

# Rôle du réseau d'aires protégées proposé au Bas-Saint-Laurent dans le contexte des changements climatiques : Avis scientifique

---



## Rapport

Réalisé par  
Yanick Gendreau, étudiant au doctorat

Chaire de recherche du Canada en biodiversité nordique  
Université du Québec à Rimouski



Mars 2013

## **Avant-propos**

Les changements climatiques représentent probablement le plus grand défi auquel notre environnement devra faire face dans les prochaines décennies. Pour cette raison, le Conseil régional de l'environnement du Bas-Saint-Laurent considère qu'il est important de tenir compte de cette nouvelle réalité dans la démarche, présentement en cours, visant l'établissement de nouvelles aires protégées dans la région du Bas-Saint-Laurent. Le conseil voulait outiller les participants à la consultation publique et les décideurs, afin qu'ils puissent intégrer cette dimension à leur réflexion.

C'est dans cette optique que le Conseil régional de l'environnement du Bas-Saint-Laurent a confié à M. Yanick Gendreau, étudiant au doctorat à la Chaire de recherche du Canada en biodiversité nordique de l'Université du Québec à Rimouski, le mandat de réaliser un avis scientifique couvrant deux principaux aspects :

1. les effets anticipés des changements climatiques sur la biodiversité régionale;
2. le rôle que les aires protégées peuvent jouer comme outil d'adaptation aux changements climatiques dans le Bas-Saint-Laurent et les critères lui permettant de jouer efficacement ce rôle.

Les recherches de M. Gendreau portent sur les effets des changements climatiques sur les espèces à statut précaire du Québec. Il est auteur d'un rapport pour le gouvernement du Québec, de même que d'un article scientifique traitant tous deux des aires protégées et des changements climatiques.

Ce rapport, financé via l'enveloppe régionale pour la mise en œuvre du PRDIRT du Programme de mise en valeur des ressources naturelles du milieu forestier - Volet II, est accompagné d'un sommaire exécutif.

# Table des matières

Avant-propos.....	i
Table des matières .....	ii
Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux.....	iv
Mise en contexte .....	1
1.0 Introduction.....	2
1.1 Les changements climatiques .....	2
1.1.1 Les changements climatiques à l'échelle planétaire .....	2
1.1.2 Les changements climatiques au Bas-Saint-Laurent .....	3
1.1.2.1 Les changements historiques .....	3
1.1.2.1 Les changements anticipés.....	4
1.2 La biodiversité .....	8
1.3 La biodiversité et les changements climatiques.....	8
1.3.1 Effets sur la répartition et l'abondance des espèces.....	10
1.3.2 Effets sur la phénologie .....	11
1.3.3 Effets sur la physiologie.....	12
1.3.4 L'adaptation .....	12
1.3.5 Modification des interactions biotiques .....	13
1.4 Les aires protégées et les changements climatiques .....	13
1.4.1 Le rôle des aires protégées dans le contexte des changements climatiques ....	13
1.4.2 Les défis de la gestion des aires protégées dans le contexte des changements climatiques .....	15
2.0 Analyses .....	18
2.1 Effets des changements climatiques sur la biodiversité au Québec et au Bas-Saint-Laurent .....	18
2.1.1 Les changements observés .....	19
2.1.1.1 Méthodes et Résultats .....	19
2.1.1.2 Interprétation.....	19
2.1.2 La vulnérabilité aux changements climatiques .....	19
2.1.2.1 Méthodes et résultats.....	20
2.1.2.2 Interprétation.....	21
2.1.3 La répartition potentielle future des espèces.....	22
2.1.3.1 Méthodes et résultats.....	22

2.1.3.2 Interprétation.....	24
2.2 Changements climatiques et aires protégées au Bas-Saint-Laurent .....	25
2.2.1 Analyse de l'efficacité du réseau d'aires protégées au Bas-Saint-Laurent dans le contexte des changements climatiques .....	25
2.2.1.1 Méthodes et résultats.....	25
2.2.1.2 Interprétation.....	27
3.0 Conclusions.....	28
3.1 Établir des programmes de suivi et de gestion adaptative des aires protégées .....	29
3.2 Utiliser des outils de modélisation pour documenter les effets potentiels des CC sur la biodiversité.....	29
3.3 Favoriser la connectivité.....	30
3.4 Augmenter le nombre d'aires protégées et préconiser des aires protégées de grande taille.....	31
Remerciements.....	32
Références.....	32
ANNEXE 1 : Analyse de l'efficacité du réseau d'aires protégées du Bas-Saint-Laurent à conserver la biodiversité : complément méthodologique .....	38

## Liste des figures

- Figure 1.** Variation de la température moyenne annuelle en Celsius de l’an 1000 à l’an 2006 et projections du réchauffement jusqu’en 2100. Les projections sont issues de différents scénarios climatiques utilisés par le GIEC (tiré de IPCC, 2007b)..... 3
- Figure 2.** Tendence de la température annuelle moyenne (°C) entre 1961 et 2005 au Bas-Saint-Laurent (source des données: McKenney (2006)). ..... 4
- Figure 3.** Tendence des précipitations annuelles totales (mm) de 1961 à 2005 au Bas-Saint-Laurent (source des données : McKenney (2006)). ..... 4
- Figure 4.** Température annuelle moyenne (a,b,c) et précipitations annuelles totales (d,e,f) au Bas-Saint-Laurent. Les cartes a et d montrent la période actuelle (1961-1990), les cartes b et e, la période 2050 (2041-2070) et les cartes c et f, la différence entre ces deux périodes. .... 7
- Figure 5.** Liens entre les impacts potentiels des changements climatiques sur la biodiversité et les écosystèmes. (Adapté de Hughes 2000). ..... 10
- Figure 6.** Répartition des espèces vulnérables aux CC au Bas-Saint-Laurent. .... 21
- Figure 7.** Richesse spécifique au Bas-Saint-Laurent pour la période actuelle (1961-1990) et la période 2050 (2041-2070)..... 24
- Figure 8.** Analyse de l’efficacité du réseau d’aires protégées au Bas-Saint-Laurent basée sur les éléments du paysage. Le cercle bleu représente le scénario considérant le réseau d’aires protégées actuel et le cercle rouge, le scénario proposé. .... 27

## Liste des tableaux

- Tableau 1.** Liste de recommandations pour l’aménagement des aires protégées afin de favoriser l’adaptation de la biodiversité aux changements climatiques. Basée sur une revue de 112 articles scientifiques traitant des effets des changements climatiques sur la biodiversité (Heller et Zavaleta, 2009). ..... 17

## **Mise en contexte**

Le présent rapport a pour but de fournir un avis scientifique sur le rôle du réseau d'aires protégées du Bas-Saint-Laurent dans le contexte des changements climatiques (CC). Plus précisément, il doit être considéré comme un document qui servira à alimenter la consultation publique sur la proposition de territoires d'intérêt pour la création d'aires protégées présentement en cours dans la région.

Pour bien comprendre le rôle des aires protégées dans le contexte des CC, il est nécessaire de faire le lien entre biodiversité et climat. En effet, le principal rôle des aires protégées est de protéger la biodiversité et d'en assurer la pérennité. Dans l'introduction, nous présenterons l'évolution du climat au Bas-Saint-Laurent au cours des 45 dernières années, ainsi que le climat anticipé dans le futur pour cette région. Par la suite, nous présenterons les effets déjà observés et ceux à venir des CC sur la biodiversité. Forts de ces connaissances, il sera possible de mieux comprendre le but des analyses présentées dans le rapport.

À ce sujet, nous présenterons deux types d'analyses qui sont à la fois indépendantes et complémentaires. Premièrement, nous documenterons les effets potentiels des CC sur la biodiversité au Bas-Saint-Laurent. De plus, nous évaluerons l'efficacité du réseau d'aires protégées à conserver la biodiversité dans le contexte des CC, et ce, en nous basant sur une toute nouvelle méthode d'analyse.

Enfin, à partir de la revue de littérature et des résultats des analyses, nous serons en mesure de conclure sur le rôle du réseau d'aires protégées dans la région dans le contexte des CC.

# 1.0 Introduction

## 1.1 Les changements climatiques

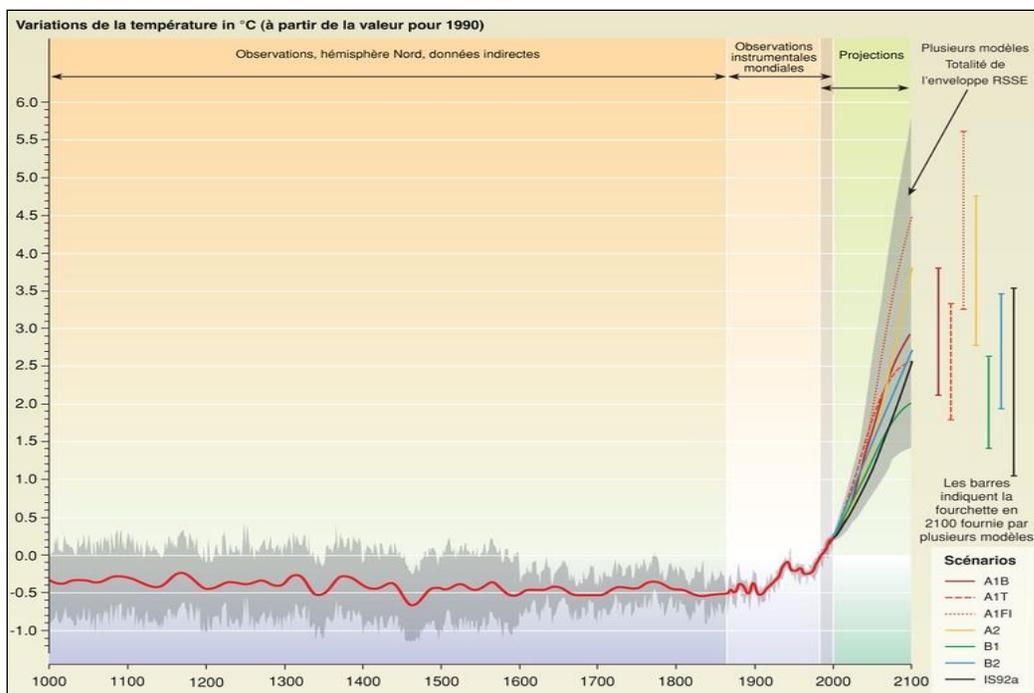
### 1.1.1 Les changements climatiques à l'échelle planétaire

Depuis le milieu du 19<sup>ième</sup> siècle, la révolution industrielle et la demande énergétique d'une population mondiale en croissance ont contribué à l'augmentation de la concentration des principaux gaz à effet de serre (GES) sur la planète [dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>) et dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)] (IPCC, 2007b). Aujourd'hui, il existe un fort consensus au sein de la communauté scientifique quant au fait que ce sont les activités d'origine anthropique qui sont responsables des CC<sup>1</sup> observés depuis les 30 dernières années (IPCC, 2007b).

Entre 1906 et 2006, la température moyenne planétaire a augmenté de 0,75 °C (IPCC, 2007b). Les scientifiques prévoient que la température planétaire moyenne en 2100 pourrait être de 0,3 °C à 6,4 °C plus élevée que celle enregistrée durant la période de référence 1980-1999 (Figure 1, IPCC, 2007b). En plus du réchauffement de l'air, d'autres modifications climatiques sont à prévoir. Par exemple, pour l'intervalle de temps présenté ci-haut, le GIEC prévoit une augmentation du niveau des océans allant de 0,18 à 0,59 mètre (IPCC, 2007b). De plus, ces derniers prévoient aussi l'augmentation (en fréquence et en intensité) des phénomènes météorologiques dits extrêmes comme les ouragans, les tornades, les périodes de sécheresse, etc. (IPCC, 2007b).

---

<sup>1</sup> Selon le GIEC (IPCC, 2007b), les CC sont « *une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres* ».



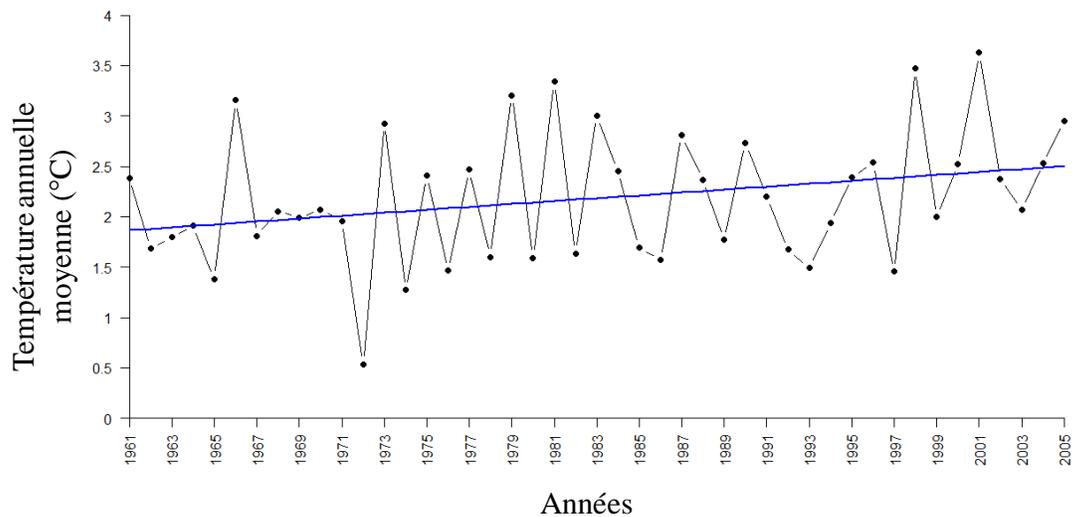
**Figure 1.** Variation de la température moyenne annuelle en Celsius de l’an 1000 à l’an 2006 et projections du réchauffement jusqu’en 2100. Les projections sont issues de différents scénarios climatiques utilisés par le GIEC (tiré de IPCC, 2007b).

