

Approches pour réaliser des évaluations de la  
vulnérabilité du bassin des Grands Lacs :  
*Une analyse documentaire*



2018

Ce rapport a été préparé par Environnement et Changement Climatique Canada, la National Oceanic and Atmospheric Administration et le Centre ontarien sur l'impact climatique et l'adaptation des ressources.

## Remerciements

Ce rapport a été rendu possible grâce à l'engagement de membres actuels et anciens du sous-comité élargi de l'Annexe sur les répercussions des changements climatiques de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

Nous aimerions remercier Suzanne Perdeaux, Jesse Nunn et Frances Delaney pour leur engagement dans l'élaboration de ce rapport.

Nous aimerions remercier aussi les nombreux chercheurs canadiens et américains, ainsi que les membres du sous-comité Annexe 9 qui ont fourni une rétroaction et des commentaires durant la consultation et l'examen du rapport.

Citations suggérées : Perdeaux S., J. A. A. Nunn et F. Delaney. 2018. Approches pour réaliser des évaluations de la vulnérabilité du bassin des Grands Lacs : Une analyse documentaire. Rapport soumis à Annexe 9 (Répercussions des changements climatiques) de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

## Table des matières

1.0 Résumé .....	1
2.0 Objet et contexte du rapport .....	5
3.0 Introduction .....	6
4.0 Contexte.....	7
4.1 Répercussions des changements climatiques sur le bassin des Grands Lacs.....	7
4.2 Objet de l'évaluation de la vulnérabilité.....	8
5.0 Méthodologie .....	9
5.1 Portée de l'examen.....	9
5.2 Compilation des données : approches et documents à l'appui .....	10
5.3 Liste des thèmes .....	12
6.0 Résultats : Aperçu des principales conclusions .....	13
6.1 Approches et cadres communs .....	18
6.2 Thèmes.....	23
6.3 Outils et méthodes .....	24
6.3.1 Indicateurs .....	24
6.3.2 Indices de vulnérabilité.....	26
6.3.3 Données et projections climatiques.....	31
6.3.4 Données et autres modèles.....	34
6.3.5 Engagement des parties prenantes.....	35
6.4 Gestion et politiques : Intégrer l'adaptation au changement climatique .....	37
6.4.1 Intégration dans le contexte de préparation organisationnelle.....	41
6.5 Résultats de l'évaluation de la vulnérabilité.....	47
6.5.1 Mesures d'adaptation .....	48
7.0 Observations et recommandations .....	49
7.1 Meilleures pratiques .....	49
7.2 Autres considérations .....	50
8.0 Étude de cas : Indice de vulnérabilité des ressources en eau dans l'Arctique (The Arctic Water Resource Vulnerability Index/AWRVI), Alaska, É.-U .....	53
Références .....	56
Glossaire des termes .....	67
Annexe A – Liste d'outils et de ressources utiles pour effectuer des évaluations de vulnérabilité .....	68
Annexe B - Description des sujets de recherche par étude.....	71
Annexe C – Liste des données et des sources de données par étude .....	75
Annexe D – Mesures d'adaptation recommandées par étude.....	79
Annexe E – Thèmes présents dans la documentation .....	82

## Illustrations

Figure 1 : Aperçu des principaux résultats.....	2
Figure 2 : Carte du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent (Angel et unkel, 2010).....	7
Figure 3: Lien entre la vulnérabilité et ses concepts déterminants (recréé à partir Glick et al. 2011).....	9
Figure 4 : Domaines thématiques reflétant les thèmes ayant potentiellement un intérêt pour la recherche pour répondre aux obligations de l'AQEGL.....	13
Figure 5 : Zones d'étude géographique par pays.....	14
Figure 6 : Zones d'étude géographique par État (É.-U.) et province (Canada), d'ouest en est. .	15
Figure 8 : Cadre d'adaptation utilisé pour expliquer l'élaboration du projet Lake Simcoe Climate Change Adaptation Strategy (Lemieux et coll. 2014) .....	19
Figure 9 : Cadre conceptuel pouvant être utilisé par des organismes pour déterminer la préparation organisationnelle à l'adaptation aux changements climatiques, effectuer des analyses de vulnérabilité et élaborer, mettre en œuvre, surveiller et ajuster les options d'adaptation au besoin (Source : Gleeson et coll. 2010).....	22
Figure 10 : Approche méthodologique globale utilisée dans Tu et coll. (2017) pour évaluer les impacts du changement climatique sur les systèmes naturels dans la région de Peel. ....	23
Figure 11 : Fréquence des thèmes abordés dans la documentation .....	24
Figure 12 : Feuille de travail sur la détermination de la vulnérabilité, la vulnérabilité étant déterminée par l'intersection des impacts potentiels et de la capacité d'adaptation, d'après Swanston et Janowiak (2012). ....	31
Figure 13 : Valeurs moyennes annuelles et variations en pourcentage de la température et des précipitations par rapport aux périodes climatiques futures à court et à long terme, pour les scénarios A1b et A2 du GIEC (Crossman et coll. 2013). ....	33
Figure 14 : Organigramme concernant les photographies aériennes et les cartes des zones humides dans l'approche utilisée par Mortsch et coll. (2006) pour évaluer la vulnérabilité des communautés végétales des zones humides et la réponse potentielle aux changements hydrologiques induits par le climat.....	34
Figure 15: Cadre pour aider les organismes engagés à intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans des programmes de prises de décision et évaluer leur promptitude dans la gestion du changement climatique (Source: Gray, 2012) .....	42

## Tableaux

Tableau 1 : Aperçu des sections dans la feuille de calcul Excel « Analyse documentaire sur l'évaluation de la vulnérabilité » .....	11
Tableau 2 : Échelles des écosystèmes par nom de projet .....	15
Tableau 3 : Indicateurs utilisés pour l'évaluation de la sensibilité actuelle pour les 18 sous-bassins hydrographique du lac Simcoe .....	25
Tableau 4 : Indices de vulnérabilité et notation utilisés pour les évaluations dans le bassin des Grands Lacs.....	26
Tableau 5 : Rôles et tâches politiques dans le cycle stratégique .....	38
Tableau 6 : Suggestions de la littérature sur l'intégration du changement climatique dans les actions, plans et gestion politiques .....	44
Tableau 7 : Exemples de résultats de recherche .....	47

## 1.0 Résumé

Le changement climatique et la variabilité climatique ont des conséquences potentielles graves pour la qualité de l'eau et la santé de l'écosystème des Grands Lacs. Même s'il existe un consensus sur la manière de mesurer la vulnérabilité des écosystèmes des Grands Lacs face au changement climatique, plusieurs méthodes ont été mises en place et appliquées par des scientifiques au cours des dernières décennies.

Une revue et analyse binationales de 22 évaluations sur la vulnérabilité au changement climatique, étalées sur les 10 dernières années, ont été menées pour mieux comprendre les approches, les outils et les méthodes utilisés pour évaluer la vulnérabilité des écosystèmes du bassin des Grands Lacs face au changement climatique. Des observations et recommandations sont incluses dans cette section du document comme exemple de meilleures pratiques, limites, avantages et autres considérations en termes d'approches, de méthodes et d'outils discutés dans la littérature. Ce rapport comprend également une étude de cas démontrant l'élaboration et l'application d'une méthode permettant d'évaluer la vulnérabilité à l'échelle des bassins locaux dans l'Arctique.

Les résultats de l'analyse documentaire suggèrent que, même s'il y a des éléments et des cadres utilisés dans les approches pour évaluer la vulnérabilité, plusieurs méthodes ont été appliquées et varient significativement selon l'échelle de l'écosystème et les objectifs de recherche. Dans la plupart des cas, les chercheurs utilisent une approche multidisciplinaire nécessitant généralement une combinaison de modélisation (modèles climatiques, modèles biophysiques ou les deux); des recherches primaires (travail sur le terrain); des recherches secondaires (analyse documentaire); l'élaboration ou l'application d'indicateurs existants ou les connaissances et conseils d'experts. Un aperçu des principaux résultats est disponible dans la figure 1.

Ce rapport met en place une liste des « thèmes » (voir la section 6.2) pour aider les lecteurs à mieux identifier les renseignements représentant un intérêt particulier dans l'évaluation de la vulnérabilité du BGL. Les résultats de l'analyse montrent que 20 des 22 études se sont concentrées sur plusieurs thèmes dans leurs évaluations de la vulnérabilité, avec l'exception de Stewart et al. (2016) (habitats et espèces uniquement) et Rempel et Hornseth (2017) (habitats et espèces uniquement). Dix-neuf des 22 rapports ont exploré la vulnérabilité des habitats et espèces, alors que le thème le moins abordé était les produits chimiques toxiques, dans seulement trois études (Tu et al. 2017, Crossman et al. 2017 et Carlson Mazur et al., 2014).

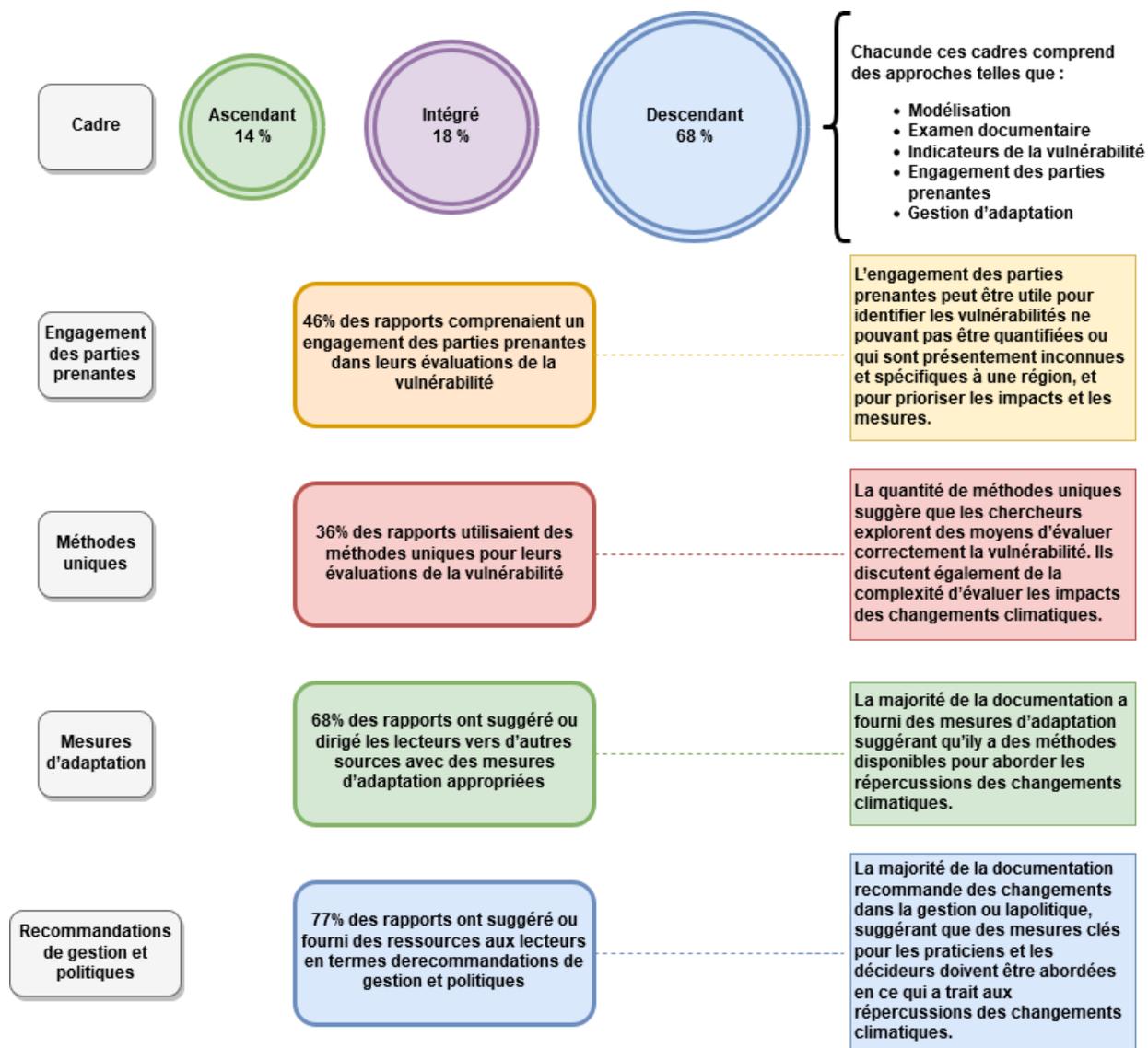


Figure 1 : Aperçu des principaux résultats

Ce rapport ne recommande ni n'approuve aucune démarche ou processus particulier d'évaluation de la vulnérabilité dans le bassin des Grands Lacs ou ailleurs. Il n'offre pas non plus de recommandations ou de meilleures pratiques, à l'exception de celles suggérées par les auteurs de la littérature examinée. Les lecteurs intéressés par un résumé plus détaillé des études sont encouragés à se référer aux études originales ou à examiner la feuille de calcul de l'évaluation de la vulnérabilité.

