird*. Repéré à [http://faculty.jsd.claremont.edu/emorhardt/159/pdfs/2007/1\\_25\\_07.pdf](http://faculty.jsd.claremont.edu/emorhardt/159/pdfs/2007/1_25_07.pdf)
- Burkett, V. et Kusler, J. (2000). Climate Change: Potential Impacts and Interactions in Wetlands of the United States. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(2), 313-320. Repéré à <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04270.x>
- Bush, E. J., Loder, J. W., James, T. S., Mortsch, L. D. et Cohen, S. J. (2014). Canada in changing climate: Sector perspectives on impacts and adaptation. Repéré à <https://www.nrcan.gc.ca/environment/resources/publications/impacts-adaptation/reports/assessments/2014/16309>
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2007). *Biologie* (3<sup>e</sup> éd.). Québec, Québec: Éditions du nouveau pédagogique.

- Centre de la science de la biodiversité du Québec. (2012). *Impacts des changements climatiques sur la biodiversité du Québec: Résumé de la revue de littérature*. Repéré à <https://qcbs.ca/wp-content/uploads/2012/03/Revue-de-litt%C3%A9rature-R%C3%A9sum%C3%A9-Web.pdf>
- Champagne, J. (2005). Espèces en péril au Canada - Fédération canadienne de la faune. Repéré à <http://www.hww.ca/fr/enjeux-et-themes/especes-en-peril-au-canada.html>
- Charest, R. (2012). Le roseau commun, un envahisseur de taille. Repéré à <https://www.sepaq.com/parcs-quebec/blogue/article.dot?id=2d32c9c1-76a5-451a-a07c-a3d7dd28cb8f>
- Chen, D. M., Khalili, K. et Cairney, J. W. (2003). *Influence of water stress on biomass production by isolates of an ericoid mycorrhizal endophyte of *Woolisia pungens* and *Epacris microphylla**. Repéré à <https://link-springer-com.ezproxy.usherbrooke.ca/content/pdf/10.1007%2Fs00572-003-0228-7.pdf>
- Clark, J. S., Iverson, L., Woodall, C. W., Allen, C. D., Bell, D. M., Bragg, D. C., ... Zimmermann, N. E. (2016). The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States. *Global Change Biology*, 22(7), 2329-2352. Repéré à <https://doi.org/10.1111/gcb.13160>
- Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). (2002). *Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur l'aristide à rameaux basilaires *Aristida basiramea* au Canada*. Repéré à [https://faune-especes.canada.ca/registre-especes-peril/virtual\\_sara/files/cosewic/sr\\_forked\\_three\\_awned\\_grass\\_f.pdf](https://faune-especes.canada.ca/registre-especes-peril/virtual_sara/files/cosewic/sr_forked_three_awned_grass_f.pdf)
- Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). (2014). *Arnica de Griscom (*Arnica griscomii*) : évaluation et rapport de situation du COSEPAC*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/evaluations-rapports-situations-cosepac/arnica-griscom-2014.html>
- Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). (2017). *Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur L'arabette du Québec (*Boechera quebecensis*) au Canada 2017 [Recherche;description de programme]*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/evaluations-rapports-situations-cosepac/arabette-quebec-2017.html>
- Conseil régional de l'environnement de l'Estrie. (s. d.). *La Renouée du Japon*. Repéré à <https://www.environnementestrie.ca/renouee-du-japon/>
- Conservation Measures Partnership. (2013). *Open Standards - Normes ouvertes pour la pratique de la conservation*. Repéré à <http://cmp-openstandards.org/wp-content/uploads/2017/08/CMP-OS-V3-0-v-2013-05-06-French.pdf>
- Conservation Nature. (s. d.). *Menaces - Différentes menaces sur la biodiversité*. Repéré à <http://www.conservation-nature.fr/article2.php?id=130>
- Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. (2018). *The Paris Agreement*. Repéré à <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>
- Coutu, V. (2016). *Impact des changements climatiques sur certaines espèces à statut précaire au Québec et analyse des mesures de protection actuelles* (Essai, Université de Sherbrooke). Repéré à <http://hdl.handle.net/11143/8883>