### 1.1.2 Les changements climatiques au Bas-Saint-Laurent

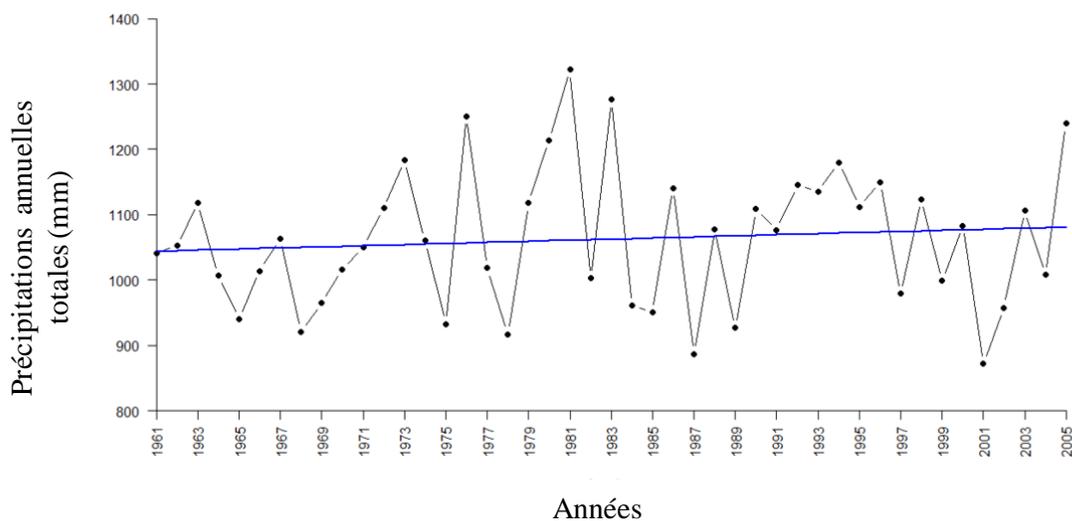
#### 1.1.2.1 Les changements historiques

Généralement, on s’intéresse au climat historique pour avoir une meilleure compréhension des changements anticipés. Au Bas-Saint-Laurent, pour la période de 1961-2005, on observe une température annuelle moyenne de  $2,18 \pm 0,65^{\circ}\text{C}$  (moyenne  $\pm$  écart type) et des précipitations annuelles totales moyennes de  $1063 \pm 107$  mm. À la Figure 2, on remarque que la température moyenne annuelle ( $^{\circ}\text{C}$ ) a augmenté de  $0,14^{\circ}\text{C}/10$  ans<sup>2</sup> durant cette période ( $0,63^{\circ}\text{C}$  au total), alors que les précipitations annuelles totales ont connu une augmentation de  $8,42$  mm/10 ans ( $38$  mm au total, Figure 3).

<sup>2</sup> Par convention, les tendances climatiques passées sont rapportées par période de 10 ans.



**Figure 2.** Tendence de la température annuelle moyenne (°C) entre 1961 et 2005 au Bas-Saint-Laurent (source des données: McKenney (2006)).



**Figure 3.** Tendence des précipitations annuelles totales (mm) de 1961 à 2005 au Bas-Saint-Laurent (source des données : McKenney (2006)).

### 1.1.2.1 Les changements anticipés

Nous présenterons ici le **climat anticipé** pour la période 2041 à 2070, dite "période 2050". Ces données seront présentées en comparaison avec les données

mesurées durant la période de référence allant de 1961 à 1990, dite "période actuelle". Il est important de comprendre qu'il y a plusieurs sources d'incertitude quand vient le temps d'anticiper le climat futur. Les principales sources d'incertitude sont liées au choix des modèles climatiques utilisés, ainsi qu'à l'incertitude quant aux concentrations futures de gaz à effet de serre. Afin de réduire cette incertitude, les données présentées dans ce rapport sont issues d'une combinaison de 16 modèles climatiques et de trois scénarios de concentrations de gaz à effet de serre (A2, A1B, B1)<sup>3</sup> (Nakicenovic *et coll.*, 2000; Meehl *et coll.*, 2007). Cette combinaison a permis de créer un total de 70 scénarios climatiques pour lesquels nous avons fait la moyenne pour 2050. Cette méthode est donc très robuste, mais les projections climatiques ont généralement tendance à être moins pessimistes que la réalité (Fasullo et Trenberth, 2012). Les scénarios climatiques utilisés dans ce rapport ont été exécutés par Ouranos<sup>4</sup> dans le cadre du projet « Effets des changements climatiques sur la biodiversité du Québec » (Projet CC-Bio) de la chaire en biodiversité nordique de l'UQAR (Berteaux *et coll.*, 2010).

La Figure 4 présente les changements en température moyenne annuelle et précipitations annuelles totales entre la période actuelle et la période 2050. On peut constater, sans grande surprise, que dans les deux cas, le sud-ouest de la région est légèrement plus chaud que l'extrémité nord-est de celle-ci. La température annuelle moyenne pour la période actuelle est de  $2,15 \pm 0,63^{\circ}\text{C}$  alors que celle anticipée pour 2050 est de  $4,62 \pm 0,65^{\circ}\text{C}$ , et ce, pour l'ensemble du Bas-Saint-Laurent. La différence entre les deux périodes est sensiblement la même sur tout le territoire, avec un réchauffement anticipé moyen de  $2,47 \pm 0,04^{\circ}\text{C}$  entre la période actuelle et 2050 (variation entre  $2,40$  et  $2,54^{\circ}\text{C}$  à l'échelle de la région, Figure 4c).

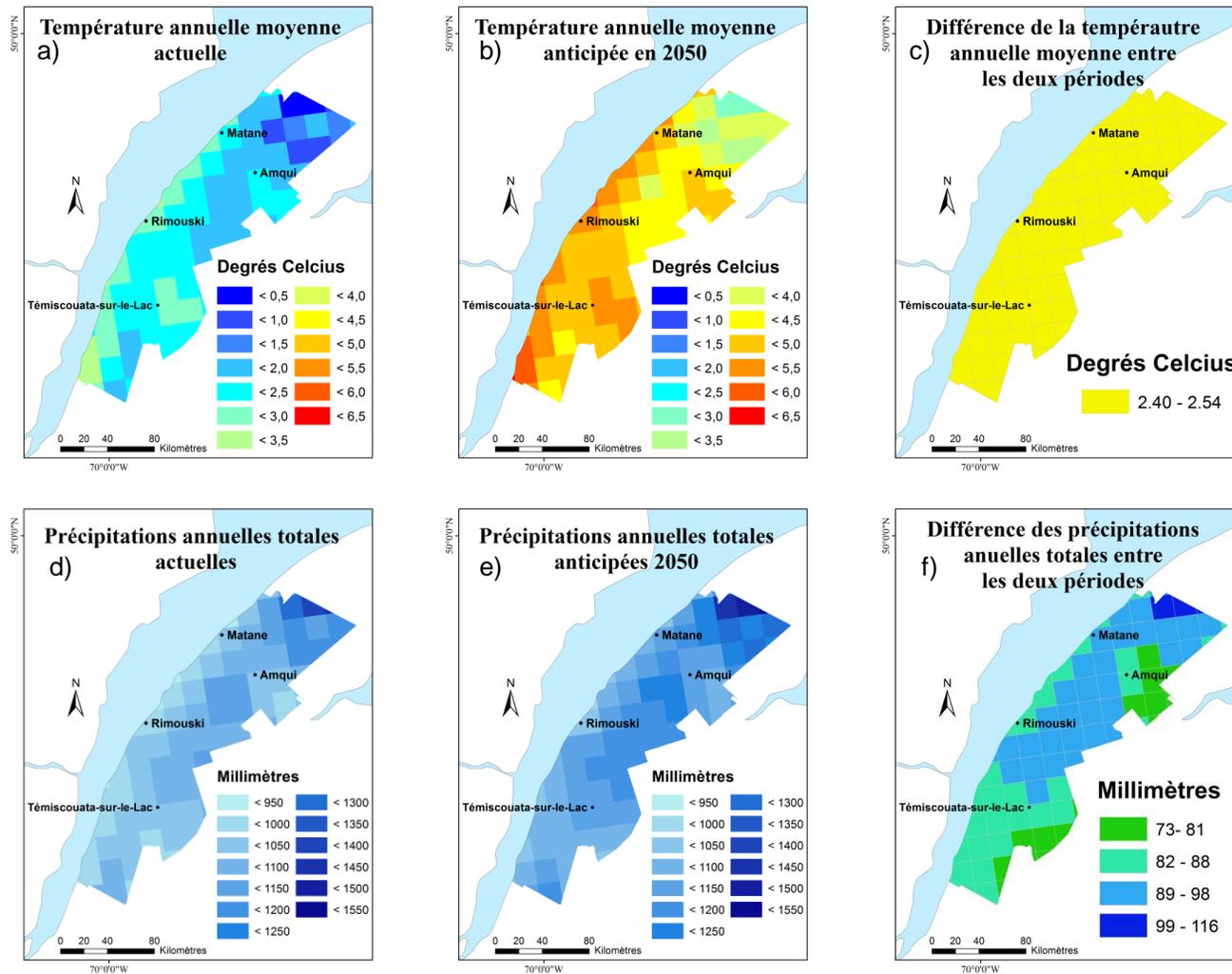
Pour ce qui est des précipitations annuelles totales, on observe également une légère augmentation de  $87 \pm 7$  mm (en moyenne) entre la période actuelle et 2050. Pour la période actuelle, la moyenne pour la région est de  $1052 \pm 84$  mm, alors que celle-ci est de  $1139 \pm 90$  mm en 2050 (Figure 4d, e et f).

---

<sup>3</sup> Comme il est impossible de savoir exactement les concentrations de gaz à effet de serre dans le futur, le GIEC a développé plusieurs scénarios d'émissions basés sur différents niveaux de développement (industriel, économique et démographique).

<sup>4</sup> Ouranos a pour mission l'acquisition et le développement de connaissances sur les changements climatiques et leurs impacts ainsi que sur les vulnérabilités socioéconomiques et environnementales, de façon à informer les décideurs sur l'évolution du climat et à les conseiller pour identifier, évaluer, promouvoir et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation locales et régionales ([www.ouranos.ca](http://www.ouranos.ca)).

À la lumière de ces résultats, on peut avancer que, proportionnellement, les changements en termes de température seront plus importants que ceux en termes de précipitations. Dans la région, un réchauffement de 2,47°C pourrait faire en sorte que certains secteurs se retrouvent avec des températures très similaires à ce que l'on connaît actuellement à Montréal. On peut donc s'attendre à des changements importants du climat dans la région et, possiblement, à des conséquences sur la biodiversité.



**Figure 4.** Température annuelle moyenne (a,b,c) et précipitations annuelles totales (d,e,f) au Bas-Saint-Laurent. Les cartes a et d montrent la période actuelle (1961-1990), les cartes b et e, la période 2050 (2041-2070) et les cartes c et f, la différence entre ces deux périodes.

## 1.2 La biodiversité

Tout d'abord, il est important de s'entendre sur ce qu'est la biodiversité. La définition la plus couramment utilisée est celle formulée lors de la convention sur la diversité biologique de Rio de Janeiro de 1992, soit : *variabilité des organismes vivants de toutes origines y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie : cela comprend la diversité génétique, celle des espèces ainsi que celle des écosystèmes*. Dans les études d'impacts du climat sur la biodiversité, on se concentre principalement sur la biodiversité des espèces, car c'est pour ce groupe qu'il existe le plus de connaissances et de données.

Il est à noter que les effets des CC sur la diversité des écosystèmes et sur la diversité génétique sont tout de même le sujet de certaines études et sont inévitablement liés à la diversité des espèces. Cependant, pour la suite du document, le terme biodiversité fera référence à la diversité des espèces.