Ce qui suit est une liste de résultats supplémentaires de l'analyse documentaire :

- Les échelles géographiques de l'étude comprennent 10 études situées au États-Unis et 10 au Canada. Deux études sont binationales (États-Unis et Canada). L'échelle de l'écosystème varie considérablement, variant d'études sur les eaux souterraines, les ruisseaux ou les bassins versants, à des études à l'échelle du bassin.
- Les affiliations de projet étaient diverses, incluant des institutions académiques, des agences et départements provinciaux, fédéraux et étatiques, des autorités de conversation, des centres de recherche scientifiques et des organismes à but non lucratif. Le Ministère des Richesses naturelles et des Forêts était l'affiliation de projet la plus fréquente (un total de cinq projets).
- Quinze des 22 études ont utilisé une approche descendante; une approche qui analyse les données scientifiques pour quantifier la vulnérabilité physique actuelle et future. Trois ont utilisé une approche ascendante; une approche qui applique des indicateurs socioéconomiques pour évaluer les capacités d'adaptation et la vulnérabilité sociale. Et quatre ont appliqué une approche intégrée; un ensemble d'approches descendantes et ascendantes.
- Même si la majorité des études ont élaboré leur propre méthodologie, trois études que nous avons examinées ont utilisé l'Indice de vulnérabilité aux changements climatiques NatureServe (CCVI/IVCC), et trois ont utilisé un cadre de gestion adaptative.
- Une méthode unique est définie comme une méthode, un outil, une approche ou une caractéristique d'étude qui n'est pas utilisée dans plus d'une étude. Un nombre spécifique d'études, 8 sur 22, ont appliqué une méthode unique durant les évaluations de la vulnérabilité. Par exemple, même si plusieurs études ont utilisé des périodes de temps futures à court et long terme (c.-à-d. 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100) pour une analyse du climat, Crossman et al. (2013) est la seule étude à appliquer des périodes de temps plus courtes sur 9 ans (c.-à-d. 2021-2029, 2031-2039, 2061-2069 and 2091-2099) pour leurs projections climatiques.
- Des indicateurs sont utilisés pour mettre en place un concept théorique de vulnérabilité opérationnel et pour mieux évaluer la vulnérabilité. Les résultats de l'analyse documentaire ont permis de découvrir que 16 des 22 études ont appliqué l'utilisation d'indicateurs écologiques et socio-écologiques comme mesure pour quantifier la vulnérabilité.
- La disposition des conditions d'observation et climatiques futures ont constitué des composantes essentielles pour les 22 études examinées. Dans l'ensemble, les données issues des observations et des relevés statistiques se sont révélées importantes pour comprendre les tendances actuelles et les principaux processus au sein des écosystèmes. Les informations climatiques historiques et de base ont constitué la base des recherches des études sur les répercussions climatiques et ont été appliquées à diverses fins spécifiques (par ex. comme référence pour les projections climatiques futures, l'étalonnage et la validation des modèles et l'évaluation des impacts et des tendances historiques). La plupart des études ont été réalisées sur des durées de 30

ans, ce qui est conforme aux directives de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) pour l'analyse climatologique. Dix-sept études ont entrepris leur propre modélisation du climat, tandis que cinq ont incorporé les résultats des projections climatiques tirées de la littérature secondaire (par ex. Tu et al. 2017 ont utilisé des projections d'Auld et al. 2015).

- L'engagement des parties prenantes a été entrepris dans 10 des 22 études, qui variaient dans l'étendue de la participation et du but des parties prenantes (par ex. tout au long du projet pour définir la portée du projet ou valider les résultats).
- Treize études ont quantifié les capacités adaptatives des aspects biophysiques ou sociaux du système concerné. La capacité adaptative est un élément de notation de la vulnérabilité utilisé dans l'IVCC de NatureServe et est automatiquement incluse dans les études qui utilisent cet outil.
- Quinze des 22 documents comprenaient des suggestions sur des potentielles mesures d'adaptation au changement climatique. Ceci démontre que les évaluations de la vulnérabilité sont utiles pour identifier et prioriser les mesures d'adaptation pour les espèces ou communautés biotiques concernées dans le BGL.
- La plupart des documents (18 sur 22) recommandaient également des moyens d'intégrer le changement climatique dans la gestion et les actions politiques dans le but d'améliorer la résilience du BGL. En fin de compte, pour les annexes de l'AQEGL, l'intégration pourrait entraîner des avantages connexes, notamment une prise de décision plus transparente, une meilleure collaboration entre annexes, une sensibilisation accrue aux risques climatiques, un changement des perceptions, une utilisation efficace des ressources et une amélioration de la prise de décision (Benson et al., 2014). En outre, la prise de décisions en matière de changement climatique au moyen d'opportunités et dans le cadre des politiques, des plans et des programmes existants contribue à éviter les compromis entre l'adaptation au changement climatique et les objectifs de l'accord.
- Un certain nombre d'auteurs ont réfléchi aux avantages et aux limites de leurs approches, techniques et processus global. La section 7.0 « Observations et recommandations » comprend les meilleures pratiques, les limites et les leçons générales reflétées par les auteurs. Par exemple, Herb et al. (2016) ont observé les avantages clés pour les gestionnaires de ressources en appliquant une approche à plusieurs niveaux pour l'engagement des parties prenantes. Ils ont noté que les entrevues individuelles permettaient des observations plus ouvertes sur le lien entre la recherche et la science. Les présentations formelles et informelles de la recherche - lors d'un symposium et d'ateliers - ont permis d'apprendre et de critiquer la recherche. Et enfin, la partie interaction de l'atelier a fourni des informations en retour sur la manière dont la recherche procurerait aux gestionnaires des informations critiques.

Dans l'ensemble, la méthodologie appliquée pour évaluer le changement climatique dans le BGL montre qu'il existe un manque d'uniformisation des évaluations de la vulnérabilité, ce qui serait utile pour relier et comparer les résultats dans des localités semblables (le bassin des Grands

Lacs). En résumé, les chercheurs explorent de nouvelles manières d'évaluer la vulnérabilité, ce qui échappe à l'idée que les évaluations de la vulnérabilité en sont encore à leurs balbutiements en ce qui a trait au BGL.

## **2.0 Objet et contexte du rapport**

L'objectif de ce rapport est d'informer l'élaboration et la mise en œuvre d'évaluations de la vulnérabilité par des membres de la communauté de recherche des Grands Lacs, gestionnaires des ressources, praticiens et décideurs. Les renseignements fournis dans ce rapport ont pour but de faciliter la compréhension de nombreux types et approches disponibles durant la réalisation d'une évaluation de vulnérabilité dans les Grands Lacs, incluant des points communs et des différences en termes d'approches, de procédés, de cadres, de méthodes, d'outils, de modèles (espèces, hydrologique, climat) de données et d'autres aspects complémentaires ou de soutien.

Ce rapport contribue et informe dans la mise en œuvre de l'Accord américano-canadien relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (ARQEGL). Signé en 1972, l'ARQEGL a été modifié en 2012 dans le but de mieux identifier et gérer les préoccupations environnementales actuelles. L'annexe sur les répercussions des changements climatiques (annexe 9 de l'Accord) a été ajoutée cette même année pour observer et mieux prendre en compte l'ampleur possible des conséquences des changements climatiques en ce qui a trait à la qualité de l'eau dans le bassin des Grands Lacs aux.

Grâce à l'Accord, le Canada et les États-Unis rétabliront et protégeront la qualité de l'eau et la santé de l'écosystème des Grands Lacs en tenant des consultations et en collaborant avec les autres échelons de gouvernement, les peuples autochtones, des entités non gouvernementales et le public. L'Accord de 2012 comprend des engagements pour des mesures à court terme et à long terme, améliore la transparence et la responsabilisation, reflète les connaissances et la compréhension actuelles et se concentre sur la prévision et la prévention de nouveaux problèmes.

L'Accord est organisé en 10 annexes : Secteurs préoccupants, Aménagement panlacustre, produits chimiques sources de préoccupations mutuelles, Rejets provenant des bateaux, Espèces aquatiques envahissantes, Habitats et espèces, Eaux souterraines, Répercussions des changements climatiques et Science. Le changement climatique est une préoccupation intersectorielle à travers toutes les annexes. Par exemple, nous savons que les changements climatiques ont des répercussions et exacerbent d'autres facteurs de stress sur les Grands Lacs. L'annexe sur les répercussions des changements climatiques vise en partie à soutenir les objectifs des autres annexes afin de mieux comprendre et traiter les impacts des changements climatiques sur les travaux de leur annexe.

Par le biais de son sous-comité, l'annexe sur les répercussions des changements climatiques coordonne des efforts pour identifier, quantifier, comprendre et prédire les répercussions des changements climatiques sur la qualité des eaux des Grands Lacs. Les informations sont

partagées avec les gestionnaires des ressources des Grands Lacs qui abordent de manière proactive ces répercussions tout en mettant en œuvre l'Accord à travers leurs programmes domestiques respectifs.

L'un des principaux engagements de cette annexe est la mise au point et l'amélioration d'outils analytiques permettant de comprendre et de prédire les impacts et les risques pour la qualité des eaux des Grands Lacs, ainsi que leur vulnérabilité aux effets prévus des changements climatiques.

En consultation avec le Comité exécutif des Grands Lacs, les Parties de l'AQEGL (Canada et États-Unis) identifient tous les trois ans des priorités binationales en matière de science et d'action dans le but d'aborder les menaces actuelles et futures de la qualité de l'eau des Grands Lacs en tenant compte d'une évaluation de l'état des Grands Lacs, des contributions reçues lors du Forum public sur les Grands Lacs et des recommandations de la Commission mixte internationale.

Les priorités 2016-2019 en matière de science et d'action comprennent un engagement à « cerner les éléments clés des enjeux de l'AQEGL pour lesquels les changements climatiques doivent être pris en compte et intégrés dans les stratégies et les mesures visant ces enjeux ». Les discussions sur cette priorité pendant les demandes du sous-comité de l'annexe ont mené à l'élaboration de ce rapport dans le but d'informer les autres sous-comités de l'AQEGL et d'évaluer les vulnérabilités liées au climat de leur annexe et de fournir des informations aux gestionnaires des ressources et aux décideurs pour l'ensemble du bassin.

### **3.0 Introduction**

Les Grands Lacs Laurentiens de l'Amérique du Nord constituent le plus grand groupe d'écosystèmes d'eau douce au monde, répartis sur deux provinces canadiennes et huit États américains (États-Unis). Ensemble, les Grands Lacs contiennent près de 20 % de l'eau douce de la planète et fournissent des services écosystémiques importants à un dixième de la population des États-Unis et un quart de la population canadienne (Beeton et al. 1999; Collingsworth et al. 2017). Les Grands Lacs sont composés de cinq étendues d'eau, dont le lac Supérieur (le deuxième plus grand lac au monde par zone) Le lac Michigan (le plus grand lac au monde entièrement situé dans un seul pays), Le lac Huron, le lac Ontario, et le lac Érié (figure 2).



Figure 2 : Carte du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent (Angel et unkel, 2010)

Plus de 30 millions d'Américains et 10 millions de Canadiens vivent autour du bassin hydrographique des Grands Lacs et environ 4 000 espèces de plantes et d'animaux vivent dans cette région.

Les Grands Lacs soutiennent directement d'importantes industries de production hydroélectrique, de navigation, d'agriculture, de pêche, de tourisme et de loisirs. Ces industries et d'autres de la région des Grands Lacs génèrent 6 billions de dollars par an, soit 30 % de la production économique du Canada et des États-Unis réunis. En fait, ce système représente une économie si importante que, si la région des Grands Lacs était un pays elle serait la troisième économie mondiale derrière les États-Unis et la Chine.

La région des Grands Lacs fait partie du patrimoine physique et culturel de la région. Les résidents en dépendent pour l'eau potable, les loisirs, le transport, l'énergie et les possibilités économiques. Pourtant, au fil du temps, les demandes d'une grande population de cette région ont fait des ravages. Les impacts de l'industrialisation, du changement climatique, des espèces envahissantes et des contaminants toxiques, entre autres pressions, sont évidents. La poursuite de l'action est essentielle à la prospérité économique et à la santé futures des citoyens canadiens et américains.

## 4.0 Contexte

### 4.1 Répercussions des changements climatiques sur le bassin des Grands Lacs

Au cours des dernières décennies, les répercussions des changements climatiques sur le BGL se sont généralement traduites par des températures plus élevées, des précipitations accrues, une diminution de la couverture de neige, une diminution annuelle de la couverture de glace de lac, une augmentation de la vitesse de vents et vagues, ainsi qu'une augmentation du nombre d'événements extrêmes (tempêtes de neige, tempêtes de verglas, tempêtes, tempêtes de grêle,

événements de vent à haute vitesse, etc.) (Assel et al. 2003; Austin et Colman 2007, 2008; Ghanbari et Bravo 2008; Gronewold et al. 2013; Hofmann et al. 2008; Sellinger et al. 2007; Wang et al. 2012; Wilcox et al. 2007; Wang et al. 2017). Ces changements ont des répercussions sur les processus physiques, chimiques et biologiques dans les Grands Lacs, pouvant affecter la qualité globale de l'eau et donc nuire à l'habitat, à la faune et à la santé humaine, ainsi qu'à l'économie. Par exemple, les températures plus élevées des surfaces et des lacs peuvent fournir des conditions accueillantes aux espèces aquatiques et terrestres non indigènes, pouvant créer un environnement envahissant et faire concurrence aux espèces indigènes. Un changement similaire des températures du lac peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau en facilitant la formation de proliférations d'algues. Si l'on associe cela à un écoulement accru, cette combinaison pourrait entraîner des environnements hypoxiques pour les poissons et les habitants benthiques (Paerl et al. 2016; Butcher et al. 2015). L'augmentation de la température de l'air et la modification de la configuration des précipitations peuvent modifier le calendrier et l'ampleur du ruissellement et de l'humidité du sol et modifier les niveaux et la disponibilité des eaux souterraines (Gleik, 1989; Taylor et al. 2013). Ces changements physiques ont des impacts cumulatifs susceptibles d'affecter la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (CMI, 2017).

Les répercussions des changements climatiques sur la qualité de l'eau dans le BGL deviennent un sujet d'inquiétude croissant pour les gestionnaires des ressources et les décideurs, surtout en raison du fait que ces régimes climatiques et hydrologiques changeants peuvent avoir une influence dans la réussite des stratégies de gestion (Murdoch et al., 2000). Afin de lutter efficacement contre le changement climatique et de préserver la qualité de l'eau dans le BGL, les chercheurs et les gestionnaires des ressources doivent collaborer avec des mécanismes existants, tels que l'Accord relatif à la qualité de l'eau des Grands Lacs, pour élaborer des stratégies d'adaptation appropriées.

## **4.2 Objet de l'évaluation de la vulnérabilité**

Conformément à la définition du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le présent rapport reconnaît la vulnérabilité comme degré par lequel un système risque de subir ou d'être touché négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité d'un système naturel et socioéconomique peut être déterminée par le caractère, l'ampleur et le taux de développement d'une menace, mais aussi par la sensibilité du système, son exposition et sa capacité d'adaptation. (Figure 3) (IPCC, 2001).