- Dale, V. H., Joyce, L. A., McNulty, S., Neilson, R. P., Ayres, M. P., Flannigan, M. D. et Simberloff, D. (2001). Climate Change and Forest Disturbances: Climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and

- pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. Repéré à <https://academic.oup.com/bioscience/article/51/9/723/288247>
- Dukes, J. S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J. R., Rodgers, V. L., Brazee, N. et Ehrenfeld, J. (2009). Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? Repéré à <https://www.evsc.virginia.edu/wp-content/uploads/2009-Dukes-et-al-CJFR.pdf>
- Environnement et Changement climatique Canada. (2009). Loi sur les espèces en péril : Description [Loi]. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/especes-peril-loi-accord-financement/loi-description.html>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. et Basra, S. M. A. (2009). Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. Dans *Sustainable Agriculture* (p. 153-188). Repéré à [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12)
- Faune et flore du pays. (s. d.). Le cerf de Virginie. Repéré à <http://www.hww.ca/fr/faune/mammiferes/le-cerf-de-virginie.html>
- Flora of North America. (s. d.a). *Aspidotis densa*. Repéré à [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=233500185](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=233500185)
- Flora of North America. (s. d.b). *Gaylussacia bigeloviana*. Repéré à [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=250065725](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=250065725)
- Flora of North America. (s. d.c). *Packera cymbalaria*. Repéré à [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=250067240](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=250067240)
- FloraQuebeca. (2009). *Plantes rares du Québec méridional*. Québec, Québec: Les Publications du Québec.
- FloraQuebeca. (s. d.a). Glossaire : Akène. Consulté à l'adresse <https://www.floraquebeca.qc.ca/akene/?popup=oui>
- FloraQuebeca. (s. d.b). Glossaire : Mucroné. Consulté à l'adresse [https://www.floraquebeca.qc.ca/glossaire-2/?r\\_terme=mucron%C3%A9&r\\_domaine=tous#](https://www.floraquebeca.qc.ca/glossaire-2/?r_terme=mucron%C3%A9&r_domaine=tous#)
- FloraQuebeca. (s. d.c). Glossaire : Oblancolé. Consulté à l'adresse <https://www.floraquebeca.qc.ca/oblanceole/>
- FloraQuebeca. (s. d.d). Glossaire : Obové. Consulté à l'adresse <https://www.floraquebeca.qc.ca/obove/?popup=oui>
- Frenette, F. (2005). *La loi sur la conservation du patrimoine naturel : Un simple aperçu des mesures de protection édictées et de leur impact sur la pratique notariale*. Repéré à <https://www.erudit.org/fr/revues/notariat/2005-v107-n3-notariat03656/1045636ar.pdf>
- Giménez-Benavides, L., Escudero, A., Garcia-Camacho, R., Garcia-Fernandez, A., Iriondo, J. M., Lara-Romero, C. et Morente-Lopez, J. (2018). How does climate change affect regeneration of Mediterranean high-mountain plants? An integration and synthesis of current knowledge. Repéré à [https://www.researchgate.net/publication/320261542\\_How\\_does\\_climate\\_change\\_affect\\_regeneration\\_of\\_Mediterranean\\_high-mountain\\_plants\\_An\\_integration\\_and\\_synthesis\\_of\\_current\\_knowledge](https://www.researchgate.net/publication/320261542_How_does_climate_change_affect_regeneration_of_Mediterranean_high-mountain_plants_An_integration_and_synthesis_of_current_knowledge)

- Gitay, H., Suárez, A., Watson, R. T. et Dokken, D. J. (2002). *Climate change and biodiversity*. Repéré à [https://www.tnrf.org/files/E-INFO\\_IPCC\\_2002\\_Climate\\_Change\\_and\\_Biodiversity\\_0.pdf](https://www.tnrf.org/files/E-INFO_IPCC_2002_Climate_Change_and_Biodiversity_0.pdf)
- Gouvernement de l'Ontario. (s. d.). Plan de gestion de la phéoptéride à hexagones. Repéré à <https://www.ontario.ca/fr/page/plan-de-gestion-de-la-phéoptéride-hexagones>
- Gouvernement de l'Ontario. (2013). Broad Beech Fern Management Plan. Repéré à <https://www.ontario.ca/page/broad-beech-fern-management-plan#section-4>
- Gouvernement de l'Ontario. (2016). Plan de gestion de la phéoptéride à hexagones. Repéré à <https://www.ontario.ca/fr/page/plan-de-gestion-de-la-phéoptéride-hexagones>