## 1.3 La biodiversité et les changements climatiques

Présentement, nous vivons la sixième grande extinction du vivant sur Terre (Brook *et coll.*, 2008). Les facteurs traditionnellement reconnus pour contribuer à cette érosion de la biodiversité sont : la perte d'habitats, la surexploitation des espèces, les

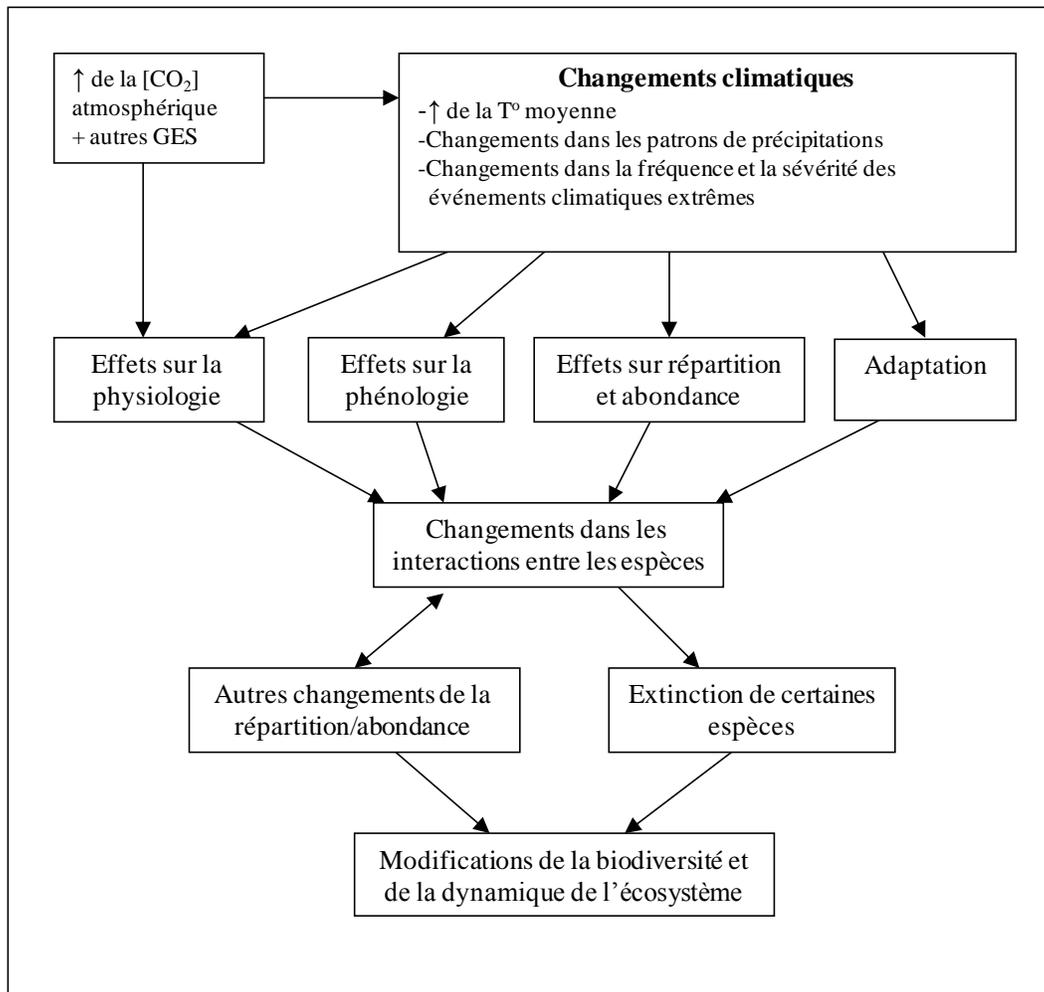
### Pourquoi conserver la biodiversité?

- 1- **L'éthique** : Les humains sont les principaux responsables du déclin des espèces que l'on observe actuellement (Pimm *et coll.*, 1995; Hassan *et coll.*, 2005; Root *et coll.*, 2005). De 10 à 50 % des espèces à l'échelle de la planète sont présentement menacées d'extinction (MEA, 2005). Le taux d'extinction observé au cours des 100 dernières années est 1 000 fois plus élevé que celui observé dans les études paléocéologiques (avant l'apparition de l'Homme) (Pimm *et coll.*, 1995; MEA, 2005). Considérant ces faits, les humains ont une responsabilité morale envers les autres êtres vivants, ce qui fait de la conservation de la biodiversité un choix éthique (Lovejoy et Hannah, 2005; MEA, 2005).
- 2- **Intégrité et productivité des écosystèmes** : La biodiversité en tant que partie intégrante de l'écosystème, joue un rôle important dans l'équilibre et le fonctionnement de celui-ci (Chapin *et coll.*, 2000; Hassan *et coll.*, 2005; Isbell *et coll.*, 2009). Ainsi, la perte de biodiversité menace l'intégrité et la productivité des écosystèmes tels qu'on les connaît aujourd'hui.
- 3- **Biens et services écologiques** : La biodiversité contribue à nos biens matériels, notre mode de vie, notre sécurité alimentaire, notre santé, notre culture et notre liberté de choix et d'action (Chapin *et coll.*, 2000; MEA, 2005). Donc, la perte de biodiversité peut mettre en péril notre mode de vie et ultimement notre propre survie (Chapin *et coll.*, 2000).

échanges biotiques (espèces envahissantes), la pollution et la co-extinction (disparition de plusieurs espèces, souvent microscopiques, suite à la disparition d'une espèce hôte) (Brooks *et coll.*, 2002; Lovejoy et Hannah, 2005; Brook *et coll.*, 2008; Dunn *et coll.*, 2009). Cependant, la pression exercée par les CC vient s'ajouter à ces facteurs, pour créer un effet de synergie, ayant pour conséquence l'augmentation du risque d'extinction de certaines espèces à moyen et à long terme (Root *et coll.*, 2003; Lovejoy et Hannah, 2005; Brook *et coll.*, 2008). À ce titre, les CC sont considérés comme le deuxième facteur le plus menaçant pour la biodiversité après la perte d'habitats (Sala *et coll.*, 2000; Malcolm *et coll.*, 2006).

À l'échelle de la planète, près de 41 % des espèces seraient déjà touchées par les effets des CC (Parmesan et Yohe, 2003). Selon Thomas et coll. (2004), d'ici 2050, entre 15 et 37 % des espèces seront menacées d'extinction à cause des CC. Ces chiffres sont parfois contestés légèrement à la hausse ou à la baisse, mais la tendance fait consensus (Thuiller *et coll.*, 2004; Akçakaya *et coll.*, 2006). Le GIEC prétend que cette extinction pourrait être de l'ordre de 20 à 30 % si la température moyenne en 2100 est de 2-3 °C au-dessus de celle qui prévalait avant la révolution industrielle (Fischlin *et coll.*, 2007).

Les mécanismes par lesquels les CC peuvent avoir des effets sur les espèces vivantes sont les suivants : 1) effets sur la répartition, 2) effets sur la phénologie, 3) effets sur la physiologie et 4) l'adaptation (Figure 5, Hughes, 2000). À leur tour, ces effets vont entraîner des changements dans la composition et la structure des communautés (Figure 5, Hughes, 2000). **Les effets des CC sur la répartition et sur la phénologie sont les plus communs et les plus étudiés (Parmesan, 2006; Thuiller, 2007), et seront ceux abordés dans la section analyse.**



**Figure 5.** Liens entre les impacts potentiels des changements climatiques sur la biodiversité et les écosystèmes. (Adapté de Hughes 2000).

### 1.3.1 Effets sur la répartition et l'abondance des espèces

La répartition et l'abondance de chaque espèce sont limitées par les variables biotiques et abiotiques du milieu (climat, sol, communauté végétale, etc.), ce qui détermine la « niche bioclimatique » (nous reviendrons sur ce terme plus tard) utilisée par ces espèces (Brown, 1984; Gregory *et coll.*, 2009). La modification de ces variables biotiques et abiotiques (par ex. CC) peut faire augmenter ou diminuer la répartition et l'abondance des espèces. Ces différentes réponses seront également influencées par la capacité des espèces « à suivre » le climat (migration) (Thuiller *et coll.*, 2008). De tels

changements en répartition et en abondance ont des conséquences importantes sur la structure des écosystèmes (Hughes, 2000).

En 2003, Parmesan et Yohe (2003) ont estimé que la progression de la limite nord des aires de répartition de 1 700 espèces était de 6,1 km par décennie vers le nord ou de 6,1 m par décennie en altitude. Une étude plus récente a révisé ces tendances à 16,9 km par décennie vers le nord et 11 m par décennie en altitude, et ce, pour 1 367 espèces (Chen *et coll.*, 2011).

### ***1.3.2 Effets sur la phénologie***

Les effets des CC sur la phénologie<sup>5</sup> sont parmi les effets les plus faciles à observer (par ex. arrivée des oiseaux au printemps, bourgeonnement, montée de la sève, etc.) (Walther *et coll.*, 2002). Parmesan et Yohe (2003) ont démontré, dans une méta-analyse considérant 677 espèces et couvrant des périodes de 16 à 132 ans (médiane 45 ans), que les événements printaniers se déroulent en moyenne 2,3 jours plus tôt par décennie. Les exemples les plus communément rapportés de devancement des processus phénologiques au printemps sont : la date de reproduction et des premiers chants chez les oiseaux, la date d'arrivée des oiseaux migrateurs et des papillons, les premiers chants et l'éclosion des œufs chez les amphibiens et le débourrement et la floraison des plantes (Walther *et coll.*, 2002). Dans le nord-est des États-Unis (juste au sud du Québec), un modèle climatique régional incluant différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre, prévoit qu'entre les périodes 1961-1990 et 2082-2099, le débourrement des feuilles dans les arbres risque d'être devancé de 6,7 à 15 jours et la floraison de 6,3 à 16 jours (Hayhoe *et coll.*, 2007).

Bien qu'ils soient moins prononcés et plus hétérogènes, on observe également des changements dans la phénologie des événements à l'automne, comme un retard dans la migration de certains oiseaux et dans le changement de couleur de certains arbres (Walther *et coll.*, 2002).

---

<sup>5</sup> La phénologie est l'étude de l'apparition d'événements périodiques (annuels le plus souvent) dans le monde vivant, déterminée par les variations saisonnières du climat. En botanique, les événements périodiques sont, par exemple, la floraison, la feuillaison, la fructification, la coloration des feuilles des végétaux.

### ***1.3.3 Effets sur la physiologie***

La croissance, la productivité et la physiologie des plantes sont influencées par la température ambiante et la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Figure 5, Hughes, 2000). Entre 1850 (avant le début de l'ère industrielle) et 2005, la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique est passée de 280 ppm à 379 ppm (IPCC, 2007b). Certains chercheurs ont observé des changements dans la croissance et la productivité des plantes durant cette période. Par exemple, une étude sur le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) a démontré que l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> avait un effet positif sur la croissance en hauteur et en diamètre de cette espèce (Percy *et coll.*, 2002). Il est à noter qu'en théorie, l'augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique pourrait agir comme fertilisant pour la production primaire et dans quelques années amener une stabilisation, voire une réduction du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Fischlin *et coll.*, 2007). Cependant, la limitation des autres ressources, comme l'eau et les nutriments, viendrait contrer cet effet, ce qui le rend pratiquement impossible (Fischlin *et coll.*, 2007; Rickebusch *et coll.*, 2008). Il reste que la capacité de certaines plantes à capter le CO<sub>2</sub> pourrait leur donner un avantage adaptatif (Percy *et coll.*, 2002).

### ***1.3.4 L'adaptation***

Une autre réponse possible des espèces face à la pression environnementale créée par les CC est l'adaptation (Hughes, 2000; Réale *et coll.*, 2003; Berteaux *et coll.*, 2004; Reusch et Wood, 2007). Si une espèce ne suit pas « son climat » (changement de répartition), elle doit s'adapter aux nouvelles conditions environnementales auxquelles elle fait face, sinon elle risque de s'éteindre (Parmesan, 2006). Ce qui rend l'adaptation difficile, mais pas impossible, c'est qu'à la vitesse à laquelle les CC se produisent, les espèces disposent de peu de temps pour s'adapter (Berteaux *et coll.*, 2004; Parmesan, 2006; Reusch et Wood, 2007). Les espèces qui ont une espérance de vie plus élevée et un faible taux de microévolution sont moins susceptibles d'arriver à s'adapter aux CC (Forcada et Trathan, 2009). La réponse de ces dernières face aux CC risque plutôt de

passer par le déplacement dans le but de suivre leur niche bioclimatique (Forcada et Trathan, 2009).

### ***1.3.5 Modification des interactions biotiques***

Les effets des CC sur ces quatre processus (sections 1.3.1 à 1.3.4) ont des impacts sur les interactions entre les espèces vivantes au sein de l'écosystème (Figure 3, Hughes, 2000; Walther *et coll.*, 2002). La réponse des espèces aux changements du climat peut dérégler les interactions avec les autres espèces du réseau trophique (Walther *et coll.*, 2005). En effet, si des espèces qui interagissent habituellement ensemble démontrent des réponses divergentes face aux CC, le résultat de leurs interactions sera fort possiblement modifié (Walther *et coll.*, 2005). Les espèces qui ont des relations hautement spécifiques (parasitisme, mutualisme), qui ont un habitat très spécifique et rare et celles qui ont une faible abondance sont parmi les plus susceptibles aux modifications des interactions biotiques causées par les CC (Brook *et coll.*, 2008; Dunn *et coll.*, 2009).

Ces modifications des relations biotiques peuvent avoir des effets sur la répartition, l'abondance et ultimement sur le taux d'extinction ou d'extirpation (disparition d'une espèce au niveau local) des espèces (Figure 3, Hughes, 2000; Isbell *et coll.*, 2009). Au final, cela peut entraîner des modifications de la structure, de la composition et du fonctionnement des communautés et des écosystèmes tels qu'on les connaît aujourd'hui (Figure 3, Hughes, 2000; Walther *et coll.*, 2005).