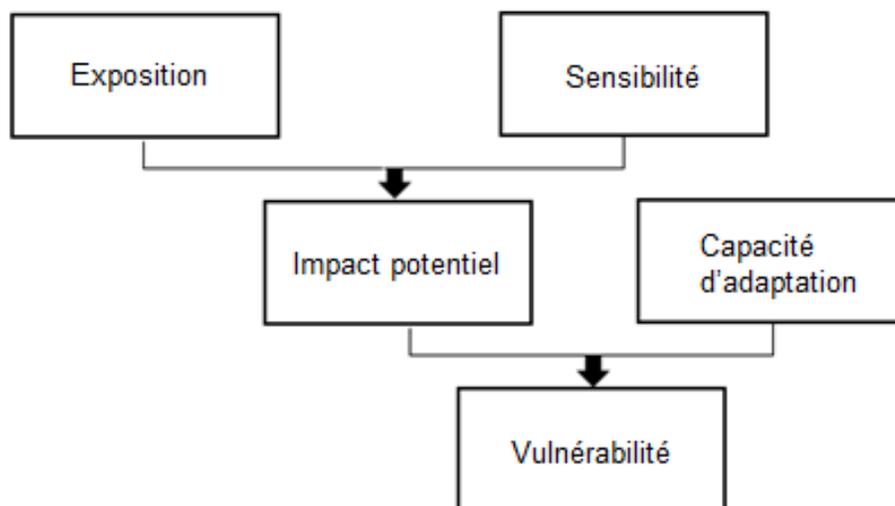


Figure 3: Lien entre la vulnérabilité et ses concepts déterminants (recréé à partir Glick et al. 2011)

En ce qui a trait aux changements climatiques, la vulnérabilité est le degré par lequel les systèmes géophysiques, biologiques et socioéconomiques sont sensibles aux effets néfastes du changement climatique et incapables de les surmonter (Füssel et Klein, 2006). La vulnérabilité peut également faire référence à la vulnérabilité d'un système en soi, à l'impact du système ou au mécanisme à l'origine de ces impacts (GIEC, 2007).

Les évaluations de la vulnérabilité sont des outils essentiels pour informer sur la planification d'adaptation aux changements climatiques et permettre aux parties prenantes de prendre des décisions en connaissance de cause (Lemieux et al. 2014). Selon Gleeson et al. (2011), les évaluations de la vulnérabilité peuvent soutenir la planification de l'adaptation en:

- Identifiant les secteurs les plus susceptibles d'être touchés par les changements climatiques prévus;
- Ayant une meilleure compréhension des indicateurs qui définissent ces secteurs comme vulnérables, y compris l'interaction entre les changements climatiques, les facteurs de stress d'ordre non climatique et les impacts cumulatifs;
- Évaluant l'efficacité des précédentes stratégies d'adaptation en ce qui a trait aux effets anciens et actuels des changements climatiques;
- Identifiant les mesures cibles d'adaptation aux systèmes les plus vulnérables.

## 5.0 Méthodologie

### 5.1 Portée de l'examen

Un examen de la documentation publiée et parallèle sur des évaluations de vulnérabilités existantes du BGL a été mené entre août et décembre 2017. Cet examen a permis d'identifier

des documents de sources couvrant les 10 dernières années. Plusieurs séries de mots-clés ont été utilisées (changement climatique, BGL, vulnérabilité, évaluations, impacts, qualité de l'eau, etc.) pour identifier les documents envisageables. Des documents ont également été obtenus grâce à un « appel à la littérature » aux membres du comité et sous-comité de la littérature de l'Annex 9 (Répercussions des changements climatiques). Les documents ont été sélectionnés sur la base de l'évaluation du résumé ou du résumé effectué par le réviseur. L'accent a été mis sur une analyse documentaire au Canada et aux États-Unis. D'autres étendues d'eau importantes ou pertinentes reliées aux Grands Lacs ont également été incluses (le lac Simcoe, la baie Georgienne, le lac Sainte-Claire, la rivière Nipigon et le fleuve Saint-Laurent). L'analyse documentaire comprend des cadres d'évaluation de la vulnérabilité, des outils, des approches et des techniques, ainsi que des approches de gestion liées aux mesures d'adaptation. Des éléments de caractérisation et de mesure de la vulnérabilité de la qualité de l'eau ont également été inclus, tels que les habitats aquatiques, les nutriments, les espèces envahissantes, la pollution, les écosystèmes d'eau douce, les bassins versants et les zones humides côtières. La littérature avec des thèmes de recherche mettant l'accent sur les systèmes humains (infrastructure bâtie), l'utilisation des terres et les espèces et habitats non aquatiques (couverture forestière), n'a été incluse dans le présent rapport que si la recherche démontrait clairement l'impact de ces variables sur la qualité de l'eau.

## **5.2 Compilation des données : approches et documents à l'appui**

Après examen de chaque document, des observations ont été compilées dans la feuille de calcul Excel concernant l'analyse documentaire sur l'évaluation de la vulnérabilité pour résumer et comparer les résultats des renseignements. La feuille de calcul a été utilisée pour extraire les similitudes et les différences des procédés, des approches et des cadres appliqués pour les évaluations de la vulnérabilité menées dans le bassin des Grands Lacs.

Ce rapport était initialement conçu pour être formaté en fonction des thèmes de recherche (voir section 5.3) afin de soutenir les intérêts de chaque annexe. Toutefois, la nature des résultats des thèmes de recherche par le biais d'études (à savoir plusieurs thèmes par étude; voir la section 6.2) indiquait un chevauchement considérable, et ce format aurait été redondant.

Ce rapport ne recommande ni n'approuve aucune démarche ou processus particulier d'évaluation de la vulnérabilité dans le bassin des Grands Lacs ou ailleurs. Il n'offre pas non plus de recommandations ou de meilleures pratiques, à l'exception de celles suggérées par les auteurs de la littérature examinée. Les lecteurs intéressés par un résumé plus détaillé des études sont encouragés à se référer aux études originales ou à examiner la feuille de calcul de l'évaluation de la vulnérabilité. À titre d'intérêt, le tableau 1 fournit une description du contenu de chaque section de la feuille de calcul.

Tableau 1 : Aperçu des sections dans la feuille de calcul Excel « Analyse documentaire sur l'évaluation de la vulnérabilité »

Section	Description
<b>1.0 Aperçu de la littérature</b>	Un aperçu des principaux aspects, composants et méthodes du projet.
<b>2.0 Thèmes</b>	<p>Une liste de thèmes et le domaine de recherche correspondant de chaque étude. Les thèmes ont été choisis en tenant compte des neuf indicateurs de la santé des écosystèmes des Grands Lacs décrits dans le rapport des faits saillants de 2017 sur l'état des Grands Lacs. Ils s'alignent également avec les 10 groupes d'annexes de l'AQEGL. Les sous-indicateurs ont été appariés avec leur thème le plus approprié (la couverture forestière est une variable observable ou indiquant la qualité de l'eau mais aussi des habitats et des espèces). Le rapport est</p> <p>The report is available at: <a href="https://binational.net/wp-content/uploads/2017/06/SOGL_17_FR.pdf">https://binational.net/wp-content/uploads/2017/06/SOGL_17_FR.pdf</a></p>
<b>3.0 Outils et méthodes</b>	Une comparaison des différents outils et méthodes utilisés dans la littérature pour évaluer la vulnérabilité. Elle compare les indicateurs, les indices de vulnérabilité, les données et projections climatiques, les données et autres modèles, ainsi que l'engagement des parties prenantes.
<b>4.0 Gestion et politique : Intégrer l'adaptation aux changements climatiques</b>	<p>Exemples tirés de la documentation sur les mesures visant à intégrer les changements climatiques dans les actions et les politiques de gestion. Les « secteurs » des mesures et des politiques de gestion ont été organisés autour des thèmes de l'état de préparation organisationnelle décrits dans Gray, 2012. Le rapport de Gray, 2012 fournit un cadre que les praticiens peuvent utiliser pour évaluer l'aptitude de leurs organisations respectives à s'adapter aux effets du changement climatique. Document : Gray, P.A. 2012. Adapter l'aménagement forestier durable aux changements climatiques : une approche systématique d'exploration de l'état de préparation organisationnelle. Conseil canadien des ministres des forêts. Ottawa, Canada. 31p. Disponible à</p> <p><a href="http://www.ccfm.org/pdf/Edwards_PreparingForFuture_FinFr.pdf">http://www.ccfm.org/pdf/Edwards_PreparingForFuture_FinFr.pdf</a></p>
<b>5.0 Leçons apprises</b>	Un aperçu des limites, des inconvénients et des avantages tels que discutés dans la littérature.

La feuille de calcul contient des renseignements détaillés supplémentaires de la littérature, incluant ce qui suit :

- Actions et mesures d'adaptation recommandées
- Approches uniques adoptées dans la méthodologie
- L'étendue de la consultation des parties prenantes
- Évaluation de la capacité d'adaptation (oui/non)
- Affiliation/support de projet
- Zone géographique de l'étude
- Écosystème/milieu aquatique de l'étude
- Outils et méthodes
  - Utilisation d'indicateurs
  - Données et autres modèles
  - Données/projections climatiques
  - Utilisation de cartes/enquêtes
  - Utilisation de la littérature
  - Méthodes de notation de la vulnérabilité
  - Autres méthodes et outils pertinents

Pour recevoir une copie de la feuille de calcul, veuillez contacter :

Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation

[www.climateontario.ca](http://www.climateontario.ca)

### 5.3 Liste des thèmes

L'analyse documentaire sur l'évaluation de la vulnérabilité a été entreprise pour soutenir l'objectif de l'Annexe 9 (Répercussions des changements climatiques) dans le but de contribuer à la réalisation des objectifs spécifiques et généraux de l'AQEGL, et pour prendre en compte le rôle de l'Annexe 9 dans les sujets d'intérêt et de soutien avec les autres annexes. Par conséquent, ce rapport met en place une liste de « thèmes » pour aider les lecteurs à mieux identifier les informations d'un intérêt particulier en rapport avec leur annexe sur l'évaluation de la vulnérabilité dans le BGL.

La liste des thèmes de ce rapport a été élaborée en rassemblant les objectifs des 10 annexes de l'AQEGL avec neuf indicateurs écosystémiques fondés sur la science utilisés pour évaluer l'état et les tendances les plus récents du bassin des Grands Lacs dans le Rapport de 2017 sur l'état des Grands Lacs (SOGL) (Figure 4). Les gouvernements des États-Unis et du Canada, ainsi que leurs nombreux partenaires dans la protection des Grands Lacs, ont convenu d'une série de neuf indicateurs de la santé des écosystèmes appuyés par 44 sous-indicateurs. La liste des thèmes élaborés pour le présent rapport exclut les composantes socioéconomiques, non aquatiques ou terrestres du GLB (par ex. croissance démographique, étalement urbain), car ce ne sont pas des domaines prioritaires dans l'AQEGL. Pour éviter tout chevauchement ou redondance, certains thèmes figurant dans l'annexe et les indicateurs de la Conférence sur l'écosystème des lacs sont représentés dans la liste des thèmes sous des titres alternatifs (par

ex. les « rejets provenant des bateaux » sont représentés par des « produits chimiques toxiques »).

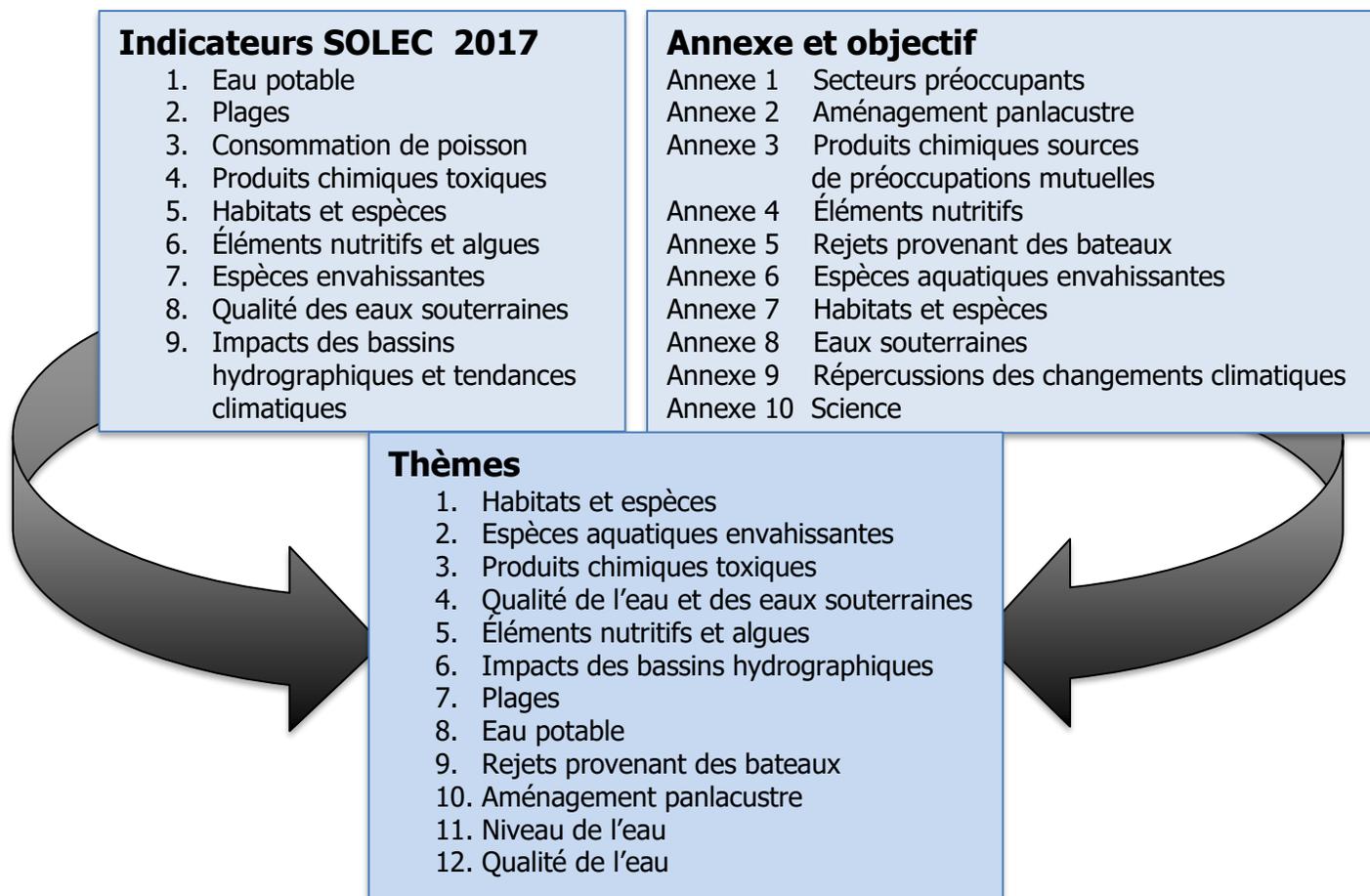


Figure 4 : Domaines thématiques reflétant les thèmes ayant potentiellement un intérêt pour la recherche pour répondre aux obligations de l'AQEG

## 6.0 Résultats : Aperçu des principales conclusions

Grâce à l'examen de la documentation, nous avons pu identifier et comparer plusieurs composantes différentes d'évaluations de la vulnérabilité. Les éléments clés comprenaient le cadre ou l'approche pour l'évaluation de la vulnérabilité, l'étendue et l'utilisation de l'engagement des parties prenantes, l'utilisation de méthodes uniques, les mesures d'adaptation recommandées, et une analyse ou des recommandations pour incorporer le changement climatique dans les mesures de gestion et les politiques. Veuillez consulter le glossaire pour connaître la définition de l'utilisation d'« engagement des parties prenantes » dans le présent rapport.