- Gouvernement du Canada. (s. d.a). Index des espèces de A à Z. Repéré à [https://wildlife-species.canada.ca/registre-especes-peril/sar/index/default\\_f.cfm](https://wildlife-species.canada.ca/registre-especes-peril/sar/index/default_f.cfm)
- Gouvernement du Canada. (s. d.b). Index des espèces de A à Z - Registre public des espèces en péril. Repéré à [https://faune-especes.canada.ca/registre-especes-peril/sar/index/default\\_f.cfm](https://faune-especes.canada.ca/registre-especes-peril/sar/index/default_f.cfm)
- Gouvernement du Canada. (2011). Profil d'espèce - Phéoptère à hexagones. Repéré à [https://faune-especes.canada.ca/registre-especes-peril/species/speciesDetails\\_f.cfm?sid=244](https://faune-especes.canada.ca/registre-especes-peril/species/speciesDetails_f.cfm?sid=244)
- Groupe de recherche en écologie des tourbières. (2013). Les éricacées. Repéré à <http://www.gret-perg.ulaval.ca/about/peatlands/vegetation/les-ericacees/>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2014). *Changements climatiques 2014 - Rapport de synthèse*. Repéré à [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf)
- Hautier, Y., Tilman, D., Isbell, F., Seabloom, E. W., Borer, E. T. et Reich, P. B. (2015). Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity. Repéré à <https://science.sciencemag.org/content/348/6232/336/tab-pdf>
- Hébert, F., Hénault, M., Lamoureux, J., Bélanger, M., Vachon, M. et Dumont, A. (2013). *Guide d'aménagement des ravages de cerfs de Virginie*. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/Guide-amenagement-ravages-cerfs-Virginie.pdf>
- Houle, G. (2002). *The advantage of early flowering in the spring ephemeral annual plant Floerkea proserpinacoides*. Repéré à <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1469-8137.2002.00418.x>
- Kharin, V. V., Flato, G. M., Zhang, X., Gillett, N. P., Zwiers, F. et Anderson, K. J. (2018). *Risks from limate Extremes Change Differently from 1.5°C to 2.0°C Depending on Rarity*. Repéré à <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2018EF000813>
- Larousse : Dictionnaire. (s. d.a). Définitions : Aigrette. Consulté à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/aigrette/1869>
- Larousse : Dictionnaire. (s. d.b). Définitions : Calcicole. Consulté à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/calcicole/12248>
- Larousse : Dictionnaire. (s. d.c). Définitions : Édaphique. Repéré à <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9daphique/27824>
- Larousse : Dictionnaire. (s. d.d). Définitions : Stochastique. Repéré à <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/stochastique/74742>

- Larousse : Dictionnaire. (s. d.e). Définitions : Taïga. Consulté à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ta%C3%AFga/76419>
- Larousse : Dictionnaire. (s. d.f). Définitions : Toundra. Consulté à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/toundra/78649>
- Loi sur la conservation du patrimoine naturel, LCPN, c. C-61.01
- Loi sur les espèces en péril, S.C. 2002, c. 29
- Loi sur les espèces menacées ou vulnérables, c. E-12.01
- Mallory, C. D., Campbelle, N. W. et Boyce, M. S. (2018). *Climate influences body condition and synchrony of barren-ground caribou abundance in Northern Canada*. Repéré à [https://www.researchgate.net/profile/Conor\\_Mallory/publication/322233382\\_Climate\\_influences\\_body\\_condition\\_and\\_synchrony\\_of\\_barren-ground\\_caribou\\_abundance\\_in\\_Northern\\_Canada/links/5a4d36c8a6fdcc3e99d15c79/Climate-influences-body-condition-and-synchrony-of-barren-ground-caribou-abundance-in-Northern-Canada.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Conor_Mallory/publication/322233382_Climate_influences_body_condition_and_synchrony_of_barren-ground_caribou_abundance_in_Northern_Canada/links/5a4d36c8a6fdcc3e99d15c79/Climate-influences-body-condition-and-synchrony-of-barren-ground-caribou-abundance-in-Northern-Canada.pdf)
- Marineau, K. (2002). *Suivi de la population de Phegopteris hexagonoptera au Mont Yamaska*.