## ***1.4 Les aires protégées et les changements climatiques***

### ***1.4.1 Le rôle des aires protégées dans le contexte des changements climatiques***

Le rôle des aires protégées est de conserver la biodiversité et ce rôle n'est pas appelé à changer en raison des CC. Cependant, d'autres rôles sont attribués aux aires protégées dans le contexte des CC. Nous allons voir que ces rôles ne sont pas limités à la protection de la biodiversité. De plus, il sera question des défis liés à la gestion des aires protégées dans un contexte de CC afin que ces dernières soient en mesure d'assurer les rôles qu'on leur attribue.

Le premier rôle des aires protégées dans le contexte des CC, demeure la protection de la biodiversité. En effet, les aires protégées pourront aider les espèces à s'adapter aux CC de façon direct en conservant des microclimats et en offrant des refuges climatiques pour certaines espèces. Aussi, elles contribueront de façon indirecte, en diminuant la pression exercée par les autres sources de stress sur la biodiversité (perte d'habitat, pollution, surexploitation, etc.) qui peuvent aussi agir sur la biodiversité en synergie avec les CC. Si les aires protégées arrivent à réduire l'impact des sources de stress non-climatiques, en retour, les espèces présentes dans les aires protégées devraient avoir moins de stress à gérer, ce qui devrait faciliter leur adaptation (Brook *et coll.*, 2008).

Un deuxième rôle qu'on attribue aux aires protégées est celui de l'atténuation des CC; c'est-à-dire qu'elles peuvent réduire la vitesse à laquelle les CC vont survenir en séquestrant le gaz carbonique, un des principaux gaz à effet de serre responsables des CC, sous forme de carbone dans la biomasse (Dudley *et coll.*, 2010). On estime que le réseau d'aires protégées terrestres couvre 13,9 % de la planète et que celui-ci emmagasine approximativement 15 % du carbone terrestre (Dudley *et coll.*, 2010). Dans les parcs nationaux du Canada, cette séquestration est estimée à 4,43 millions de tonnes de carbone, ce qui représente un service écologique d'une valeur estimée entre 72 et 78 milliards de dollars (Kulshreshtha *et coll.*, 2000).

Le dernier rôle des aires protégées est de favoriser l'adaptation face aux CC. Selon le GIEC, l'adaptation se définit comme : « l'ajustement des systèmes naturels ou des systèmes humains face à un nouvel environnement ou à un environnement changeant. L'adaptation aux CC indique l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques » (IPCC, 2007a). Ainsi, par leur rôle de protection, les aires protégées permettent de maintenir l'intégrité des écosystèmes, jouent un rôle tampon sur le climat local et réduisent les risques et les impacts des événements climatiques extrêmes (Dudley *et coll.*, 2010). Elles permettent aussi de maintenir des services environnementaux essentiels qui vont aider les Hommes à s'adapter aux CC (MEA, 2005; Dudley *et coll.*, 2010).

### ***1.4.2 Les défis de la gestion des aires protégées dans le contexte des changements climatiques***

La création des premiers parcs (par ex. Banff, Yellowstone) a été motivée par la préservation des aspects esthétiques du paysage et, par les besoins en récréation (Sarakinis *et coll.*, 2001; Wiersma et Nudds, 2009). Dans les années 70, afin de revitaliser l'économie de certaines régions, de nouveaux parcs et réserves ont été créés (Wiersma et Nudds, 2009). Ce n'est que depuis les années 80 que la conservation de la biodiversité est prise en compte lors de la création des parcs au Canada (Wiersma et Nudds, 2009).

La conservation de la biodiversité est ainsi au centre de la prise de décisions lors de l'établissement d'une aire protégée. Traditionnellement, les gestionnaires des aires protégées pouvaient se permettre de considérer la biodiversité comme « statique » (comme si elle ne changeait pas dans le temps), car dans un contexte naturel, sans perturbation, les processus qui modifient la biodiversité sont très lents. Toutefois, dans le contexte des CC, ce n'est plus le cas. Les processus qui modifient la biodiversité sont dynamiques et peuvent être très rapides (Lovejoy et Hannah, 2005). Ne pas considérer la biodiversité comme une entité dynamique dans le temps pourrait nuire à l'atteinte des objectifs de conservation fixés au départ. Hannah et Salm (2005) illustrent cette problématique de la façon suivante :

«... la gestion des aires protégées dans le contexte des changements globaux se compare à apprendre à tirer sur une cible en mouvement ».

Mais comment tirer sur une cible en mouvement? La première solution est de modifier notre façon de gérer (gouverner) le réseau d'aires protégées en développant, par exemple, une méthode de cogestion adaptative (Gendreau *et coll.*, 2012). La cogestion adaptative est un processus dynamique et systématique d'amélioration en continu des politiques et des pratiques de gestion qui se base sur les leçons tirées des résultats de politiques et de pratiques antérieures (MEA, 2005). Dans ce processus, la gestion, le pouvoir et les responsabilités sont partagés entre le gouvernement et les utilisateurs

locaux des ressources (Gendreau *et coll.*, 2012). Ce processus dynamique permet de modifier les objectifs de gestion au fur et à mesure que les connaissances s'améliorent.

En plus de la démarche de cogestion adaptative, les spécialistes proposent plusieurs recommandations de conservation à considérer dans le contexte des CC (Heller et Zavaleta, 2009). Au Tableau 1, nous présentons une liste de recommandations pertinentes pour l'aménagement des aires protégées afin de favoriser l'adaptation de la biodiversité aux CC. Les recommandations qui font le plus grand consensus sont :1- établir des programmes de suivi et de gestion adaptative des aires protégées, 2- utiliser des outils de modélisation pour documenter les effets potentiels des CC sur la biodiversité 3- favoriser la connectivité pour assurer le libre déplacement des espèces et leur permettre de suivre le climat auquel elles sont adaptées (Hannah, 2011), 4- augmenter le nombre d'aires protégées et préconiser de grandes aires protégées (Heller et Zavaleta, 2009).

**Tableau 1.** Liste de recommandations pour l'aménagement des aires protégées afin de favoriser l'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques. Basée sur une revue de 112 articles scientifiques traitant des effets des changements climatiques sur la biodiversité (Heller et Zavaleta, 2009).

---

### Recommandations de gestion

---

- Augmenter la connectivité (établir des corridors, enlever les barrières à la dispersion, diminuer la distance entre les aires protégées, reforestation);
  - Étudier et protéger les métapopulations;
  - Intégrer les changements climatiques dans les exercices de planification (aires protégées, espèces invasives, horaires de récolte, limites de pâturages, programmes de motivation);
  - Utiliser un système d'information géographique pour étudier la distribution des espèces et les patrons du paysage;
  - Augmenter le nombre d'aires protégées;
  - Ajuster les frontières des aires protégées afin d'inclure le déplacement prédit des habitats critiques;
  - Améliorer la coordination inter-agences et régionale;
  - Créer des aires protégées linéaires orientées dans l'axe nord-sud;
  - Protéger de grandes aires et agrandir les aires existantes;
  - Établir des collaborations entre nations;
  - Créer et gérer des zones tampons autour des aires protégées;
  - Cibler la protection des biomes sensibles;
  - Établir des réseaux d'aires protégées : de grandes aires protégées reliées par des petites aires protégées;
  - Augmenter la protection des zones humides;
  - Protéger l'échelle complète de la variation bioclimatique;
  - Établir des aires protégées de façon à ce que les zones de transition de la végétation soient dans le noyau;
  - Protéger les groupes fonctionnels et les espèces clés;
  - Développer des stratégies d'adaptation immédiatement, ne pas attendre;
  - Protéger les montagnes;
  - Modéliser les futures aires de distribution des espèces;
  - Protéger les forêts primaires;
  - Protéger les refuges présents et prédits;
  - Préserver la diversité génétique des populations;
  - Multiplier les occurrences d'une espèce dans un réseau des aires protégées;
  - Faire preuve de prudence lors de l'utilisation de la modélisation prédictive, car les réponses de certaines espèces ne sont pas bien prédites;
  - Instaurer un zonage flexible autour des aires protégées;
  - Utiliser des règles simples lors de la planification des aires protégées;
  - Sélectionner des aires protégées dans des zones d'hétérogénéité et d'endémisme élevés;
  - Gérer la matrice (le paysage);
  - Utiliser des modélisations prédictives pour la sélection des nouvelles aires protégées;
  - Établir les aires protégées sur la frontière nordique de l'aire de distribution des espèces;
-

## 2.0 Analyses

Cette section a pour premier objectif de décrire les effets possibles des CC sur la biodiversité dans la région. Le deuxième objectif est de documenter si les aires protégées pourront jouer leur rôle de protection de la biodiversité au Bas-Saint-Laurent dans un contexte de CC.

### ***2.1 Effets des changements climatiques sur la biodiversité au Québec et au Bas-Saint-Laurent***

Dans le cadre du projet CC-Bio, nous avons documenté plusieurs effets des CC sur la biodiversité et nous présentons ici les résultats qui sont les plus pertinents dans le cadre de la présente démarche. Les groupes taxonomiques analysés dans le projet CC-Bio sont les oiseaux, les plantes, les arbres et les amphibiens. Il est important de mentionner que le projet CC-Bio ayant été réalisé à l'échelle du Québec, nous sommes contraints de présenter certains des résultats à cette échelle, alors que d'autres ont pu être réinterprétés pour le Bas-Saint-Laurent. De plus, c'est aussi en raison de l'échelle de travail des analyses originales que la résolution des pixels sur les cartes (20 km x 20 km ou 400 km<sup>2</sup>) peut sembler un peu « grossière » à l'échelle d'une région administrative.

Afin d'alléger le texte, nous avons fait le choix de présenter un minimum d'explications méthodologiques. Les lecteurs intéressés sont invités à consulter l'article de Berteaux et coll. (2010) afin d'en savoir plus sur les méthodes et les données utilisées dans le cadre du projet CC-Bio.

Cette section présente trois analyses différentes. La première consiste à documenter les effets des CC sur la phénologie et la répartition de certaines espèces du Québec. Par la suite, nous présenterons des analyses sur les changements anticipés à l'aide de deux méthodes : celle de la vulnérabilité des espèces aux CC et celle des changements de répartition des espèces. L'analyse de vulnérabilité permet d'évaluer quelles espèces risquent d'être vulnérables aux CC en 2050 et pourquoi. L'analyse sur la répartition potentielle des espèces pour 2050, nous permettra d'évaluer les changements potentiels de la communauté en espèces au Bas-Saint-Laurent pour cette période.

## **2.1.1 Les changements observés**

### **2.1.1.1 Méthodes et Résultats**

Pour cette analyse, nous avons utilisé des données d'observations faites par des ornithologues amateurs du Québec. La base de données utilisée se nomme Étude des populations d'oiseaux du Québec (ÉPOQ) et comporte plus de 300 000 mentions d'oiseaux. L'ÉPOQ existe depuis 1975, mais inclut des données d'observations d'oiseaux enregistrées au début des années 1900. À l'aide de ces données, nous avons analysé la date d'arrivée, au printemps, de 113 espèces. Les résultats ont démontré qu'en moyenne, ces dernières ont devancé leur arrivée printanière de 0,134 jour/année, et ce, sur une période de 40 ans (1969-2005) (Francoeur, 2012). Autrement dit, les oiseaux arrivent en moyenne 5,36 jours plus tôt en 2008 qu'ils le faisaient en 1969. De plus, la limite nord de l'aire de répartition de ces oiseaux s'est déplacée de 20 km en 25 ans, soit de 8 km/10ans.

### **2.1.1.2 Interprétation**

Ces résultats nous indiquent que les oiseaux du Québec s'adaptent déjà aux changements du climat. Comme nous avons démontré plus tôt que le climat a déjà commencé à se réchauffer au Bas-Saint-Laurent, nous pouvons penser que cette situation s'applique aux espèces d'oiseaux de la région. Les effets des CC sur les espèces semblent être bien réels au Québec et, vraisemblablement, au Bas-Saint-Laurent.

## **2.1.2 La vulnérabilité aux changements climatiques**

La vulnérabilité se définit comme *le degré auquel un système est susceptible ou incapable de gérer les effets négatifs des CC, incluant les variations climatiques et les extrêmes* (IPCC 2007a). La vulnérabilité des espèces aux CC varie en fonction : 1) de la sensibilité d'une espèce aux CC (dynamique de la population, traits d'histoire de vie, diversité génétique, etc.) et 2) de l'exposition aux CC (microclimat, topographie, micro-habitat, etc.) (Williams *et coll.*, 2008). Par exemple, une espèce qui ne se déplace pas (ex: arbres) est considérée comme plus vulnérable qu'une espèce qui se déplace (par ex:

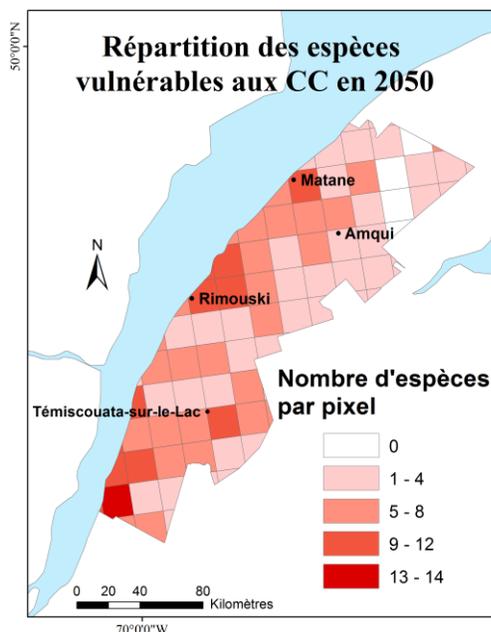
oiseaux) si exposée aux même CC, parce que cette dernière sera en mesure de suivre plus facilement le déplacement du climat. De même, une espèce qui ne se déplace pas, mais qui n'est pas exposée aux CC (par ex: pas ou peu de CC anticipés dans la région où elle se retrouve), n'est pas considérée comme vulnérable aux CC.