Un résumé illustratif de nos constatations se trouve à la figure 1. Voir l'annexe B pour une description de chaque étude individuelle incluse dans l'examen de la documentation. Dans l'ensemble, le cadre le plus couramment utilisé pour évaluer la vulnérabilité de l'écosystème des Grands Lacs était une approche descendante (voir l'encadré 1). Cependant, la plupart du temps,

les cadres et les approches différaient et les chercheurs ont souvent utilisé une approche multidisciplinaire qui impliquait généralement la modélisation (modèles climatiques, modèles biophysiques ou les deux), la recherche primaire (travail sur le terrain), la recherche secondaire (examen de la documentation), l'élaboration ou l'application d'indicateurs existants ou l'engagement des parties prenantes.

Près de la moitié (45 %) des évaluations de vulnérabilité examinées étaient fondées sur l'engagement des parties prenantes ou l'ont utilisé à diverses fins, par exemple pour déterminer les éléments vulnérables d'un système ou d'un système dans son ensemble, pour déterminer les notes ou taux de vulnérabilité globale, ou pour contribuer à la portée ou à l'approche des études. Plus de la moitié de la documentation démontrait des méthodes uniques lors de l'évaluation de la vulnérabilité. Près des trois quarts de la documentation ont suggéré des mesures d'adaptation et des changements dans la gestion ou les politiques. Une méthode unique est définie comme étant indépendante de chacune des autres études et n'ayant pas été appliquée de manière répétée. Ces résultats laissent croire que les chercheurs découvrent encore de nouvelles façons d'étudier la vulnérabilité du bassin des Grands Lacs, et bien que certaines mesures d'adaptation soient en cours, d'autres sont nécessaires pour réduire l'ampleur des impacts climatiques. La portée géographique et l'emplacement des études sont diversifiés. Sur les 22 études examinées, une quantité égale de 10 études ont été menées aux États-Unis, 10 au Canada et deux études binationales (États-Unis et Canada) (figure 5).

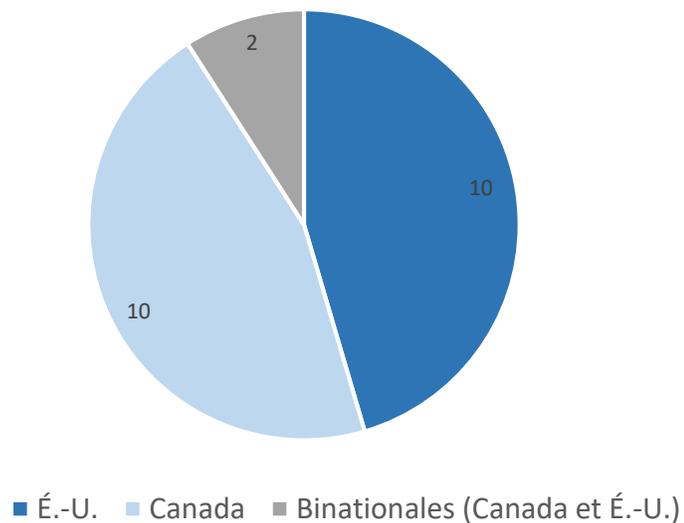
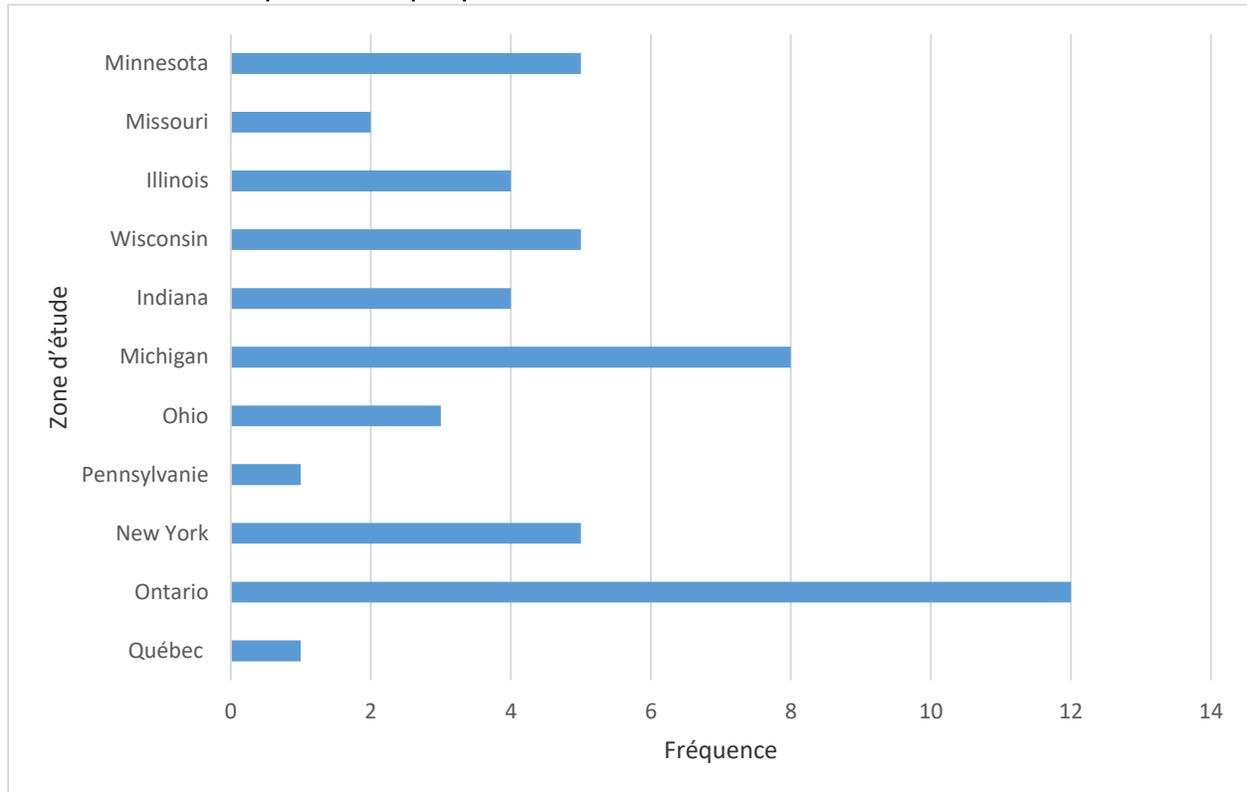


Figure 5 : Zones d'étude géographique par pays

Les études ont également été menées à l'échelle de la province et des États. La figure 6 montre le nombre d'études par État et par province.



*Figure 6 : Zones d'étude géographique par État (É.-U.) et province (Canada), d'ouest en est.*

Enfin, les échelles des plans d'eau varient considérablement; voir le tableau 2.

Tableau 2 : Échelles des écosystèmes par nom de projet

Nom du projet	Plan d'eau
Niveaux d'eau des Grands Lacs	Tous les Grands Lacs
Central Hardwoods ecosystem vulnerability assessment and synthesis	Eau souterraine du bassin des Grands Lacs
Assessment of suitable habitat for <i>Phragmites australis</i> in the Great Lakes coastal zone	Ensemble du bassin, lacs de la région supérieure (lac Supérieur, lac Michigan et lac Huron) et lacs de la région inférieure (lac Sainte-Claire, lac Érié, lac Ontario).
Ontario adaptive capacity and climate change assessment	Bassin des Grands Lacs et autres grands lacs et affluents de l'Ontario
CCVA for aquatic ecosystems in the Clay Belt of Northeastern Ontario	Zones humides, cours d'eau et écosystèmes lacustres dans la ceinture d'argile de la Clay Belt.
Great Lakes Basin inland aquatic ecosystems vulnerability assessment	Zones humides, cours d'eau et écosystèmes lacustres (lac Supérieur, lac Huron, lac Érié, lac Ontario et haut Saint-Laurent.)
Lake Simcoe and the wetlands and streams within the watershed	Zones humides et cours d'eau dans le bassin versant du lac Simcoe
Climate Change as a long-term stressor for the fisheries in the Great Lakes	Tous les Grands Lacs
Future proofing management strategies in the Lake Simcoe watershed	Black River, un affluent du lac Simcoe
Minnesota Ecological Limits of Hydrologic Alteration study	Les affluents du lac Supérieur du Minnesota (trois bassins versants : Knife, Baptism and Poplar)

Vulnerability assessment of 400 species of greatest conservation need and game species in Michigan	Lac Michigan
Michigan Tribal Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Planning	Tous les Grands Lacs touchant le Michigan (sauf le lac Ontario)
Climate Change Vulnerability Assessment of Natural Features in Michigan's Coastal Zone - Phase 1: Assessing Rare Plants and Animals	Zone côtière (lac Michigan)
Making of a Watershed-scale CCA Strategy	Lac Simcoe
Lake Simcoe Water Quality/Quantity VA	Bassin versant du lac Simcoe et 18 sous-bassins versants du lac Simcoe.
GL Coastal Wetland VA	Zones humides côtières du lac Ontario, du lac Érié et du lac Sainte-Claire.
Binational VA of migratory birds	Grands Lacs — Bassin versant du Saint-Laurent
Climate Change Adaptive Capacity Assessment - Agriculture and Hydrology - Lake Simcoe Watershed	18 sous-bassins versants du lac Simcoe
FishVis, Regional Vulnerability Assessment Decision Support Tool	Comprend 369 215 kilomètres (km) de cours d'eau, englobant une gamme de conditions thermiques et couvrant l'ensemble du bassin des Grands Lacs des États-Unis, une partie du bassin supérieur du Mississippi à l'ouest et une partie du bassin médio-atlantique à l'est.
Natural Systems Vulnerability to Climate Change in Peel Region	Lac Ontario
North Atlantic Coast Comprehensive Study: Resilient Adaptation to Increasing Risk	Océan Atlantique
Great Lakes Barrens CCVA	Lac Michigan et lac Supérieur

## 6.1 Approches et cadres communs

La plupart des évaluations de la vulnérabilité au changement climatique examinées ont suivi une approche descendante (p. ex. Chu, 2015, Chiotti et Lavender, 2008). Dans ces études descendantes, la recherche avait tendance à se concentrer sur les effets biophysiques du changement climatique qui peuvent être quantifiés, comme les niveaux d'eau, les nutriments et la disparition d'habitats et d'espèces.

Un certain nombre d'évaluations de la vulnérabilité examinées ont adopté un cadre d'adaptation à méthodes multiples pour évaluer la vulnérabilité des écosystèmes des Grands Lacs. Beaucoup ont mis en œuvre une approche intégrée et une variété d'outils et de méthodes pour recueillir de l'information sur les tendances climatiques historiques et projetées, y compris une combinaison d'examen de la documentation, d'enquêtes sur le terrain, de modélisation des espèces, d'indices de vulnérabilité, de modèles climatiques, de travaux sur le terrain, de cartes et de connaissances et d'expertise des intervenants (p. ex. Mortsch et coll. 2006). Par exemple, Lemieux et coll. (2014) ont appliqué une approche multiméthode pour évaluer les vulnérabilités des systèmes naturels et construits au changement climatique et élaborer des options d'adaptation à inclure dans une stratégie d'adaptation au changement climatique pour le bassin versant du lac Simcoe en Ontario, Canada (figure 8). Leur approche comprenait des ateliers, des rencontres individuelles et une enquête itérative Delphi pour aider à déterminer et à comprendre les vulnérabilités multisectorielles en matière de changement climatique dans le bassin versant, et réunir des experts et des décideurs en matière de changement climatique pour travailler ensemble sur un résultat stratégique proactif et fondé sur la science. Les scientifiques ont été invités à explorer les aspects « exposition » et « sensibilité » de la vulnérabilité en intégrant des combinaisons climat-modèle-scénario avec des données socioécologiques.

Le principal avantage du cadre utilisé dans Lemieux et coll. (2014) est qu'il est très transparent et peut solliciter des renseignements quantitatifs et qualitatifs pour appuyer l'élaboration des politiques, tout en étant assez souple pour tenir compte de la diversité des intérêts des divers intervenants. L'utilisation d'un cadre d'adaptation multiméthodes (c.-à-d. des ateliers, des évaluations scientifiques de la vulnérabilité et une enquête Delphi [encadré 2]) a produit une foule de recommandations pour aider à établir la stratégie d'adaptation aux changements climatiques du lac Simcoe (Lake Simcoe Climate Change Adaptation Strategy).