- Marineau, K. (2005). Résultats finaux du programme de suivi des espèces d'intérêt transplantées dans le bois Saint-Paul de l'Île des Soeurs.
- Maslovat, C. (2009). *Guidelines for Translocation of Plant Species at Risk in British Columbia*. Repéré à <http://a100.gov.bc.ca/pub/eirs/finishDownloadDocument.do?subdocumentId=8321>
- McKenna, M. F. et Houle, G. (2000). Under-saturated distribution of *Floerkea proserpinacoides* Willd. (Limnanthaceae) at the northern limit of its distribution. *Écoscience*, 7(4), 466-473. Repéré à <https://doi.org/10.1080/11956860.2000.11682616>
- Michigan Flora. (2011). *Floerkea proserpinacoides*. Repéré à <https://michiganflora.net/species.aspx?id=1630>
- Midwestern Regional Climate Center. (s. d.). Explanation of Growing Degree Days. Repéré à <https://mrcc.illinois.edu/gismaps/info/gddinfo.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.a). *Arabette du Québec - Espèce menacée au Québec*. Repéré à [http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/arabette\\_qc/index.htm](http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/arabette_qc/index.htm)
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.b). *Aristide à rameaux basilaires - Espèce menacée au Québec*. Repéré à [http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/aristide\\_rameaux\\_basilaires/index.htm](http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/aristide_rameaux_basilaires/index.htm)
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.c). *Arnica de Griscom - Espèce menacée au Québec*. Repéré à [http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/arnica\\_griscom/index.htm](http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/arnica_griscom/index.htm)
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.d). *Aspidote touffue - Espèce menacée au Québec*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/aspidote/index.htm>

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.e).  
Espèces menacées ou vulnérables au Québec. Repéré à  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/index.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.f).  
Floerkée fausse-proserpinie - Espèce menacée au Québec. Repéré à  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/floerkee/index.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.g).  
Gaylussaquier de Bigelow - Espèce menacée au Québec. Repéré à  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/gaylussaquier/index.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.h).  
Phégoptère à hexagones - Espèce menacée au Québec. Repéré à  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/phegoptere/index.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.i).  
Séneçon fausse-cymbalaire - Espèce menacée au Québec. Repéré à  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/senecon/index.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (s. d.j).  
Sentinelle - Espèces Exotiques envahissantes. Repéré à  
<https://www.pub.mddefp.gouv.qc.ca/SCC/Catalogue/ConsulterCatalogue.aspx#no-back-button>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. (s. d.a). Les espèces envahissantes au Québec. Repéré à  
<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. (s. d.b). Liste des espèces désignées comme menacées.  