#### 2.1.2.1 Méthodes et résultats

L'analyse de vulnérabilité a été réalisée avec l'indice de vulnérabilité aux CC (IVCC) de NatureServe (Young *et coll.*, 2011). L'IVCC intègre les deux composantes de la vulnérabilité (exposition et sensibilité) sous différents facteurs pour mesurer un Indice de vulnérabilité aux CC qui se définit selon 5 classes de vulnérabilité (de non vulnérable à extrêmement vulnérable). À l'aide de cet outil, il est possible d'identifier les traits biologiques qui rendent les espèces vulnérables aux CC. Une fois ces traits identifiés, il est possible d'orienter les efforts de conservation de façon à réduire les effets négatifs des CC sur les espèces les plus vulnérables aux CC.

Nous avons fait l'analyse avec l'IVCC pour 313 espèces (189 oiseaux, 56 arbres, 50 plantes et 18 amphibiens) pour l'ensemble du Québec. Parmi les 313 espèces analysées, 7,3 % sont considérées comme vulnérables aux CC anticipés pour 2050 (au Québec). Il s'agit essentiellement d'espèces d'arbres. À la Figure 6, on constate la présence d'espèces vulnérables aux CC sur l'ensemble du territoire du Bas-Saint-Laurent. Leur nombre varie entre 0 et 14 par pixel.

Il est important de noter que notre analyse inclut seulement 313 espèces alors qu'il y en aurait pas moins de 40 500 à l'échelle du Québec (Le musée Sarakinos *et coll.*, 2001; Redpath, Site Internet). Ainsi, le faible nombre d'espèces vulnérables au nord-est de la région reste très relatif et s'explique probablement par le fait que certaines espèces présentes dans ce secteur n'étaient pas incluses dans notre analyse (par ex. le caribou de la Gaspésie). Surtout considérant que les espèces qui habitent au sommet des hautes montagnes (caractéristique importante du nord-est de la région) sont généralement plus vulnérables aux CC (Parmesan et Yohe, 2003).



**Figure 6.** Répartition des espèces vulnérables aux CC au Bas-Saint-Laurent.

Parmi les 20 facteurs sur lesquels s’appuie l’IVCC pour déterminer la vulnérabilité des espèces aux CC, les trois principaux facteurs qui, à l’échelle du Québec, rendent les espèces vulnérables sont : la spécificité de l’habitat physique, la présence de barrières anthropiques et la faible capacité de dispersion. Ainsi, les espèces dont l’habitat physique est restreint à un ou deux types de substrats géologiques (au lieu de plusieurs), dont la distribution se retrouve dans un paysage grandement modifié par l’homme ou qui ont une faible capacité de déplacement sont jugés plus vulnérables.

### 2.1.2.2 *Interprétation*

Le premier constat à tirer de cette analyse est que certaines espèces présentes dans la région sont vulnérables aux CC. Selon notre analyse, les habitats physiques, les barrières anthropiques et la capacité de déplacement sont les principaux facteurs qui rendent les espèces vulnérables aux CC au Québec et au Bas-Saint-Laurent. Pour favoriser l’adaptation de ces espèces, il faut donc s’assurer de maintenir une hétérogénéité spatiale dans les types d’habitats physiques protégés dans la région, de

favoriser la connectivité entre les habitats favorables permettant de réduire l'impact négatif des barrières anthropiques et de faciliter le déplacement des espèces vulnérables.

### ***2.1.3 La répartition potentielle future des espèces***

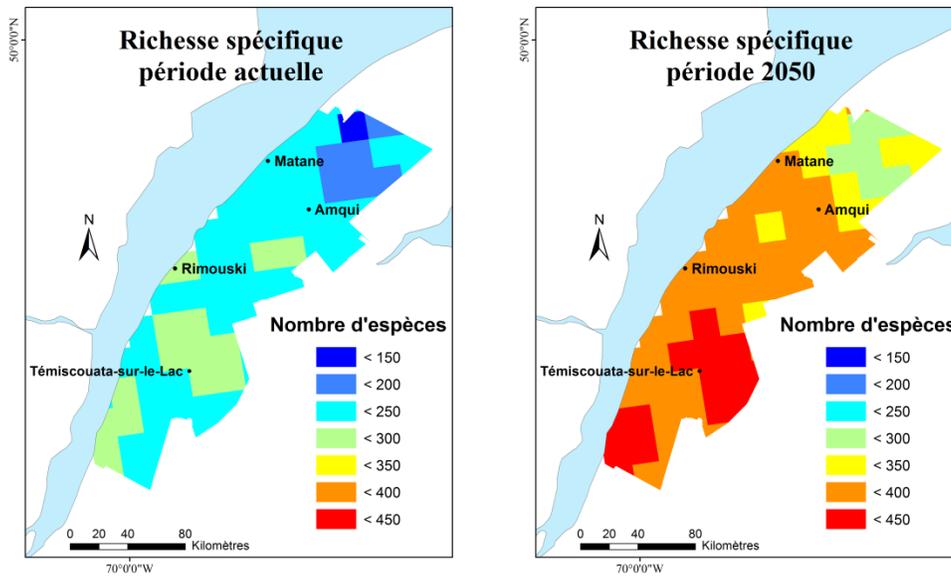
Ces analyses consistent à évaluer la répartition potentielle des espèces dans le futur. Les résultats de ces analyses peuvent être interprétés de plusieurs façons, mais dans le cas qui nous intéresse, nous avons voulu répondre à deux questions : 1- Est-ce que la région risque de subir une diminution ou une augmentation du nombre d'espèces entre la période actuelle et celle de 2050? Cette question nous semblait justifiée, car l'un des objectifs des aires protégées est de conserver la biodiversité. L'autre question, qui découle de la première, est : 2- Est-ce que les espèces présentes pour la période actuelle le seront en 2050? À la section 1.4.1, nous avons affirmé que la biodiversité sera très dynamique dans le contexte des CC. En répondant à ces questions, nous serons en mesure d'évaluer l'ampleur de ce dynamisme qui pourrait avoir des implications sur les décisions de conservation à prendre.

#### ***2.1.3.1 Méthodes et résultats***

À l'aide de modèles statistiques, il est possible de projeter la répartition potentielle d'une espèce dans le futur. Ce type d'analyse est relativement complexe, mais le concept en est simple. L'analyse consiste à faire des corrélations statistiques entre la répartition connue (actuelle) d'une espèce et plusieurs variables climatiques issues du climat actuel (1961-1990) afin de déterminer la niche bioclimatique dans laquelle se retrouve l'espèce. Si les modèles sont en mesure d'établir cette corrélation, on substitue dans ces derniers les variables climatiques actuelles par celles issues du climat anticipé pour le futur (dans notre cas pour 2050) afin d'obtenir la répartition **potentielle** future de l'espèce, aussi appelée « niche bioclimatique potentielle ». Il faut insister sur le terme « potentielle », car les modèles, en plus d'être basés sur des corrélations, ne tiennent pas compte, entre autres, de la capacité de déplacement des espèces. Par exemple, dans le cas

du chêne rouge, espèce retrouvée au Bas-Saint-Laurent, les modèles projettent sa niche bioclimatique potentielle pour 2050 sur la Côte-Nord. Toutefois, cet arbre produit de gros fruits (glands) et il y a peu de chances que ces derniers puissent traverser le fleuve sans aide. Il n'en reste pas moins que ces analyses sont très puissantes et que, lorsqu'elles sont réalisées sur un grand nombre d'espèces, elles nous donnent de bonnes indications sur les effets potentiels des CC sur la répartition des espèces. Dans le cadre du projet CC-Bio, les répartitions potentielles de 763 espèces présentes au Québec (512 plantes, 169 oiseaux, 63 arbres et 19 amphibiens) ont été modélisées.

À la Figure 7, nous résumons l'information de ces modèles en présentant la richesse spécifique au Bas-Saint-Laurent (nombre d'espèces par pixel de 20 km x 20 km) pour la période actuelle et celle pour 2050. Pour la période actuelle, la richesse spécifique varie entre 148 et 271 espèces selon les secteurs (pixels), alors que cette dernière pourrait varier entre 267 et 438 espèces en 2050. Par contre, cette augmentation potentielle de près de 38 % du nombre d'espèces ne permet pas d'affirmer si la majorité des espèces présentes à la période actuelle le seront en 2050. Autrement dit, dans un cas extrême, il pourrait y avoir plus d'espèces présentes au Bas-Saint-Laurent en 2050, mais ce nombre pourrait n'inclure aucune des espèces qui étaient présentes pour la période actuelle. Nous avons poussé nos analyses afin d'éclaircir cette question et nous avons trouvé que le changement substantiel de la composition des espèces de la région s'explique par l'ajout de nouvelles espèces aux espèces déjà présentes. Donc, en plus d'accueillir de nouvelles espèces, la région conservera la majorité des espèces actuellement présentes.



**Figure 7.** Richesse spécifique au Bas-Saint-Laurent pour la période actuelle (1961-1990) et la période 2050 (2041-2070)

### 2.1.3.2 Interprétation

Il y a deux constats qui ressortent de ces analyses : 1- il y aura potentiellement plus d'espèces présentes au Bas-Saint-Laurent en 2050 qu'actuellement, et 2- la majorité des espèces actuellement présentes le seront toujours en 2050. L'arrivée potentielle de nouvelles espèces n'est pas un résultat si surprenant en soi, car la limite de répartition nordique de plusieurs espèces se retrouve au Québec et au Bas-Saint-Laurent. Comme la tendance veut que les espèces se déplacent vers le nord et en altitude à cause des CC, il est logique de penser que l'on retrouvera plus d'espèces dans nos régions dans le futur (Chen *et coll.*, 2011). On appelle ce phénomène « le paradoxe de la biodiversité nordique ». Ce concept suggère que, dans les régions nordiques où les basses températures sont le facteur limitant l'établissement de plusieurs espèces, le réchauffement du climat pourrait provoquer une augmentation de la biodiversité (Berteaux, 2010). Finalement, il est intéressant de savoir que la majorité des espèces actuellement présentes le seront aussi dans le futur, car cela signifie que si nous faisons l'effort de les conserver maintenant, cet effort ne sera pas un coup d'épée dans l'eau.

## ***2.2 Changements climatiques et aires protégées au Bas-Saint-Laurent***

### ***2.2.1 Analyse de l'efficacité du réseau d'aires protégées au Bas-Saint-Laurent dans le contexte des changements climatiques***

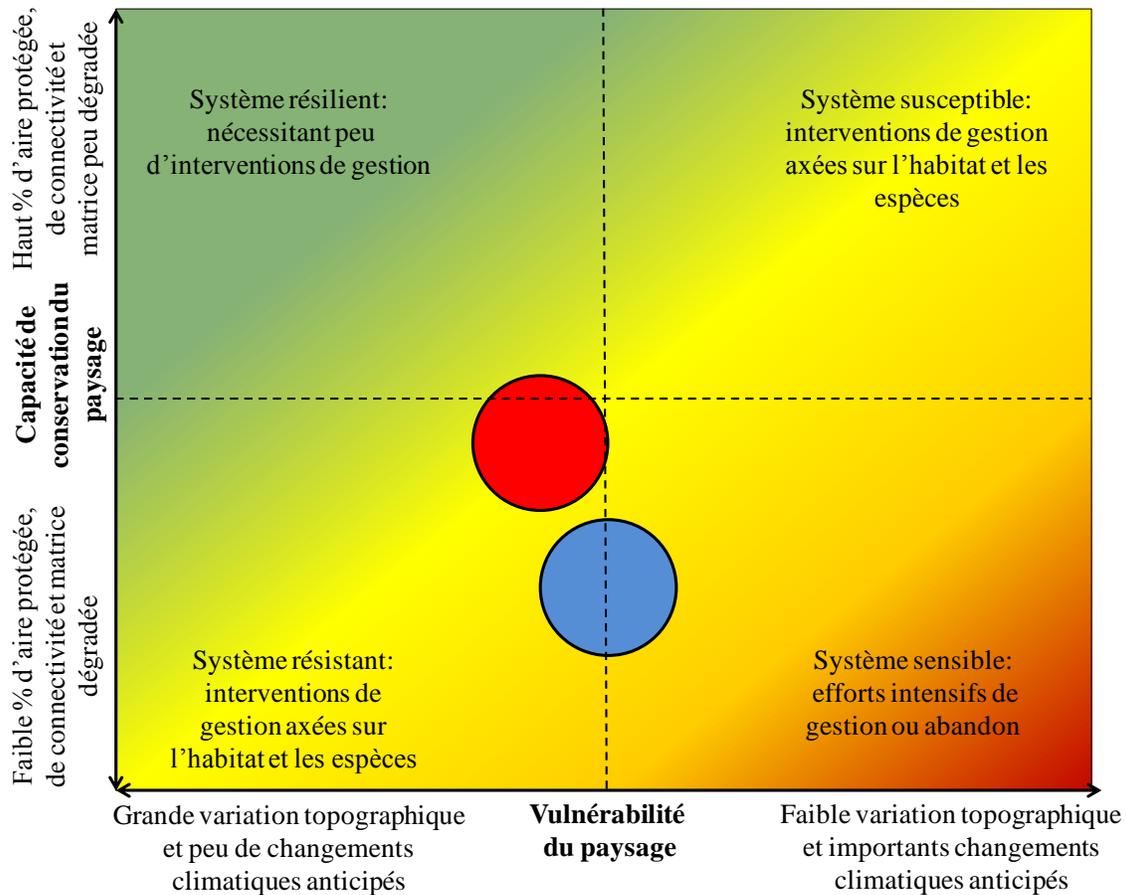
Dans le but d'évaluer l'efficacité du réseau d'aires protégées à conserver la biodiversité du Bas-Saint-Laurent dans le contexte des CC nous avons appliqué une méthode récemment développée par Gillson et coll. (2013). Cette méthode évalue les stratégies de conservation non pas à partir de données sur les espèces, mais à partir d'éléments du paysage. Nous avons utilisé cette analyse afin de comparer l'efficacité en termes de conservation de la biodiversité du réseau actuel et celle du réseau proposé dans le cadre de la présente démarche. De plus, à l'issue de cette analyse, cette méthode nous permet d'identifier des stratégies de conservation à favoriser pour rendre le système plus résistant et/ou résilient.