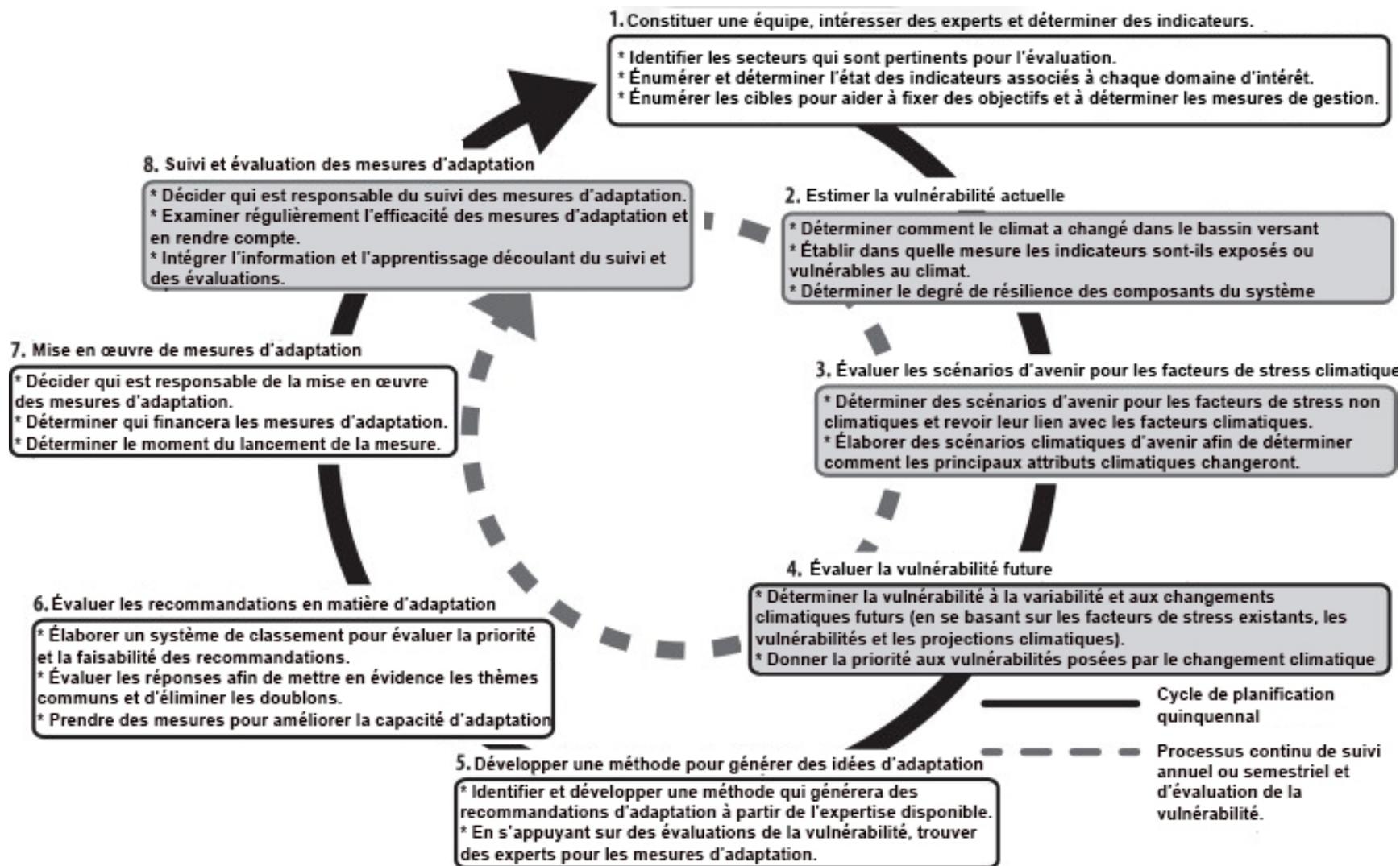


Figure 7 : Cadre d'adaptation utilisé pour expliquer l'élaboration du projet Lake Simcoe Climate Change Adaptation Strategy (Lemieux et coll. 2014)

### Encadré 1. Évaluations descendantes, ascendantes et intégrées de la vulnérabilité

Les évaluations de la vulnérabilité se distinguent généralement selon qu'elles suivent une approche « descendante » ou « ascendante » (Dessai et Hulme, 2004). Les évaluations descendantes de la vulnérabilité sont des outils explicites pour l'avenir et servent à établir des prédictions causales comme l'utilisation de modèles climatiques mondiaux et d'approches de réduction d'échelle comme intrants dans les modèles biophysiques, ce qui pourrait aider à prédire les impacts et les vulnérabilités pour mettre en lumière l'adaptation au changement climatique.

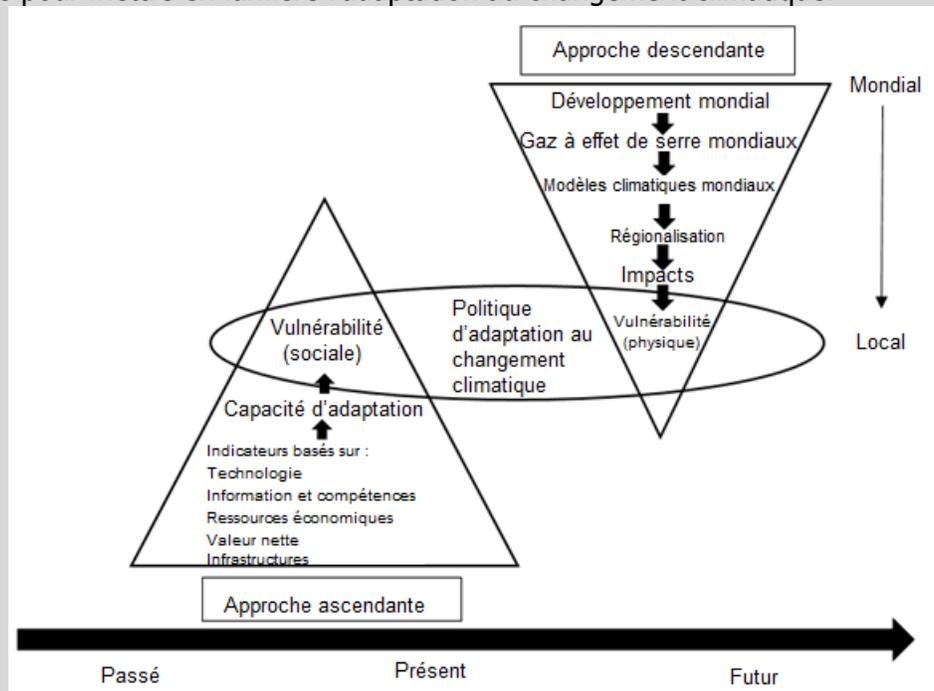


Figure 7 : Approches descendantes et ascendantes dans les évaluations de la vulnérabilité et la politique d'adaptation au changement climatique (recréé à partir de Dessai et Hulme, 2004)

Les évaluations ascendantes de la vulnérabilité mettent l'accent sur le bien-être social et économique en se concentrant sur les conditions passées et présentes afin de favoriser la compréhension des vulnérabilités, ainsi que sur les mesures d'adaptation futures. Les approches ascendantes utilisent des analyses de scénarios ou des processus de visualisation avec les parties prenantes et les utilisateurs finaux concernés pour déterminer et comprendre les vulnérabilités sociales. Les résultats peuvent ensuite être employés pour établir les meilleures opportunités d'adaptation au changement climatique. Il est important de noter que ces approches sont complémentaires, chacune fournissant des informations et des perspectives utiles de la vulnérabilité au changement climatique.

Une évaluation intégrée de la vulnérabilité réunit, en tout ou en partie, les aspects des deux approches pour créer une vision plus holistique de la vulnérabilité qui se concentre à la fois sur les impacts futurs sur l'environnement, mais aussi sur les préoccupations sociales et économiques. Étant donné que les évaluations de vulnérabilité descendantes et ascendantes comprennent de nombreuses variables différentes, les approches intégrées peuvent être menées de différentes façons.

## **Encadré 2. Utilisation de la technique Delphi pour développer des options d'adaptation**

**Lemieux, C.J., P.A. Gray, A.G. Douglas, G. Nielsen, D. Pearson. 2014. From science to policy: The making of a watershed-scale climate change adaptation strategy. *Environmental Science & Policy*, 42: 123-137.**

La technique Delphi est une méthode largement employée et acceptée pour recueillir des données auprès des répondants dans leur domaine d'expertise (Hsu et Sandford, 2007). Cette technique comprend une série de questionnaires afin d'amasser des données auprès d'un panel de sujets sélectionnés et parvenir à un consensus. Contrairement à d'autres techniques de collecte et d'analyse de données, la procédure Delphi utilise des récurrences multiples conçues pour développer un consensus sur un sujet précis. Elle est itérative et permet aux individus de réagir de façon anonyme, contribuant ainsi à faire avancer des idées novatrices et transformationnelles qui sont souvent nécessaires, mais difficiles à obtenir dans le domaine de l'adaptation au changement climatique.

Lemieux et coll. (2014) ont employé cette méthode pour produire et peaufiner une liste d'options d'adaptation qui a finalement servi à favoriser l'élaboration d'une stratégie d'adaptation pour le bassin versant du lac Simcoe en Ontario, au Canada. Un sondage contenant 11 questions organisées en sept catégories générales de gestion a été remis à un groupe d'experts. Les idées générées lors des ateliers en petits groupes et par le biais d'un moteur de sondage en ligne ont été employées pour identifier les options d'adaptation.

Exemples de questions ouvertes posées à un groupe d'experts lors de la première série d'une enquête Delphi. Les résultats ont été utilisés pour solliciter des options d'adaptation au changement climatique (catégorie) :

- Quels obstacles à l'adaptation peuvent être éliminés en modifiant la législation ou les politiques existantes à n'importe quel niveau de gouvernement? Si possible, veuillez mentionner la loi ou la politique, l'obstacle et les mesures recommandées? (Législation et politique.)
- Quelles mesures pourraient aider à atténuer les impacts et à saisir les occasions associées aux changements climatiques potentiels dans les écosystèmes naturels et l'environnement bâti? (Gestion et opérations.)

Pour la deuxième partie de l'enquête Delphi, une échelle de type Likert a été utilisée pour exprimer un jugement sur la priorité perçue et la faisabilité de chaque option d'adaptation. Sur la base d'un examen et d'un classement par ordre de priorité de 85 options établies par les participants à l'atelier, l'équipe de planification a rédigé une série finale de 30 options pour aider à l'élaboration de la stratégie d'adaptation au changement climatique. Les 30 options d'adaptation ont été réorganisées et classées par ordre de priorité en quatre thèmes, sur la base des évaluations par des groupes d'experts de la priorité perçue de l'option d'adaptation : (1) mobiliser les gens, (2) réduire les menaces, (3) améliorer la capacité d'adaptation et (4) améliorer les connaissances.

Dans l'ensemble, Lemieux et coll. (2014) considèrent que le processus Delphi itératif est important pour mobiliser l'expertise, pour partager sans contraintes des idées sur les effets du changement climatique et pour identifier et évaluer les options d'adaptation qui appuient la prise de décisions complexes.

## Gestion adaptative

La gestion adaptative est un processus axé sur l'apprentissage qui incorpore la flexibilité et aide ainsi les décideurs à gérer l'incertitude (Gleeson et coll. 2011). Chu et Fischer (2012) ont reconnu les principes de la gestion adaptative dans leur étude lesquels ont servi à fixer des indicateurs de vulnérabilité pour les écosystèmes des zones humides, des cours d'eau et les écosystèmes lacustres dans la ceinture d'argile de la Clay Belt (une vaste étendue de sol fertile comprise entre le district de Cochrane et la région administrative d'Abitibi au Québec). Ces indicateurs peuvent être utilisés pour quantifier la sensibilité de chaque système au changement climatique, élaborer des options d'adaptation et définir un processus de planification stratégique adaptative (figure 9).

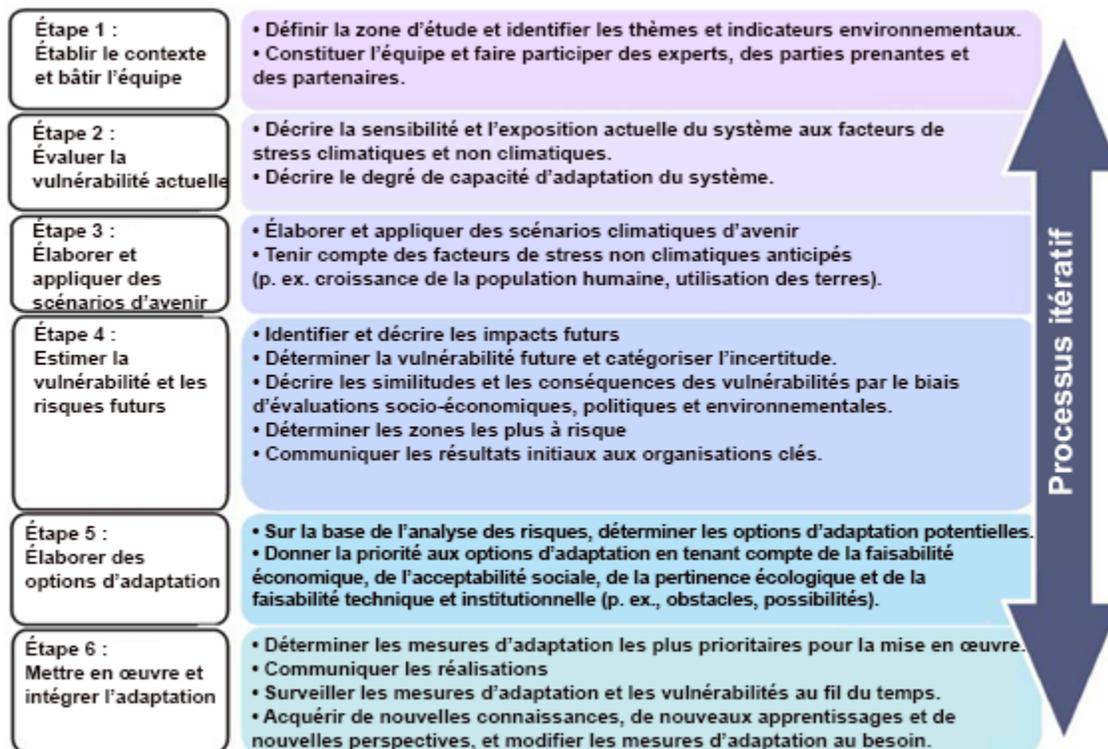


Figure 8 : Cadre conceptuel pouvant être utilisé par des organismes pour déterminer la préparation organisationnelle à l'adaptation aux changements climatiques, effectuer des analyses de vulnérabilité et élaborer, mettre en œuvre, surveiller et ajuster les options d'adaptation au besoin (Source : Gleeson et coll. 2010)

La méthodologie globale de Tu et coll. (2017) a également suivi une approche de gestion adaptative (voir Figure 10), qui était itérative et basée sur des données probantes. La méthodologie était fondée sur les directives provinciales pour la réalisation d'évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques d'après une approche écosystémique.