Repéré à <http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/liste.asp>
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MDDELCC). (s. d.a). *Espèce menacée au Québec - Arabette du Québec*. Repéré à  
[http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/arabette\\_qc/arabetteQuebec.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/arabette_qc/arabetteQuebec.pdf)
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MDDELCC). (s. d.b). *Espèce menacée au Québec - Arnica de Griscom*. Repéré à  
[http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/arnica\\_griscom/arnicaGriscom.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/arnica_griscom/arnicaGriscom.pdf)
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MDDELCC). (s. d.c). *Espèce menacée au Québec - Aspidote touffue*. Repéré à  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/aspidote/aspitodeTouffue.pdf>
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MDDELCC). (s. d.d). *Espèce menacée au Québec - Gaylussaquier de Bigelow*. Repéré à  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/BIODIVERSITE/especes/gaylussaquier/gaylussaquierBigelow.pdf>
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MDDELCC). (s. d.e). *Espèce menacée au Québec - Phégoptère à hexagones*. Repéré à  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/BIODIVERSITE/especes/phegoptere/phegoptereHexagones.pdf>
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MDDELCC). (s. d.f). *Espèce menacée au Québec - Séneçon fausse-cymbalaire*. Repéré à

- <http://www.environnement.gouv.qc.ca/BIODIVERSITE/especes/senecon/seneconFausseCymbalaire.pdf>
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MDDELCC). (s. d.g). *Espèce vulnérable au Québec - Floerkee fausse-proserpinie*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/floerkee/floerkeeFausseProserpinie.pdf>
- Minnesota Department of Natural Resource. (s. d.). *Phegopteris hexagonoptera*. Repéré à <https://www.dnr.state.mn.us/rsg/profile.html?action=elementDetail&selectedElement=PPTHEO2020>
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., ... Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology*, 28(4), 583-597. Repéré à <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8>
- Moorhead III, W. H. et Farnsworth, E. J. (2003). *New England Plant Conservation Program - Floerkea proserpinacoides Willdenow False Mermaid-weed*. Repéré à <http://backstage.newenglandwild.org/docs/pdf/floerkeaproserpinacoides.pdf>
- Nault, A. (2009). Conservation de la phégoptère à hexagones au parc national du Mont-Saint-Bruno : un refuge pour cette fougère menacée. *Le Naturaliste Canadien*, 133(3), 46-50.
- Nolan, C., Overpeck, J. T., Allen, J. R., Anderson, P. M., Betancourt, J. L., Binney, H. A., ... Djamali, M. (2018). Past and future global transformation of terrestrial ecosystems under climate change. Repéré à <https://science.sciencemag.org/content/361/6405/920.abstract>
- Noormets, A. (2009). Phenology of Ecosystem Processes. Applications in Global Change Research. Repéré à <https://eds-b-ebshost-com.ezproxy.usherbrooke.ca/eds/detail/detail?vid=4&sid=bf92dd23-148b-4306-8265-886352ffc37f%40sdc-v-sessmgr05&bdata=Jmxhbm9ZnImc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#db=cat04883a&AN=she.a993355>
- Organisation des Nations unies. (2015). Population. Repéré à <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/>
- Ouranos. (2015). Vers l'adaptation - Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Repéré à <https://www.ouranos.ca/synthese-2015/>
- Owings, C. F., Jacobs, D. F., Shields, J. M., Saunders, M. R. et Jenkins, M. A. (2017). *Impacts of white-tailed deer on regional patterns of forest tree recruitment*. Repéré à [https://www.researchgate.net/profile/Donald\\_Waller2/publication/303405781\\_Impacts\\_of\\_white-tailed\\_deer\\_on\\_regional\\_patterns\\_of\\_forest\\_tree\\_recruitment/links/5774087908ae4645d60a0bee.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Donald_Waller2/publication/303405781_Impacts_of_white-tailed_deer_on_regional_patterns_of_forest_tree_recruitment/links/5774087908ae4645d60a0bee.pdf)
- Payette, S., & Rochefort, L. (2001). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Québec, Québec: Presses de l'Université Laval.
- Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraër, M., Caceres, E. B., Forsythe, N., ... Yang, D. Q. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. Repéré à <https://www.nature.com/articles/nclimate2563>



- Reinmann, A. B., Susser, J. R., Demaria, E. M. et Templer, P. H. (2019). Declines in northern forest tree growth following snowpack decline and soil freezing. Repéré à <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14420>
- Skogen, K., Helland, H. et Kaltenborn, B. (2018). *Concern about climate change, biodiversity loss, habitat degradation and landscape change: Embedded in different packages of environmental concern?* Repéré à [https://www.researchgate.net/profile/Ketil\\_Skogen/publication/14286836\\_Increased\\_Rate\\_of\\_Conduct\\_Problems\\_in\\_Urban\\_Areas\\_What\\_Is\\_the\\_Mechanism/links/5b2a32174585150c634012ab/Increased-Rate-of-Conduct-Problems-in-Urban-Areas-What-Is-the-Mechanism.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ketil_Skogen/publication/14286836_Increased_Rate_of_Conduct_Problems_in_Urban_Areas_What_Is_the_Mechanism/links/5b2a32174585150c634012ab/Increased-Rate-of-Conduct-Problems-in-Urban-Areas-What-Is-the-Mechanism.pdf)
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., ... Miller, H. L. (2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Repéré à [https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html)
- Système d'information taxonomique intégré. (s. d.a). *Boechera holboellii*. Repéré à [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=509589#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=509589#null)
- Système d'information taxonomique intégré. (s. d.b). *Boechera stricta*. Repéré à [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=822989#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=822989#null)
- Taminskas, J., Linkevičienė, R., Šimanauskienė, R., Jukna, L., Kibirkštis, G. et Tamkevičiūtė, M. (2018). Climate change and water table fluctuation: Implications for raised bog surface variability. *Geomorphology*, 304, 40-49. Repéré à <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.026>
- Tardif, B., Tremblay, B., Jolicoeur, G. et Labrecque J. (2016). Les plantes vasculaires en situation précaire au Québec. Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ). Gouvernement du Québec, Ministère du Développement Durable de l'Environnement et de la Lutte aux Changements climatiques (MDDELCC), Direction de l'expertise en biodiversité, Québec, 420 p.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. Repéré à <https://www.int-res.com/abstracts/cr/v47/n1-2/p123-138/>
- United States Department of Agriculture. (s. d.). Plants Profile for *Aspidotis densa* (Indian's dream). Repéré à <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=ASDE6>
- Van Overbeeke, J. C., Jalava, J. V. et Donley, R. H. (2013). Broad Beech Fern Management Plan. Repéré à <https://www.ontario.ca/page/broad-beech-fern-management-plan>
- Vincent, L. A. et Mekis, É. (2006). Changes in Daily and Extreme Temperature and Precipitation Indices for Canada over the Twentieth Century. Repéré à <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3137/ao.440205>
- Wilsey, B. J. et Potvin, C. (2000). Biodiversity and ecosystem functioning: importance of species evenness in an old field. Repéré à [https://www-jstor-org.ezproxy.usherbrooke.ca/stable/pdf/177163.pdf?ab\\_segments=0%252Fdefault-2%252Fcontrol&refreqid=excelsior%3A62946dca221b2d14d78799506e2a48ba](https://www-jstor-org.ezproxy.usherbrooke.ca/stable/pdf/177163.pdf?ab_segments=0%252Fdefault-2%252Fcontrol&refreqid=excelsior%3A62946dca221b2d14d78799506e2a48ba)
- Wunderlin, R. P., Hansen, B. F., Franck, A. R. et Essig, F. B. (2019). Atlas of Florida Plants - Phegopteris hexagonoptera. Repéré à <http://florida.plantatlas.usf.edu/plant.aspx?id=3792>
- Yale school of forestry and environmental studies. (s. d.). Global Forest Atlas - Ecoregions. Repéré à <https://globalforestatlas.yale.edu/ecoregions>

- Yu, M., Wang, G., Parr, D. et Ahmed, K. F. (2014). Future changes of the terrestrial ecosystem based on a dynamic vegetation model driven with RCP8.5 climate projections from 19 GCMs. *Climatic Change*, 127(2), 257-271. Repéré à <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1249-2>
- Zhang, X., Brown, R., Vincent, L., Skinner, W., Feng, E. et Mekis, E. (2010). *Tendances climatiques au Canada, 1950-2007*. Repéré à [https://biodivcanada.chm-cbd.net/sites/biodivcanada/files/2018-02/5095No.5\\_General%20Climate%20July%202011\\_F.pdf](https://biodivcanada.chm-cbd.net/sites/biodivcanada/files/2018-02/5095No.5_General%20Climate%20July%202011_F.pdf)