#### ***2.2.1.1 Méthodes et résultats***

Cette méthode consiste à positionner le paysage (l'ensemble du Bas-Saint-Laurent, dans le cas qui nous intéresse), selon ses caractéristiques, le long de deux axes sur un graphique : 1) axe vertical: la capacité de conservation du paysage (pourcentage d'aire protégée, connectivité et état de la matrice) et 2) axe horizontal: la vulnérabilité du paysage aux CC (vélocité des CC et variations topographiques dans le paysage) (Figure 8). Le deuxième axe permet de déterminer si des microclimats sont disponibles dans la région, ce qui pourrait favoriser la résilience des populations locales aux CC. Ces axes permettent de distinguer les paysages en fonction des réponses très variables inhérentes aux CC et ainsi, de faire ressortir leurs besoins particuliers dans la planification de la gestion de la biodiversité. Selon sa position par rapport aux axes, le système analysé (paysage) se retrouvera dans l'un des quatre quadrants correspondants à l'état du système étudié. Cette position nous donnera une indication de son efficacité à conserver la biodiversité et à favoriser l'adaptation des espèces de la région aux CC (Figure 8). À l'annexe 1, nous présentons les détails de notre démarche et les sources d'informations

qui nous ont permis d'évaluer les éléments et de justifier leur position sur chacun des axes de la Figure 8.

En complément à la méthode d'analyse, les auteurs ont associé à chacun des quadras une série de stratégies de conservation qui sont fonction de l'état des systèmes. Pour un paysage considéré résilient (coin supérieur gauche), les interventions vont être minimales et concentrées sur les espèces à statut précaire. En effet, ces paysages sont de bonne qualité, avec des superficies suffisantes d'aires protégées et une grande variété de microclimats liée à leur topographie accidentée. Dans un contexte de CC, la présence de ces microclimats devrait permettre aux espèces de trouver plus facilement un climat qui leur convient. À l'opposé des paysages résilients, il y a les paysages sensibles (coin inférieur droit). Ces derniers ont une faible capacité de conservation combinée à une forte exposition aux CC (par ex. faible pourcentage d'aires protégées, faible connectivité et matrice dégradée combinés à une topographie uniforme et à d'importants CC appréhendés). Ces paysages uniformes possèdent peu ou pas de microclimats. Dans le contexte des CC, les espèces qui s'y trouvent devront donc effectuer de plus grands déplacements afin de trouver un climat équivalent. Par conséquent, dans ce type de système, l'accent doit être porté sur l'amélioration de la connectivité et de la qualité de la matrice (structure du paysage). Dans le cas des paysages susceptibles (coin supérieur droit, Figure 8), la vulnérabilité du paysage est grande, mais pas la capacité de conservation de la matrice. Dans ce type de cas, il faudra améliorer l'hétérogénéité du paysage pour aider les espèces en mettant en valeur ses éléments rares (par ex. si on est dans une plaine et qu'il y a peu de collines, on choisira de mettre en valeur ces collines). Dans le cas de paysages jugés résistants, il faudra améliorer la connectivité, la qualité de la matrice et augmenter le nombre et la taille des aires protégées pour aider les espèces à s'adapter aux CC. Finalement, selon Gillson et coll. (2013), peu importe la position de notre paysage sur le graphique, il faut toujours s'assurer de réduire toutes les autres sources de stress qui pourraient s'ajouter à la pression créée par les CC sur la biodiversité.



**Figure 8.** Analyse de l'efficacité du réseau d'aires protégées au Bas-Saint-Laurent basée sur les éléments du paysage. Le cercle bleu représente le scénario considérant le réseau d'aires protégées actuel et le cercle rouge, le scénario proposé.

### 2.2.1.2 Interprétation

À la Figure 8, nous constatons que l'ajout de nouvelles superficies d'aires protégées (scénario proposé) augmente l'efficacité du système de conservation, qui passe d'un système considéré comme sensible à un système considéré comme plus résistant.

Par contre, le nouveau réseau ne permet pas de rendre le système plus résilient. Un système résilient est souhaitable parce qu'il offre de meilleures possibilités d'adaptation aux CC pour les espèces qui s'y retrouvent. Il est à noter qu'il est plus difficile d'intervenir sur les éléments de l'axe horizontal que ceux de l'axe vertical dans ce modèle pour améliorer la position de notre système. Par exemple, il est impossible de modifier la topographie de notre paysage. Par contre, on peut s'assurer de

conserver une grande diversité des éléments topographiques (surtout les plus rares) en augmentant leur représentativité dans les aires protégées, ce qui aura pour effet d'augmenter la résilience du système. Il est aussi difficile d'avoir un contrôle, à l'échelle locale, sur la vélocité du climat. En fait, le seul moyen de réduire la vitesse des CC est de réduire l'émission des gaz à effet de serre. Ce type d'intervention transcende le niveau local et nécessite des actions au niveau national et international, niveaux auxquels les gestionnaires locaux ont moins de pouvoir.

Les actions possibles et efficaces pour réduire les effets des CC sur la biodiversité du réseau proposé et faire passer ce système de résistant à résilient sont principalement reliées à la capacité de conservation du paysage (axe vertical) et sont :

- Augmenter la proportion d'aires protégées et s'assurer qu'elles aient une taille suffisante (une fois l'effet de bordure considéré);
- Améliorer la connectivité;
- Restaurer la matrice. Au Bas-Saint-Laurent, il y a peu de vieilles forêts et de forêts d'intérieur (forêts situées à plus de 200 m d'une perturbation). La forêt est fragmentée et il y a une très forte densité de chemins forestiers (OFBSL, 2007). Il faut donc favoriser les vieilles forêts, maintenir des forêts d'intérieur et surtout, réduire le nombre de chemins forestiers.

### **3.0 Conclusions**

Les CC se font déjà sentir au Bas-Saint-Laurent et, si aucune action n'est prise pour contrôler les émissions de gaz à effet de serre, ces changements devraient s'accroître dans le futur. Les effets potentiels des CC sur la biodiversité dans la région, produiront des effets difficiles à prévoir (une espèce que l'on n'attendait pas, une autre qui décline de façon surprenante, etc.). Dans ce contexte, les aires protégées assurent une meilleure résilience de la biodiversité régionale, car ce sont des lieux où les autres pressions anthropiques (perte d'habitat, pollution, surexploitation) ne viendront pas autant s'ajouter aux CC.

Pour que les aires protégées puissent bien jouer leur rôle de protection de la biodiversité dans le contexte des CC, il faudra, entre autres, :

- 1- établir des programmes

de suivi et de gestion adaptative des aires protégées, 2- utiliser des outils de modélisation pour documenter les effets potentiels des CC sur la biodiversité 3- favoriser la connectivité pour assurer le libre déplacement des espèces et leur permettre de suivre le climat auquel elles sont adaptées (Hannah, 2011), 4- augmenter le nombre d'aires protégées et préconiser de grandes aires protégées (Heller et Zavaleta, 2009). Dans les sections qui suivent, nous discuterons de chacune de ces recommandations en ayant en tête les spécificités du Bas-Saint-Laurent et, lorsque nécessaire, nous ferons le lien avec les résultats de nos analyses.

### ***3.1 Établir des programmes de suivi et de gestion adaptative des aires protégées***

La gestion des aires protégées devra être adaptée dans le but de la rendre plus dynamique et de mieux répondre aux changements rapides en termes de biodiversité qui sont anticipés. Pour ce faire, il est possible de modifier le processus de gestion pour en faire un modèle de cogestion adaptative (Gendreau *et coll.*, 2012). Dans ce processus, la gestion, le pouvoir et les responsabilités sont partagés entre le gouvernement et les utilisateurs locaux des ressources (Gendreau *et coll.*, 2012). D'ailleurs, la Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire du Bas-Saint-Laurent fournit déjà une très bonne structure/modèle de cogestion tout en appliquant certains principes de la gestion adaptative. Pour ce qui est du suivi, une démarche devra être mise en place et celle-ci devrait, normalement, être sous la responsabilité du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), en lien avec les partenaires régionaux.

### ***3.2 Utiliser des outils de modélisation pour documenter les effets potentiels des CC sur la biodiversité***

Il n'est pas toujours facile d'avoir accès à ce genre d'analyses, mais grâce au projet CC-Bio, nous avons été en mesure de documenter ce point pour la région.

Les effets des CC peuvent se faire sentir de plusieurs façons sur la biodiversité, entre autres, en modifiant la répartition des espèces et aussi, en affectant leur phénologie. À ce sujet, nous avons vu que les oiseaux du Québec ont déjà commencé à s'adapter en avançant leur date de migration au printemps et en déplaçant la limite nord de leurs aires de répartition. Pour les gestionnaires, le constat le plus important à tirer de cette analyse est que **les effets des CC sur la biodiversité sont déjà perceptibles**. Par conséquent, il faut tenir compte, dès maintenant, de ces changements dans notre stratégie de gestion de la biodiversité afin d'assurer la conservation de ces espèces.

À l'aide des modèles de niches bioclimatiques, nous avons également pu explorer les effets possibles des CC anticipés en 2050 sur la répartition des espèces et, surtout, sur la composition de la richesse spécifique (nombre d'espèces différentes) de la région. En effet, le Bas-Saint-Laurent pourrait voir sa richesse spécifique augmenter de 38 % en 2050 (si les espèces sont en mesure de suivre leur niche bioclimatique; section 2.1.3). De plus, la majorité des espèces présentes pour la période actuelle le seront aussi dans le futur. La région aura donc la double responsabilité « d'accueillir » de nouvelles espèces et d'assurer le « maintien » de celles qui y étaient déjà. Cette responsabilité est particulièrement importante en raison de la position géographique de la région que l'on pourrait considérer comme un "cul-de-sac" pour le déplacement des espèces vers le nord. En effet, en raison de sa localisation à l'extrême nord-est du continent et de la présence du fleuve Saint-Laurent (barrière infranchissable pour plusieurs espèces) certaines espèces pourraient s'y retrouver confinées.

### ***3.3 Favoriser la connectivité***

La connectivité entre les habitats est très importante, car elle permettra aux espèces de suivre leur niche bioclimatique (climat auquel elles sont adaptées). Selon les résultats de l'analyse de vulnérabilité et de celle de l'efficacité du réseau d'aires protégées, il faudra améliorer la connectivité dans la région. Cette amélioration de la connectivité devra passer par l'amélioration de la matrice forestière qui est très dégradée dans la région (OFBSL, 2007). En ce sens, on peut espérer que la mise en place du nouveau régime forestier axé sur la gestion écosystémique (avril 2013), permettra de

pallier à certaines de ces lacunes. La connectivité serait également améliorée par l'ajout d'aires protégées, car plus il y aura d'aires protégées, moins il y aura de distance entre chacune d'elles.

### ***3.4 Augmenter le nombre d'aires protégées et préconiser des aires protégées de grande taille***

Bien que le nombre d'aires protégées soit important dans le but d'augmenter la connectivité et offrir une grande diversité d'habitats aux espèces, leur superficie l'est aussi. Il est reconnu que les aires protégées doivent être assez grandes (généralement plusieurs centaines de km<sup>2</sup>) afin de réduire, entre autres, les effets des plantes envahissantes et l'effet de bordure<sup>6</sup>. De plus, plus une aire protégée est grande, plus sa résistance aux désastres naturels (feux, épidémies) sera grande (Brassard *et coll.*, 2010).