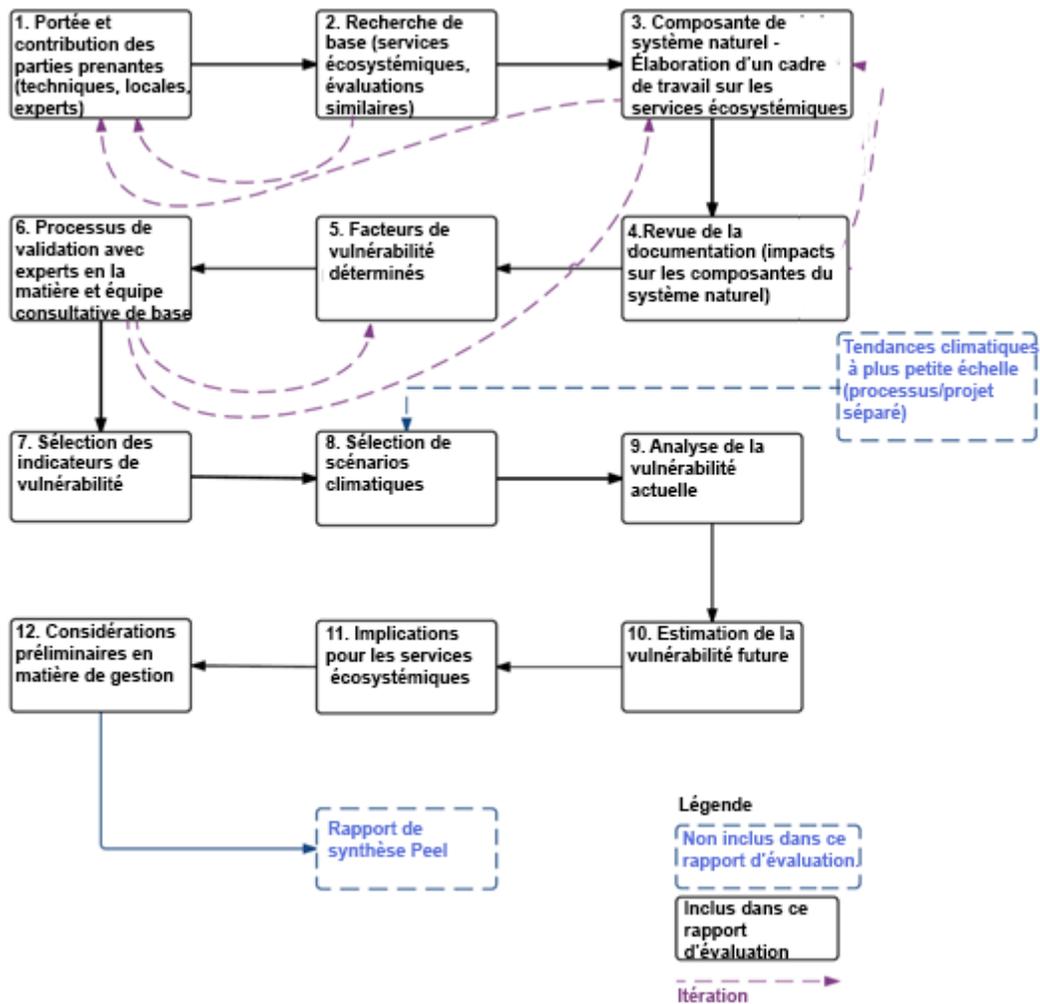


Figure 9 : Approche méthodologique globale utilisée dans Tu et coll. (2017) pour évaluer les impacts du changement climatique sur les systèmes naturels dans la région de Peel.

## 6.2 Thèmes

Les 12 thèmes décrits à la section 5.3 ont été reliés aux 22 documents examinés. Vingt des vingt-deux études se sont concentrées sur plus d'un thème pour leurs évaluations de vulnérabilité, à l'exception de Stewart et coll. (2016) (habitats et espèces seulement) et Rempel et Hornseth, (2017) (habitats et espèces seulement). Dix-neuf des vingt-deux rapports examinés ont exploré la vulnérabilité des habitats et des espèces, tandis que le thème le moins ciblé était les produits chimiques toxiques dans trois études seulement (Tu et coll. 2017, Crossman et coll. 2017, et Carlson Mazur et coll. 2014). Un examen de la fréquence de tous les thèmes est présenté à la figure 11.

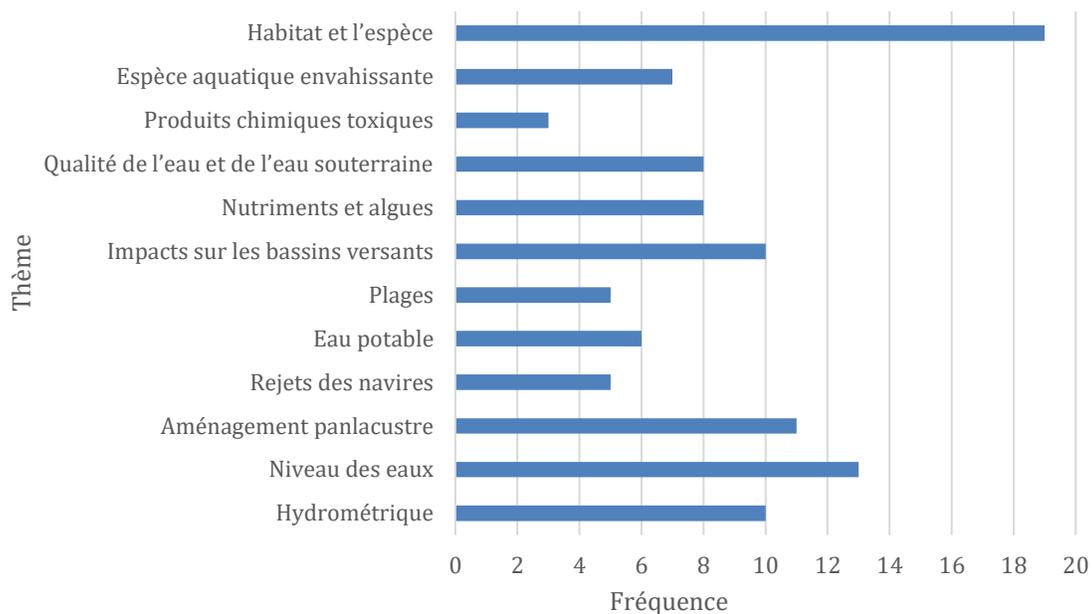


Figure 10 : Fréquence des thèmes abordés dans la documentation

Une liste complète des thèmes abordés dans la documentation se trouve à l'annexe E.

## 6.3 Outils et méthodes

Les études ont utilisé un large éventail d'outils et de méthodes pour effectuer leurs évaluations de vulnérabilité. Cette section les explore plus en détail en évaluant les indicateurs utilisés, les indices de vulnérabilité, les données et modèles climatiques, d'autres données et modèles (p. ex. modèles d'habitat) et l'engagement des parties prenantes.

### 6.3.1 Indicateurs

Plusieurs études sur l'évaluation de la vulnérabilité des Grands Lacs ont élaboré un ensemble d'indicateurs et sous-indicateurs ou proposé l'utilisation d'indicateurs écologiques pour mesurer les conditions actuelles et les changements futurs dans le système hydrologique. Par exemple, Richard et Douglas (2014) ont créé une liste de 85 indicateurs potentiels de la capacité d'adaptation pour les secteurs de l'agriculture et de l'hydrologie, et cette liste a été réorganisée en consultant le personnel du ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO), du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO) et d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). De plus, la disponibilité des données a fait l'objet de discussions avec le MAAARO, l'AAC, Statistique Canada, l'Université Laurentienne et le Lake Simcoe Region Conservation Authority.

Chu et Fisher (2012) ont utilisé cinq indicateurs pour mesurer les effets potentiels du changement climatique sur les écosystèmes des zones humides, des cours d'eau et des écosystèmes lacustres de la Clay Belt. L'achigan à petite bouche a été choisi comme espèce

indicatrice en raison de son expansion vers le nord en Ontario et de son effet négatif sur les communautés de poissons résidentes après la colonisation. Le doré jaune a également été choisi parce qu'il s'agit de l'une des ressources halieutiques les plus importantes de la Clay Belt et que les changements dans leur habitat et leur productivité peuvent avoir des conséquences socioéconomiques importantes.

L'approche employée dans MacRitchie et Stainsby (2010) était semblable à celle utilisée par la Lake Simcoe Region Conservation Authority (LSRCA) dans le Watershed Report Card, où des indicateurs ont été utilisés pour représenter un certain nombre de paramètres couramment surveillés qui indiquent des changements dans l'environnement (tableau 3). Dans MacRitchie et Stainsby (2010), neuf indicateurs de qualité et de quantité d'eau ont été déterminés pour évaluer la sensibilité aux changements du cycle hydrologique des 18 sous-bassins hydrographiques du lac Simcoe. Les neuf indicateurs (tableau 3) ont été établis grâce à l'examen d'un recueil de rapports préparé par le Lake Simcoe Science Advisory Committee (2008).

*Tableau 3 : Indicateurs utilisés pour l'évaluation de la sensibilité actuelle de 18 sous-bassins versants du lac Simcoe (reproduit de MacRitchie et Stainsby, 2010).*

<b>Indicateur hydrométrique</b>	<b>Description de l'indicateur</b>
Utilisation et disponibilité de l'eau	Rapport entre les prélèvements d'eau de surface et souterraine et le régime hydraulique annuel moyen.
Indice de débit de base	Rapport entre le débit de base et le régime hydraulique annuel moyen.
Couverture des zones humides	Pourcentage de la superficie occupée par les zones humides dans chaque sous-bassin versant.
Vulnérabilité des eaux souterraines	Pourcentage des zones de vulnérabilité élevées, moyennes et faibles des eaux souterraines dans chaque sous-bassin versant.
Couverture forestière	Pourcentage de la superficie occupée par la forêt et les régions boisées dans chaque sous-bassin versant.
Charge en polluants phosphorés	Flux de masse annuel de phosphore (P) provenant du sous-bassin versant.
Variabilité du régime hydraulique	Rapport entre l'écart-type du régime hydraulique annuel et le régime hydraulique annuel moyen.
Zone de plaine inondable	Pourcentage de la superficie occupée par la plaine inondable.
Dérivation des eaux usées	Volume de dérivation des eaux usées primaires et secondaires.

Dans l'ensemble, 16 études ont mis en application l'utilisation d'indicateurs écologiques ou socioécologiques pour quantifier la vulnérabilité.

### **6.3.2 Indices de vulnérabilité**

Les approches spécifiquement conçues pour mesurer la vulnérabilité des ressources en eau comprennent le Water Resources Vulnerability Index (WRVI) à l'échelle mondiale (Raskin et coll., 1997), l'Index of Watershed Indicators (IWI; EPA 2002), l'indicateur de la vulnérabilité régionale des ressources en eau au changement climatique dans les États-Unis contigus et le modèle de réponse hydrologique pour l'utilisation des terres et le changement climatique en Afrique australe. Bien que ces approches aident à résoudre les effets couplés des perturbations à l'échelle mondiale (et régionale) et qu'elles aient permis d'identifier les zones hydrologiquement sensibles aux échelles régionales intermédiaires, elles ne fournissent souvent pas la représentation à petite échelle dans l'étendue du bassin versant où les gestionnaires locaux opèrent quotidiennement (Alessa et coll. 2008). L'Indice canadien de la durabilité des ressources hydriques (ICDRH) fournit une contrepartie à plus petite échelle au niveau local en appliquant un Indice de pauvreté en eau pour évaluer le bien-être des collectivités canadiennes en ce qui concerne l'eau douce, mais il ne se concentre pas spécifiquement sur la vulnérabilité, mettant l'accent sur la durabilité des zones agricoles du sud et du centre du Canada (PRI, 2007).

En général, les approches utilisées pour quantifier la vulnérabilité différaient d'un document à l'autre et tenaient compte du cas par cas lorsqu'il s'agit de définir la vulnérabilité. Le tableau 4 donne un aperçu des différentes approches des 18 des 22 études qui ont fourni des scores de vulnérabilité et qui illustraient un éventail des approches disponibles pour l'évaluer. Les dimensions de la vulnérabilité (c'est-à-dire la sensibilité, l'exposition, la capacité d'adaptation) peuvent être mesurées quantitativement (de haut en bas) ou caractérisées qualitativement (de bas en haut). Par exemple, Stewart et coll. (2016) ont chiffré la vulnérabilité des espèces de poissons lotiques aux États-Unis en calculant les scores de vulnérabilité (perte d'espèces) et d'opportunité (gain d'espèces) pour tous les cours d'eau en évaluant les changements dans la présence des espèces de poissons depuis les conditions climatiques actuelles jusqu'aux conditions climatiques futures. Inversement, l'Inter-Tribal Council of Michigan Inc. (2016) a consulté neuf tribus reconnues par le gouvernement fédéral dans l'État du Michigan afin d'identifier les ressources naturelles et les infrastructures importantes dans les réserves et les territoires cédés par traité pouvant être vulnérables aux changements climatiques prévus. Les membres tribaux ont attribué une cote d'extrêmement vulnérable, très vulnérable, modérément vulnérable et moins vulnérable pour les espèces individuelles, les systèmes d'eau douce complets, l'infrastructure et les pratiques culturelles.

Tableau 4 : Indices de vulnérabilité et notation utilisés pour les évaluations dans le bassin des Grands Lacs.

Études	Indices utilisés	Processus
Mortsch et coll. 2006	Élaboration d'un indice de vulnérabilité hydrologique (HVI)	Comparaison de la vulnérabilité des plantes des zones humides côtières aux changements hydrologiques induits par le climat.
Chu, 2015	Indice de vulnérabilité hydrologique de Mortsch et coll. (2006)	Utilisation du HVI pour classer la vulnérabilité des espèces d'oiseaux dépendant des zones humides.
MacRitchie et Stainsby, 2010	Calculs suggérés à l'aide de la formule de Fonataine et Steiner mann, 2009 :  Vulnérabilité = $\frac{\text{exposition} + \text{sensibilité}}{\text{Capacité d'adaptation}}$	Un score de vulnérabilité n'a pas été calculé, mais une suggestion sur la façon de le faire a été fournie.
Richard et Douglas, 2014	Calculé à l'aide de la formule de Fonataine et Steiner mann, 2009 :  Vulnérabilité = $\frac{\text{exposition} + \text{sensibilité}}{\text{Capacité d'adaptation}}$	La capacité d'adaptation a été évaluée comme étant élevée, moyenne et faible, avec des valeurs de 3, 2 et 1, respectivement. La vulnérabilité de l'agriculture a été évaluée comme suit : faible vulnérabilité (0-3), vulnérabilité modérée (4-6) et vulnérabilité élevée (7-9). La vulnérabilité pour l'hydrologie a été évaluée comme suit : faible vulnérabilité (13-15), vulnérabilité modérée (16-18) et vulnérabilité élevée (19-21).
Herb et coll. 2016	Threshold Indicator Taxon Analysis (TITAN)	TITAN a été utilisé pour déterminer les seuils de communauté de poissons et d'invertébrés.
Stewart et coll. 2016	Calculé en évaluant le changement entre la présence des espèces de poissons d'aujourd'hui et les conditions climatiques projetées.	Vulnérabilité = perte d'espèces Opportunité = gain d'espèces
Lee et coll. 2011	Climate Change Vulnerability Index (CCVI) de NaturServe (indice de vulnérabilité aux changements climatiques)	Les vulnérabilités étaient recensées comme suit : extrêmement vulnérables (extrêmement susceptibles de diminuer considérablement ou de disparaître d'ici 2050), très vulnérables (susceptibles de diminuer considérablement d'ici 2050), modérément vulnérables (susceptibles de diminuer d'ici 2050), non vulnérables/présumées stables (les données probantes ne montrent pas de changement d'ici 2050), non vulnérables/augmentation probable (susceptible d'augmenter d'ici 2050), ou preuves insuffisantes (information = inadéquat pour calculer).

Hoving et coll. 2013	Climate Change Vulnerability Index (CCVI) de NaturServe (indice de vulnérabilité aux changements climatiques)	Même processus que celui de Lee et coll. 2011
Inter-Tribal Council of Michigan Inc. 2016	Évaluations participatives de la vulnérabilité au changement climatique. Calculé en fonction du stress climatique (température et teneur en eau), de l'exposition indirecte au climat, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation.	Les participants ont attribué une cote extrêmement, très, modérément ou moins vulnérable.
Rempel et Hornseth, 2017	Climate Change Vulnerability Index (CCVI) de NaturServe combiné à un modèle de distribution des espèces (SDM), si disponible. Climate Change Exposure Index (CCEI)	Même processus que celui de Lee et coll. 2011. Si la SDM était fournie, une combinaison des résultats de la section exposition/sensibilité/capacité d'adaptation et de la section modélisation est utilisée. La gravité de l'exposition aux changements climatiques dans les zones d'hivernage a été estimée à l'aide du CCEI.
Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts, 2017	Discussion de groupe	Les panélistes ont évalué l'intersection des impacts potentiels du changement climatique et de la capacité d'adaptation de chaque type de communauté afin d'établir des cotes de vulnérabilité. Les panélistes ont classé les impacts ainsi que les facteurs de capacité d'adaptation.
Le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis, 2015	Basé sur la capacité d'adaptation, l'exposition, la fréquence des tempêtes, l'étendue et les impacts des inondations prévues, la planification et les politiques d'évacuation.	Les indicateurs ont été pondérés différemment et ont contribué à déterminer la vulnérabilité globale des côtes évaluée à risque élevé, modéré et faible.
Chu et Fischer, 2012	Basé sur l'augmentation de l'évapotranspiration causée par des températures plus chaudes, la perte en eau associée à une diminution des précipitations et l'apport d'eau souterraine.	La vulnérabilité a été définie comme étant la dégradation de la qualité ou la perte de la superficie des zones humides en raison de l'assèchement qui peut résulter d'une évapotranspiration accrue à des températures de l'air plus chaudes, d'une perte en eau associée à une diminution des précipitations ou d'un apport d'eau souterraine.
Chu, 2011	Indicateur de vulnérabilité des zones humides	Classement de la vulnérabilité des zones humides en lien avec les augmentations prévues de la température de l'air et les diminutions des précipitations et des apports d'eau souterraine en fonction des bases de projection selon le scénario A2 du MCG2.
Brandt et coll. 2013	Discussion de groupe associée à des données empiriques et des projections	La vulnérabilité a été classée de faible à élevée, et les communautés ont été évaluées en fonction des impacts potentiels, de la capacité d'adaptation, de la vulnérabilité, des

		données probantes et d'un accord (entre 20 membres du panel).
Tu et coll. 2017	Basé sur des facteurs physiques : rapport hauteur à longueur, entretien des aquifères, degré de connectivité, couvert forestier urbain, couvert précédent, profondeur et force d'enracinement, topographie et pente, transfert d'eau et assimilation des eaux usées, qualité du sol, couverture de glace, couverture de neige; facteurs chimiques comme la disponibilité des nutriments et la chimie de l'eau; facteurs de réponse biologique comme la diversité des espèces, l'éventail des communautés, la variation des débits, le gradient ou régime thermique.	La vulnérabilité était évaluée comme étant élevée, modérée ou faible en fonction des conditions qui, selon le CAT, rendaient le service écosystémique vulnérable.
Carlson Mazur et coll. 2014	Basé sur des projections de l'adéquation de l'environnement pour les <i>Phragmites</i> en 2050.	Les zones de vulnérabilité ont été classées comme suit : les plus appropriées, plus appropriées, appropriées, inappropriées, plus inappropriées ou les plus inappropriées.
Lemieux et coll. 2014		Des savoirs d'experts ont également été obtenus pour déterminer la vulnérabilité des systèmes naturels et construits au changement climatique dans le lac Simcoe. Ici, les experts ont évalué la vulnérabilité en identifiant les effets connus et potentiels (c'est-à-dire l'exposition et la sensibilité des systèmes socioécologiques au changement climatique) et en évaluant la capacité d'adaptation de ces systèmes.

Ce ne sont pas toutes les évaluations qui ont permis de quantifier l'exposition, la sensibilité ou la capacité d'adaptation. Elles employaient plutôt des méthodes pour estimer uniquement les impacts potentiels futurs (p. ex. Angel et Kunkel, 2010).

Dans l'ensemble, une variété d'outils (encadré 3) et d'approches (encadré 4) peuvent être utilisés dans les évaluations de vulnérabilité. Le choix de l'approche dépend des connaissances et des données disponibles, des compétences techniques, de la capacité, incluant les personnes, le temps et l'argent, et de l'information requise par les décideurs dans une situation particulière (Nelitz et coll. 2013).

### **Encadré 3. Utilisation du Climate Change Vulnerability Index (CCVI) de NatureServe dans les évaluations de vulnérabilité**

Le Climate Change Vulnerability Index (CCVI) de NatureServe a été utilisé dans trois études (Lee, Y. et coll. 2011, Hoving et coll. 2013, et Rempel et Hornseth, 2017) pour quantifier la vulnérabilité des espèces végétales ou animales au changement climatique. L'indice calcule la vulnérabilité en combinant l'information sur l'exposition et la sensibilité pour produire une somme numérique, qui est ensuite convertie en une cote déterminée (extrêmement vulnérable, très vulnérable, modérément vulnérable, moins vulnérable et preuves insuffisantes) basée sur des valeurs de seuil. Par exemple, Rempel et Hornseth (2017) ont utilisé la version 3.01 du CCVI de NatureServe pour évaluer la vulnérabilité de trois espèces d'oiseaux migrateurs qui ont des aires de reproduction dans le bassin des Grands Lacs. Le CCVI a examiné i) l'exposition de l'espèce au changement climatique dans l'aire de reproduction, ii) l'exposition climatique indirecte résultant des réactions humaines au changement climatique, iii) la sensibilité à l'exposition climatique et la capacité d'adaptation, iv) un indice d'exposition pour les zones d'hivernage, v) les changements de distribution modélisés (ou changements dans l'enveloppe climatique) prévus dans des scénarios de changement climatique déterminé, et vi) les réponses documentées (évaluation par les pairs) au changement climatique.

### **Encadré 4. Utilisation d'une approche multiméthodes pour quantifier la vulnérabilité**

Le processus utilisé pour déterminer la vulnérabilité par la Wisconsin Initiative on Change Impacts (2017) combinait de la documentation publiée, des modèles de distribution du climat et des espèces, et un groupe d'experts pour évaluer les impacts climatiques potentiels, la capacité d'adaptation inhérente et la vulnérabilité globale de la communauté naturelle de Great Lakes Barrens au Wisconsin. Le processus suit de près les méthodes élaborées, testées et largement utilisées par la Northern Research Station pour la Forest Ecosystem Vulnerability Assessments de l'USDA Forest Service dans les forêts de la région des Grands Lacs ainsi que par les régions de Central Hardwoods et Central Appalachian (p. ex. Janowiak et coll., 2014).

#### **Détermination de la vulnérabilité globale**

Après de longues discussions de groupe en atelier, chaque membre du groupe d'experts a évalué l'intersection des impacts potentiels et de la capacité d'adaptation de la communauté naturelle pour arriver à une cote de vulnérabilité. Le panel a évalué les impacts en considérant une gamme de climats futurs déployés en deux scénarios : un scénario de faible changement (PCM B1) et un scénario de changement élevé (GFDL A1FI). On a remis aux

participants des feuilles de travail individuelles et on leur a demandé d'énumérer les impacts qui, selon eux, étaient les plus majeurs pour cette communauté, en plus des principaux facteurs qui contribueraient à la capacité d'adaptation de la communauté. On a demandé aux panélistes de noter leur cote dans un espace bidimensionnel sur la feuille de travail individuelle et sur une grande affiche de groupe (figure 12).

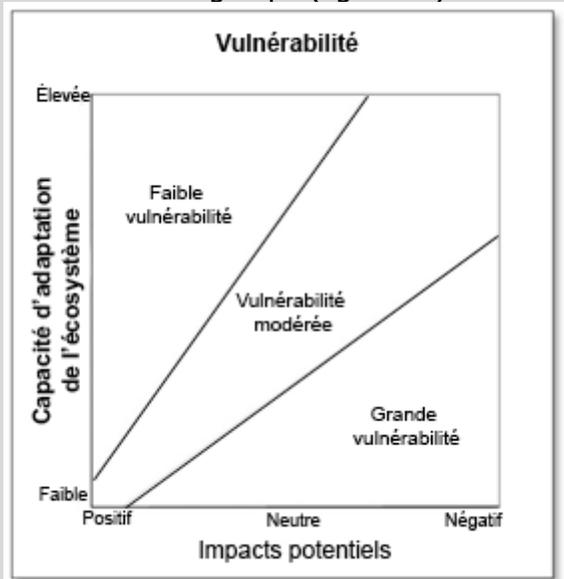


Figure 11 : Feuille de travail sur la détermination de la vulnérabilité, la vulnérabilité étant déterminée par l'intersection des impacts potentiels et de la capacité d'adaptation, d'après Swanston et Janowiak (2012).

La feuille de calcul sur la vulnérabilité exigeait que les participants évaluent le degré d'impacts potentiels liés au changement climatique ainsi que la capacité d'adaptation du système à ces impacts.

Les participants ont réparti l'incertitude liée aux deux scénarios climatiques en notant séparément la vulnérabilité dans le scénario de changement faible et le scénario de changement élevé. Les cotes individuelles ont été comparées, discutées et utilisées pour arriver à une détermination consensuelle pour chacun des deux scénarios climatiques. Enfin, les panélistes ont également été invités à attribuer une cote de confiance à chacune de leurs déterminations individuelles de vulnérabilité. On leur a demandé d'estimer le nombre de preuves qu'ils croyaient disponibles pour appuyer leur détermination de la vulnérabilité et le niveau d'accord parmi les preuves à leur disposition. Les membres du groupe ont évalué la confiance individuellement et en tant que groupe, d'une manière semblable à celle utilisée pour la détermination de la vulnérabilité.

### 6.3.3 Données et projections climatiques

La mise à disposition de conditions d'observation et de conditions climatiques futures constituait une composante essentielle des 22 études examinées. Dans l'ensemble, les données issues des observations et des enregistrements statistiques se sont révélées importantes pour comprendre les tendances actuelles et les processus clés au sein des écosystèmes. L'information climatique historique et de base a servi de fondement à la recherche sur les impacts climatiques, et a été

utilisée à des fins bien précises (p. ex. comme référence pour les projections climatiques futures, étalonnage et validation des modèles et évaluation des impacts et des tendances historiques). La majorité des études ont été menées sur des périodes de 30 ans, ce qui est conforme aux directives de l'OMM en matière d'analyse climatologique.