Finalement, on peut affirmer que les aires protégées sont la pierre d'assise d'une stratégie de conservation efficace pour la biodiversité de la région dans le contexte des CC. Ainsi, l'ajout de nouvelles superficies pour faire passer le territoire terrestre protégé de la région de 4,5 % à 7,4 % est sans aucun doute un pas dans la bonne direction pour solidifier la conservation de la biodiversité régionale, mais les efforts devront ce poursuivre.

---

<sup>6</sup> La bordure d'une aire protégée agit comme tampon face au reste de la matrice. Une fois cette bordure enlevée, la partie restante, appelée noyau de conservation, doit être d'une superficie suffisante

## Remerciements

L'auteur tient à remercier les personnes suivantes pour leurs contributions et commentaires au document : Marie Claire Bédard, Nicolas Casajus et Patrick Morin.

## Références

- Akçakaya, H. R.; S. H. M. Butchart; G. M. Mace; S. N. Stuart et C. Hilton-Taylor (2006). "Use and misuse of the IUCN Red List Criteria in projecting climate change impacts on biodiversity", *Global Change Biology*, vol. 12, no 11, p. 2037-2043.
- Berteaux, D.; S. De Blois; J. F. Angers; J. Bonin; N. Casajus; M. Darveau; F. Fournier; M. M. Humphries; B. McGill; J. Lariv,E; T. Logan; P. Nantel; C. P,Ri,; F. Poisson; D. Rodrigue; S. Rouleau; R. Siron; W. Thuiller et L. Vescovi (2010). "The CC-Bio Project: Studying the Effects of Climate Change on Quebec Biodiversity", *Diversity*, vol. 2, no 11, p. 1181-1204.
- Berteaux, D.; D. Reale; A. G. Mcadam et S. Boutin (2004). "Keeping pace with fast climate change: Can arctic life count on evolution?", *Integrative and Comparative Biology*, vol. 44, no 2, p. 140-151.
- Brassard, François; André R. Bouchard; Dominic Boisjoly; Frédéric Poisson; Adeline Bazoge; Marc-André Bouchard; Gildo Lavoie; Bernard Tardif; Michel Bergeron; Jacques Perron; Rodolph Balej et Daniel Blais (2010). Portrait du réseau d'aires protégées au Québec. Période 2002/2009. MDDEP, Gouvernement du Québec: 229 pages.
- Brook, B.W.; N.S. Sodhi et C.J.A. Bradshaw (2008). "Synergies among extinction drivers under global change", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 23, no 8, p. 453-460.
- Brooks, T. M.; R. A. Mittermeier; C. G. Mittermeier; G. A. B. Da Fonseca; A. B. Rylands; W. R. Konstant; P. Flick; J. Pilgrim; S. Oldfield; G. Magin et C. Hilton-Taylor (2002). "Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity", *Conservation Biology*, vol. 16, no 4, p. 909-923.
- Brown, J.H. (1984). "On the Relationship between Abundance and Distribution of Species", *The American Naturalist*, vol. 124, no 2, p. 255-279.
- Chapin, F. S.; E. S. Zavaleta; V. T. Eviner; R. L. Naylor; P. M. Vitousek; H. L. Reynolds; D. U. Hooper; S. Lavorel; O. E. Sala; S. E. Hobbie; M. C. Mack et S. Diaz (2000). "Consequences of changing biodiversity", *Nature*, vol. 405, no 6783, p. 234-242.

- Chen, I-Ching; Jane K. Hill; Ralf Ohlemüller; David B. Roy et Chris D. Thomas (2011). "Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming", *Science*, vol. 333, no 6045, p. 1024-1026.
- Dudley, Nigel; Sue Stolton; Alexander Belokurov; Kathy Mackinnon; Trevor Sandwith et Nik Sekhran (2010). *Natural solutions: Protected areas helping people cope with climate change*, Gland (Switzerland), Washington DC and New York (USA): IUCN-WCPA, TNC, UNDP, WCS, The World Bank, WWF. 130 pages.
- Dunn, Robert R.; Nyeema C. Harris; Robert K. Colwell; Lian Pin Koh et Navjot S. Sodhi (2009). "The sixth mass coextinction: are most endangered species parasites and mutualists?", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 276, no 1670, p.3037-3045.
- Fasullo, John T. et Kevin E. Trenberth (2012). "A Less Cloudy Future: The Role of Subtropical Subsidence in Climate Sensitivity", *Science*, vol. 338, no 6108, p. 792-794.
- Fischlin, A.; G.F. Midgley; J.T. Price; R. Leemans; B. Gopal; C. Turley; M.D.A. Rounsevell; O.P. Dube; J. Tarazona et A.A. Velichko (2007). "Ecosystems, their properties, goods and services", sous la direction de : M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linden and C.E. Hanson, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press: Cambridge 211-272 Pp.
- Forcada, J. et P.N. Trathan (2009). "Penguin responses to climate change in the Southern Ocean", *Global Change Biology*, vol. 15, no 7, p. 1618-1630.
- Francoeur, Xavier (2012). Effets des changements climatiques sur la phénologie printanière de l'avifaune du Québec. Mémoire de maîtrise Département de Biologie, géographie, chimie. Université du Québec à Rimouski. 98 pages.
- Gendreau, Y.; C.A. Gagnon; D. Berteaux et F. Pelletier (2012). "Cogestion adaptative des parcs du Nunavik dans un contexte de changements climatiques", *Téoros*, vol. 31, no, p. 61-71.
- Gillson, Lindsey; Terence P. Dawson; Sam Jack et Melodie A. Mcgeoch (2013). "Accommodating climate change contingencies in conservation strategy", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 28, no 3, p. 135-142.
- Gregory, R.D.; S.G. Willis; F. Jiguet; P. Vorisek; A. Klvanova; A. Van Strien; B. Huntley; Y.C. Collingham; D. Couvet et R. E. Green (2009). "An Indicator of the Impact of Climatic Change on European Bird Populations", *PLoS ONE*, vol. 4, no 3, p. e4678.

- Hannah, L. E. E. (2011). "Climate Change, Connectivity, and Conservation Success", *Conservation Biology*, vol. 25, no 6, p. 1139-1142.
- Hannah, Lee et Rod Salm (2005). "Protected areas management in a changing climate", sous la direction de :, Thomas E. Lovejoy and Lee Hannah, *Climate change and biodiversity*, Yale University press: New Haven and London, 418 pages.
- Hassan, Rashid M.; Robert Scholes; Neville Ash et Millennium Ecosystem Assessment (Program). Condition and Trends Working Group. (2005). *Ecosystems and human well-being : current state and trends : findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*, Washington, DC: Island Press. 917 pages.
- Hayhoe, K.; C. P. Wake; T. G. Huntington; L. F. Luo; M. D. Schwartz; J. Sheffield; E. Wood; B. Anderson; J. Bradbury; A. Degaetano; T. J. Troy et D. Wolfe (2007). "Past and future changes in climate and hydrological indicators in the US Northeast", *Climate Dynamics*, vol. 28, no 4, p. 381-407.
- Heller, Nicole E. et Erika S. Zavaleta (2009). "Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations", *Biological Conservation*, vol. 142, no 1, p. 14-32.
- Hughes, L. (2000). "Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 15, n o 2, p. 56-61.
- IPCC (2007a). *Climate Change 2007 : Impacts, adaptation and vulnerability : contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, Cambridge ; New York: Cambridge University Press. 976 pages.
- IPCC (2007b). *Climate Change 2007 : The physical science basis : contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge ; New York: Cambridge University Press. 996 pages.
- Isbell, F.I.; H.W. Polley et B.J. Wilsey (2009). "Biodiversity, productivity and the temporal stability of productivity: patterns and processes", *Ecology Letters*, vol. 12, no 5, p. 443-451.
- ISD (2012). *Bulletin statistique régional : Bas-Saint-Laurent*: Institut de la statistique du Québec. 34 pages.
- Kulshreshtha, S.N.; S. Lac; M. Johnston et C. Kinar (2000). *Carbon sequestration in protected areas of Canada: An economic evaluation*, Warsaw, Canada: Canadian Parks Council.

- Loarie, Scott R.; Philip B. Duffy; Healy Hamilton; Gregory P. Asner; Christopher B. Field et David D. Ackerly (2009). "The velocity of climate change", *Nature*, vol. 462, no 7276, p. 1052-1055.
- Lovejoy, T.E. et L. Hannah (2005). *Climate change and biodiversity*, New Haven, Connecticut, USA: Yale University Press. 406 pages.
- Malcolm, J. R.; C. R. Liu; R. P. Neilson; L. Hansen et L. Hannah (2006). "Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots", *Conservation Biology*, vol. 20, no 2, p. 538-548.
- Mckenney, Daniel W.; John H. Pedlar; Pia Papadopol et Michael F. Hutchinson (2006). "The development of 1901-2000 historical monthly climate models for Canada and the United States", *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 138, no 1-4, p. 69-81.
- MEA (2005). *[Millennium Ecosystem Assessment] - Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*, Washington, DC.: World Resources Institute. 100 pages.
- Meehl, G.A.; C. Covey; T. Delworth; M. Latif; B. Mcavaney; J.F.B. Mitchell; R.J. Stouffer et K.E. Taylor (2007). "The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 88, no, p. 1383-1394.
- Nakicenovic, N.; J. Alcamo; G. Davis; B. De Vries; J. Fenhann; S. Gaffin; K. Gregory; A. Grübler; T.Y. Jung; T. Kram; E.L. La Rovere; L. Michaelis; S. Mori; T. Morita; W. Pepper; H. Pitcher; L. Price; K. Riahi; A. Roehrl; H.-H. Rogner; A. Sankovski; M. Schlesinger; P. Shukla; S. Smith; R. Swart; S. Van Rooijen; N. Victor et D. Zhou (2000). *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge: Cambridge University Press. 570 pages.
- OFBSL (2007). *Habitats et biodiversité au Bas-Saint-Laurent : Analyses et réflexion*, Rimouski: Observatoire de la foresterie du Bas-Saint-Laurent. 12 pages.
- Parmesan, C. (2006). "Ecological and evolutionary responses to recent climate change", *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 37, n o 1, p. 637-669.
- Parmesan, C. et G. Yohe (2003). "A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems", *Nature*, vol. 421, no 6918, p. 37-42.
- Percy, K. E.; C. S. Awmack; R. L. Lindroth; M. E. Kubiske; B. J. Kopper; J. G. Isebrands; K. S. Pregitzer; G. R. Hendrey; R. E. Dickson; D. R. Zak; E. Oksanen; J. Sober; R. Harrington et D. F. Karnosky (2002). "Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>", *Nature*, vol. 420, no 6914, p. 403-407.

- Pimm, S. L.; G. J. Russell; J. L. Gittleman et T. M. Brooks (1995). "The Future of Biodiversity", *Science*, vol. 269, no 5222, p. 347-350.
- Réale, D.; A.G. Mcadam; S. Boutin et D. Berteaux (2003). "Genetic and plastic responses of a northern mammal to climate change", *Proc. R. Soc. Lond. B*, vol. 270, no 1515, p. 591-596.
- Redpath, Le Musée (Site Internet). La biodiversité au Québec. <http://redpath-museum.mcgill.ca/> . Consulté en juin 2009.
- Reusch, T.B.H. et T.E. Wood (2007). "Molecular ecology of global change", *Molecular Ecology*, vol. 16, no 19, p. 3973-3992.
- Rickebusch, Sophie; Wilfried Thuiller; Thomas Hickler; Miguel B. Araújo; Martin T. Sykes; Oliver Schweiger et Bruno Lafourcade (2008). "Incorporating the effects of changes in vegetation functioning and CO<sup>2</sup> on water availability in plant habitat models", *Biology Letters*, vol. 4, no 5, p. 556-559.
- Root, T. L.; D. P. Macmynowski; M. D. Mastrandrea et S. H. Schneider (2005). "Human-modified temperatures induce species changes: Joint attribution", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 102, no 21, p. 7465-7469.
- Root, T. L.; J. T. Price; K. R. Hall; S. H. Schneider; C. Rosenzweig et J. A. Pounds (2003). "Fingerprints of global warming on wild animals and plants", *Nature*, vol. 421, no 6918, p. 57-60.
- Sala, O. E.; F. S. Chapin; J. J. Armesto; E. Berlow; J. Bloomfield; R. Dirzo; E. Huber-Sanwald; L. F. Huenneke; R. B. Jackson; A. Kinzig; R. Leemans; D. M. Lodge; H. A. Mooney; M. Oesterheld; N. L. Poff; M. T. Sykes; B. H. Walker; M. Walker et D. H. Wall (2000). "Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100", *Science*, vol. 287, no 5459, p. 1770-1774.
- Sarakinos, H.; A. O. Nicholls; A. Tubert; A. Aggarwal; C. R. Margules et S. Sarkar (2001). "Area prioritization for biodiversity conservation in Quebec on the basis of species distributions: a preliminary analysis", *Biodiversity and Conservation*, vol. 10, no 9, p. 1419-1472.
- Thuiller, W. (2007). "Biodiversity - Climate change and the ecologist", *Nature*, vol. 448, no 7153, p. 550-552.
- Thuiller, W.; C. Albert; M.B. Araújo; P.M. Berry; M. Cabeza; A. Guisan; T. Hickler; G.F. Midgley; J. Paterson; F.M. Schurr; M.T. Sykes et N.E. Zimmermann (2008). "Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges", *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 9, no 3-4, p. 137-152.

- Thuiller, W.; M. B. Araujo; R. G. Pearson; R. J. Whittaker; L. Brotons et S. Lavorel (2004). "Biodiversity conservation - Uncertainty in predictions of extinction risk", *Nature*, vol. 430, no 6995.
- Walther, G. R.; L. Hughes; P. Vitousek et N. C. Stenseth (2005). "Consensus on climate change", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 20, no 12, p. 648-649.
- Walther, G. R.; E. Post; P. Convey; A. Menzel; C. Parmesan; T. J. C. Beebee; J. M. Fromentin; O. Hoegh-Guldberg et F. Bairlein (2002). "Ecological responses to recent climate change", *Nature*, vol. 416, no 6879, p. 389-395.
- Wiersma, Yolanda F. et Thomas D. Nudds (2009). "Efficiency and effectiveness in representative reserve design in Canada: The contribution of existing protected areas", *Biological Conservation*, vol. 142, no 8, p. 1639-1646.
- Williams, Stephen E.; Luke P. Shoo; Joanne L. Isaac; Ary A. Hoffmann et Gary Langham (2008). "Towards an Integrated Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change", *PLoS Biology*, vol. 6, no 12, p. e325.
- Young, B.; E. Byers; K. Gravuer; G. Hammerson et A. Redder (2011). *Guidelines for Using the NatureServe Climate Change Vulnerability Index* NatureServe. 58 pages.

## **ANNEXE 1 : Analyse de l'efficacité du réseau d'aires protégées du Bas-Saint-Laurent à conserver la biodiversité : complément méthodologique**

Sur l'axe vertical, les éléments (pourcentage d'aires protégées, connectivité, qualité de la matrice) considérés comme faibles ont été placés au bas, ceux considérés comme modérés ont été placés au centre et ceux considérés comme forts ont été placés en haut de l'axe. Pour l'axe horizontal, les éléments (vélocité du climat et variation topographique) considérés comme faibles ont été placés à gauche, ceux considérés comme modérés ont été placés au centre et ceux considérés comme forts ont été placés à droite. Nous avons intégré l'information de chacun des éléments en faisant des cercles qui représentent chacun des scénarios (réseau actuel et celui proposé). Les cercles sont relativement grands afin de capturer la variabilité de nos mesures (Figure I).

Voici les informations qui ont servi à positionner les éléments du paysage le long des axes, et ce, pour les deux scénarios (réseau actuel et réseau proposé).

### **Axe vertical : Pourcentage d'aires protégées**

#### ***Description :***

Nous avons fixé le pourcentage d'aire protégée à atteindre à 17 %. Cette proportion correspond à l'objectif numéro 11 d'Aichi (aussi connu sous le nom de Nagoya) de la Convention sur la biodiversité biologique. Le Canada est signataire de cette entente dont l'objectif de 17 % devrait être atteint en 2020.

#### ***Scénario actuel :***

Actuellement, au Bas-Saint-Laurent, 4,5 % du territoire terrestre est protégé. Ce pourcentage a été considéré comme faible.

***Position sur l'axe :*** Au bas de l'axe. Lettre « a » sur la Figure I.

#### ***Scénario projeté :***

Selon ce scénario, 7,4 % du territoire de la région pourrait être protégé. Nous avons considéré ce pourcentage comme légèrement sous modéré, car un peu sous la moitié de 17 %.

***Position sur l'axe :*** Légèrement en bas du centre de l'axe. Lettre « A » sur la Figure I.

## **Axe vertical : la connectivité**

### ***Description :***

Nous n'avons pas de données quantitatives sur la connectivité au Bas-Saint-Laurent. Toutefois, nous utilisons ici une carte de la connectivité au Québec, élaborée par Brassard et coll. (2010) (Figure II). Sur cette carte, plus l'indice est rouge, plus il y a de distance entre les aires protégées et/ou plus le milieu qui les sépare est perturbé par l'humain (Brassard *et coll.*, 2010). Sur cette figure, on constate que la connectivité est relativement faible dans la région.

### ***Scénario actuel :***

En nous basant sur la Figure II, nous avons considéré la connectivité dans la région comme faible.

***Position sur l'axe :*** Au bas de l'axe. Lettre « b » sur la Figure I.

### ***Scénario projeté :***

Étant donné le fait que la connectivité est fonction de la distance entre les aires protégées, nous avons considéré que celle-ci devrait être légèrement augmentée avec l'ajout de nouvelles superficies.

***Position sur l'axe :*** Entre le bas et le centre de l'axe. Lettre « B » sur la Figure I.

## **Axe vertical : état de la matrice**

### ***Description :***

La matrice fait référence à l'ensemble du territoire. Nous avons évalué cet élément à deux niveaux. Le premier niveau est celui de l'utilisation du territoire en termes de pourcentages de zones agricoles et urbaines. Ces milieux sont considérés comme très peu favorables à la biodiversité en comparaison à une matrice qui serait essentiellement forestière. Dans la région, 10,5 % du territoire est en zones urbaines et agricoles et ce pourcentage est plus élevé près de la côte (ISD, 2012). Le deuxième niveau, fait référence à l'état de la zone forestière. Au Bas-Saint-Laurent, l'empreinte humaine dans la zone forestière est très forte. En effet, dans la région, il y a peu de vieilles forêts et de forêts d'intérieur (forêts situées à plus de 200 m d'une perturbation),

la forêt est fragmentée et il y a une très forte densité de chemins forestiers (OFBSL, 2007).

***Scénario actuel :***

Nous avons considéré la qualité de la matrice comme étant légèrement sous modérée, car bien qu'une grande superficie de la région soit en zones forestières, celles-ci sont de faible qualité.

***Position sur l'axe :*** Entre le bas et le centre de l'axe. Lettre « c » sur Figure I.

***Scénario projeté :***

Nous avons maintenu le statu quo, car aucune information ne nous permet de dire que la matrice sera de meilleure qualité suite à la mise en place du nouveau réseau.

***Position sur l'axe :*** Entre le bas et le centre de l'axe. Lettre « C » sur la Figure I.

## **Axe horizontal : la vitesse du climat**

***Description :***

C'est une façon d'exprimer la vitesse à laquelle se produisent les CC. En pratique, il s'agit d'évaluer à quelle distance d'un point donné il sera possible, dans le futur, de trouver un climat équivalent à celui qui prévaut à ce point durant la période actuelle (Loarie *et coll.*, 2009). Cette mesure est pour une période donnée et s'exprime en km/année. Par exemple, si en un point donné on prend la température annuelle moyenne pour la période actuelle et qu'on essaye de trouver où sera cette même température en 2050, on devrait avoir besoin de parcourir une plus courte distance si on se trouve en terrain montagneux (vs terrain plat), car le climat varie grandement avec l'altitude.

***Scénario actuel et projeté:***

Les analyses réalisées à ce sujet dans le cadre du projet CC-Bio (données non-publiées) nous permettent d'affirmer que la vitesse du climat au Bas-Saint-Laurent est modérée.

***Position sur l'axe :*** Au centre de l'axe (pour les deux scénarios). Lettres « d » et « D » sur la Figure I.

## **Axe horizontal : variation topographique**

### ***Description :***

Sans avoir de très hautes montagnes, le Bas-Saint-Laurent possède tout de même un relief irrégulier qui lui confère une bonne variation topographique.

### ***Scénario actuel :***

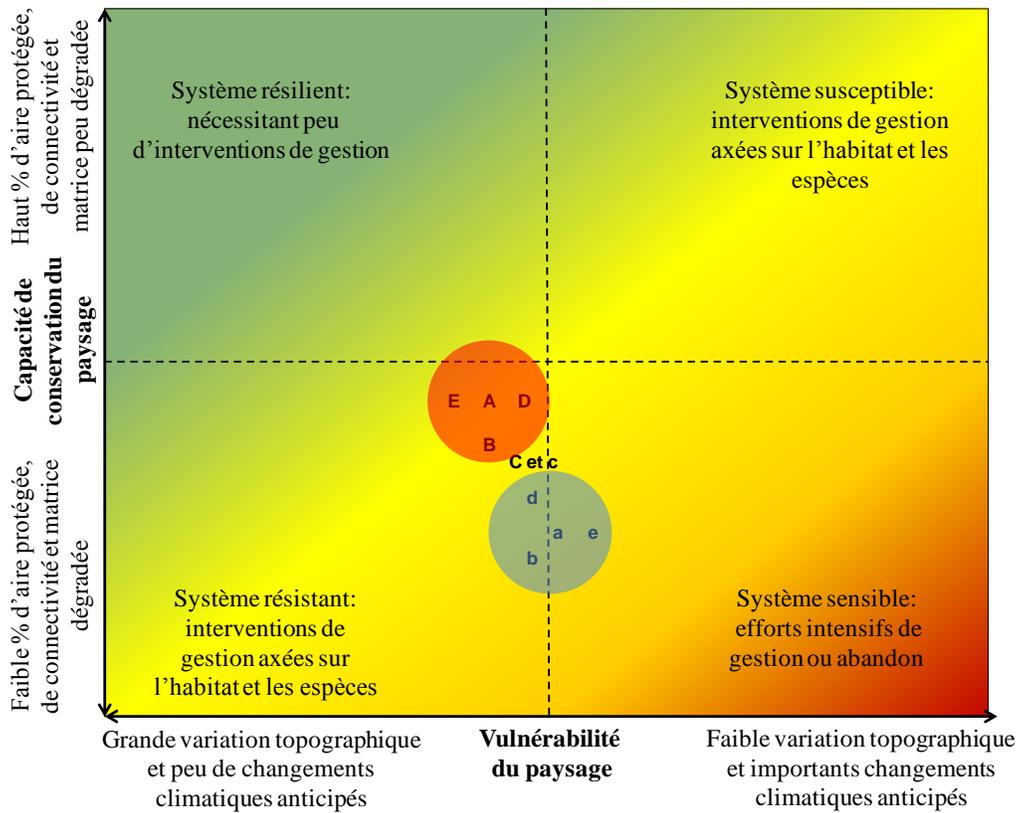
Nous avons considéré cet élément comme modéré, étant donné l'irrégularité du paysage, mais l'absence de hautes montagnes.

***Position sur l'axe :*** Au centre. Lettre « e » sur la Figure I.

### ***Scénario projeté :***

Nous avons légèrement décalé cet élément vers la gauche (variation topographique plus élevée), parce qu'en raison des résultats d'une analyse de carence réalisée par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) à partir des éléments topographiques du paysage, les aires protégées proposées capturent une partie des éléments de topographie les plus rares dans la région (meilleure représentativité des éléments topographiques plus rares).

***Position sur l'axe :*** Légèrement à gauche du centre. Lettre « E » sur la Figure I.



**Figure I.** Analyse de l'efficacité du réseau d'aires protégées au Bas-Saint-Laurent basée sur les éléments du paysage. Le cercle bleu et les lettres minuscules représentent le scénario considérant le réseau d'aires protégées actuel et le cercle rouge et les lettres majuscules, le scénario proposé. Chacune des lettres correspond à un élément du graphique. Consultez le texte pour plus de détails.

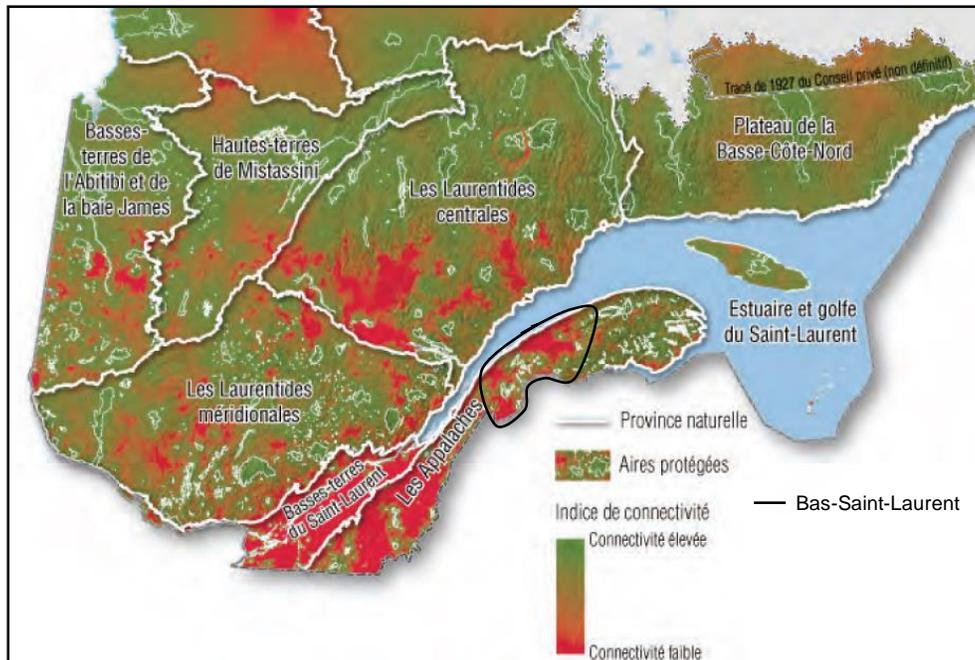


Figure II. Indice de connectivité du réseau d'aires protégées au Québec en 2009 (tiré de Brassard et coll. (2010)).