La caractérisation des conditions futures à l'aide de la modélisation climatique était également essentielle à l'évaluation des impacts et à la planification de l'adaptation. Les modèles climatiques mondiaux (MCM) sont des représentations du climat basées sur des propriétés biologiques, chimiques et physiques, et sont largement considérés comme les meilleurs et les plus fiables pour prévoir les conditions futures (Picketts et coll., 2012; GIEC, 2014). Il reste une certaine incertitude quant à la façon dont le climat changera à l'échelle régionale (Giorgi et Francisco, 2000) et quant à la façon dont cela influencera l'hydrologie locale et la qualité de l'eau. Bien que les modèles climatiques ne fournissent pas une certitude complète des conditions futures, ils sont un moyen de comparer les conditions passées à l'état actuel et futur du climat, ce qui aide les praticiens à encourager les discussions et les décisions stratégiques sur les climats futurs potentiels, les cibles et les réponses adaptatives (Moss et coll., 2010). Les scénarios des modèles climatiques ont donc été choisis comme meilleur outil disponible pour obtenir ces informations (Bates et coll., 2008, Kundzewicz et coll., 2007, Whitehead et coll., 2009). Lorsqu'ils s'appuient sur des informations climatiques futures, les auteurs de la recherche doivent faire un choix parmi une gamme de scénarios d'émissions, de modèles climatiques mondiaux, de techniques de réduction d'échelle spatiale et temporelle et de désagrégation (McDermid et coll. 2015). Par exemple, Herb et coll. ont utilisé une série de modèles dont celui du programme de simulation hydrologique (HSPF), les modèles de changement climatique mondial (MCM), LANDIS (un modèle de simulation de paysage forestier), ainsi que des modèles statistiques pour projeter les changements climatiques de 2061 à 2080, ainsi que les changements de la couverture terrestre de 2050 à 2150.

#### **Encadré 5. Utiliser une approche « instantanée » pour estimer le changement climatique futur.**

**Crossman, J., M.N. Futter, S.K. Oni, P.G. Whitehead, L. Jin, D. Butterfield, H.M. Baulch et P.J. Dillon. 2013. Impacts of climate change on hydrology and water quality: future proofing management strategies in the Lake Simcoe watershed, Canada. *Journal of Great Lakes Research*, 39(1), 19-32.**

Les changements climatiques futurs sont souvent exprimés sous forme de changements entre les horizons temporels futurs et une période de référence (ou de base). Des exemples d'horizons temporels futurs sont l'horizon 2050, qui correspond à la période de 2041 à 2070 et l'horizon 2080, qui correspond aux années 2071 à 2100. Les horizons futurs et les périodes de référence utilisés dans les études sont des périodes de 30 ans. Cependant, dans Crossman et coll. (2013), des périodes futures à long terme (2071-2100) et des périodes « instantanées » plus courtes de 9 ans ont été sélectionnées pour l'étude (2021-2029, 2031-2039, 2061-2069 et 2091-2099) (Figure 13).

Périodes de temps	Date	Températures annuelles médianes (°C)		Variation absolue (°C)		Précipitations annuelles médianes (mm)		% changement	
		A1b	A2	A1B	A2	A1B	A2	A1B	A2
Référence	2001-2009	7,95	6,68	s.o.	s.o.	913,37	916,47	s.o.	s.o.
Court terme	2021-2029	8,04	6,74	0,09	0,06	858,35	882,71	-6,02	-3,68
	2031-2039	8,21	7,30	0,26	0,62	877,05	875,53	-3,98	-4,47
	2061-2069	10,57	8,29	2,62	1,61	1014,24	885,18	11,04	-3,41
	2091-2099	11,66	9,14	3,71	2,46	893,27	939,91	-2,20	2,56
Long terme	2071-2100	9,86	9,08	1,91	2,4	888,97	970,51	-2,67	5,90

*Figure 12 : Valeurs moyennes annuelles et variations en pourcentage de la température et des précipitations par rapport aux périodes climatiques futures à court et à long terme, pour les scénarios A1b et A2 du GIEC (Crossman et coll. 2013).*

L'approche « instantanée » peut être particulièrement utile pour la recherche en aidant les gestionnaires des ressources en eau. La recherche de Crossman et coll. (2013), par exemple, a été déployée pour appuyer la Lake Simcoe Regional Conservation Authority (LSRCA) dans la gestion du lac Simcoe dans l'avenir. Dans cette étude, les données des scénarios pilotés par le MCGG3 (A1b et A2) ont été réduites à l'aide d'un modèle statistique de réduction d'échelle (SDSM4.2), afin de procurer des données régionales représentatives de température et des précipitations pour le bassin versant Simcoe. Les périodes climatiques « instantanées » soutiennent la prise de décisions pour les 10 à 20 prochaines années et fournissent donc une analyse de l'efficacité future des stratégies de gestion de la Black River et du lac Simcoe qui faisait l'objet de cette étude de recherche.

Certaines études ont utilisé les projections climatiques comme données d'entrée dans les modèles hydrologiques ou les modèles de distribution des espèces. Par exemple, dans MacRitchie et Stainsby (2010), les projections mensuelles de température et de précipitations provenant de 10 modèles climatiques pour la période 2071-2100 ont été utilisées comme données d'entrée dans un modèle simple de bilan hydrique pour déterminer les impacts potentiels sur le cycle hydrologique dans le bassin versant du lac Simcoe. Dans Brandt et coll. (2013), des données climatiques à échelle réduite ont été incorporées dans des modèles hydrologiques afin de mieux comprendre les impacts sur des variables telles que l'humidité du sol, l'évapotranspiration et l'écoulement fluvial. Elles ont également été incluses dans les modèles de distribution des espèces forestières et les modèles de processus. Pour estimer les niveaux futurs possibles des Grands Lacs issus des changements climatiques, Angel et Kunkel (2010) ont appliqué les résultats de 565 simulations de 23 modèles climatiques mondiaux à un modèle réduit de lac mis au point par le Great Lakes Environmental Research Laboratory (GLERL) appelé Advanced Hydrologic Prediction System (AHPS). Comme données d'entrée dans le modèle AHPS du GLERL, les fonctions de changement ont été calculées pour chacune des

565 simulations MCM pour tous les points de grille près du bassin. Ces fonctions de changement ont été introduites dans le modèle GLERL pour calculer les niveaux d'eau prévus dans chacune des trois périodes futures (2005-2034, 2035-2064 et 2065-2094)<sup>1</sup>. Lemieux et coll. (2014) ont fait référence aux données existantes et aux rapports et publications où les scientifiques ont employé ou référencé une variété de combinaisons de modèles climatiques et de scénarios pour compléter les évaluations de vulnérabilité.

### 6.3.4 Données et autres modèles

Des approches fondées sur les systèmes d'information géographique (SIG) et sur le logiciel ArcGIS ont été utilisées dans six études pour modéliser les habitats ou la réponse des espèces au changement. Dans Mortsch et coll. (2006), des photographies aériennes historiques et des cartes des zones humides ont été employées pour interpréter l'évolution de la couverture végétale des zones humides au fil du temps (Figure 14). L'analyse des photographies aériennes et les relevés réalisés sur le terrain pour appuyer l'étude actuelle Lac Ontario et fleuve Saint-Laurent (LOFSL) de la CMI ont largement contribué à concevoir la relation entre les fluctuations du niveau d'eau du lac Ontario et les communautés de plantes, d'oiseaux et de poissons des zones humides. Chu (2015) a utilisé le logiciel d'analyse spatiale ArcGIS pour comprendre la façon dont les transformations dans les zones humides causées par le changement climatique peuvent influencer la disponibilité de l'habitat et la distribution des espèces dépendantes des zones humides.

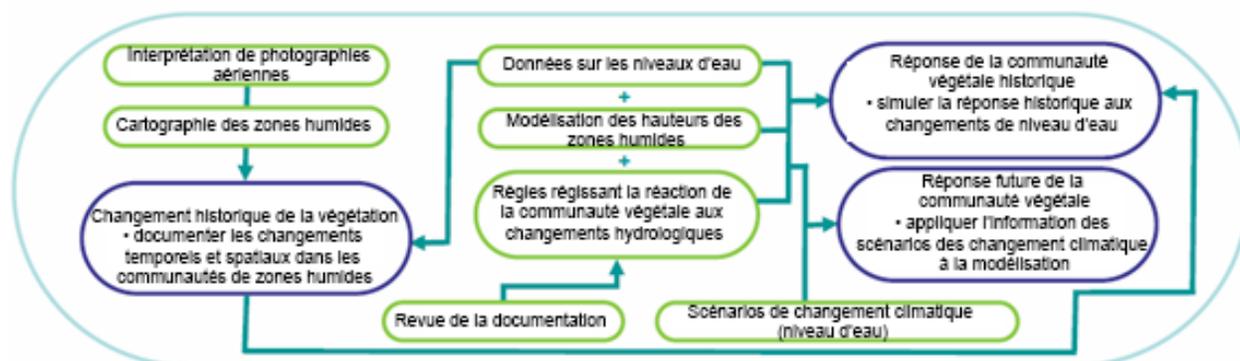


Figure 13 : Organigramme concernant les photographies aériennes et les cartes des zones humides dans l'approche utilisée par Mortsch et coll. (2006) pour évaluer la vulnérabilité des communautés végétales des zones humides et la réponse potentielle aux changements hydrologiques induits par le climat.

Les modèles de répartition des espèces, ou SDM, ont souvent été appliqués dans les études pour évaluer les changements futurs de l'habitat et de la répartition des espèces. Le SDM est une méthode SIG qui utilise des données de base pour fournir des estimations futures de la qualité de l'habitat et donc de la vulnérabilité des espèces au changement climatique projeté (NatureServe, 2014). Dans leur étude sur la répartition des espèces envahissantes *Phragmites australis* (roseau commun) dans la zone côtière des Grands Lacs, Carlson Mazur et coll. (2014)

<sup>1</sup> Les lecteurs sont incités à consulter les articles de Lofgren et coll. (2011), et Lofgren et Rouhana (2016) lorsqu'ils examinent les méthodes de projection des niveaux d'eau des lacs, en particulier dans le contexte de la méthode employée par Angel et Kunkel (2010).

ont énuméré plusieurs limites à l'utilisation des SDM. Dans le cas des *Phragmites*, leur niche continue de s'étendre et, par conséquent, leur limite n'est pas encore déterminée. Cependant, les modèles de niches écologiques supposent la conservation de la niche précédente lorsqu'une espèce envahit une nouvelle zone (Fitzpatrick et Weltzin, 2005). Bien que l'emploi d'un modèle corrélatif basé sur une niche pleinement réalisée puisse être préférable pour enrichir une évaluation (Beaumont et coll. 2009), les auteurs notent que de telles données sur la vulnérabilité sont rarement disponibles. Par conséquent, ils ont utilisé la répartition actuelle des *Phragmites* dans sa niche non réalisée pour prédire un habitat convenable.

#### **Encadré. 6. Programme North American CORDEX**

Le NA-CORDEX est la composante nord-américaine du programme international CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment) parrainé par le Programme mondial de recherche sur le climat. Le programme NA-CORDEX assure la coordination mondiale de la réduction d'échelle du climat régional pour améliorer l'adaptation au changement climatique régional et l'évaluation des impacts. Plus précisément, le programme vise à produire des simulations et des ensembles de données à échelle réduite sur plusieurs décennies pour l'Amérique du Nord en utilisant de multiples modèles de réduction d'échelle statistique et dynamique pilotés par un assortiment de modèles climatiques mondiaux (à partir des données CMIP5), conformément aux spécifications du programme CORDEX international. L'objectif des simulations et des analyses est de « fournir des scénarios climatiques à l'usage des chercheurs et des décideurs (par ex. les gestionnaires des ressources en eau) afin d'explorer les effets potentiels du changement climatique sur divers systèmes humains et naturels ». Il permettra également d'explorer les incertitudes concernant les futurs changements climatiques régionaux à l'aide de résolutions pertinentes pour la planification des impacts et de l'adaptation.

De plus, il fournira l'occasion de déterminer la valeur ajoutée des simulations de modèles régionaux à haute résolution en se démarquant entre autres par l'inclusion de processus manquants dans les modèles climatiques mondiaux à résolution plus approximative.

**Pour plus d'informations sur le NA-CORDEX, veuillez visiter : <https://na-cordex.org/>**

### **6.3.5 Engagement des parties prenantes**

Un dialogue approfondi avec les parties prenantes est important pour le processus d'élaboration des politiques afin d'améliorer la qualité du contenu ainsi que d'accroître l'acceptation de ces politiques et leurs chances de réussite (Grothman ainsi que, et coll. 2014). Le processus de consultation et d'engagement des experts, des organisations, des membres de la collectivité et d'autres intervenants a été fréquemment appliqué tout au long des études examinées et a souvent été cité comme un facteur déterminant de la réussite et de l'achèvement du projet (p. ex. Lemieux et coll. 2014).

Sur les 22 documents examinés, 10 ont eu recours à une consultation ou à un engagement des parties prenantes. L'approche, le but, l'étendue, le calendrier et le type de consultation et d'engagement des parties prenantes variaient grandement d'une étude à l'autre. Par exemple, Mortsch et ses collaborateurs (2006) ont fait participer les parties prenantes à deux reprises tout au long du projet pour : 1) finaliser la portée de la recherche et l'intégration des données

et de l'expertise, et 2) examiner les résultats préliminaires et fournir une rétroaction sur les options et recommandations en matière d'adaptation. De nombreux ministères ont effectué des travaux sur le terrain pour le projet afin de recueillir des données sur l'élévation, la végétation, le niveau d'eau, la bathymétrie, les poissons et l'habitat des zones humides, les niveaux d'eau et les oiseaux des marais. D'autres ont procuré un soutien logistique et SIG, et ont aidé à la conception de certaines études. À une seule occasion, un site Web a été développé pour être utilisé comme outil de communication entre les parties prenantes et avec la communauté des Grands Lacs dans Mortsch et coll. (2006).

Les connaissances des parties prenantes ont été sollicitées lors des discussions sur les impacts potentiels du changement climatique, les vulnérabilités et les options d'adaptation. Par exemple, la Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts (2017) a créé un groupe d'experts pour évaluer les impacts climatiques potentiels, la capacité d'adaptation inhérente et la vulnérabilité globale de 52 communautés naturelles du Wisconsin. Dix ateliers-rencontres d'une journée ont été organisés dans tout le Wisconsin, chacun se concentrant sur un groupe communautaire naturel différent. Pour chaque atelier, on a suscité les commentaires d'un panel d'experts représentant divers organismes de gestion des terres et de recherche du Wisconsin. Des équipes de panélistes qui seraient en mesure d'apporter une diversité d'expertises, de connaissances de l'histoire de la gestion et de perspectives organisationnelles ont été sollicitées. La plupart avaient une connaissance approfondie de l'écologie, de la gestion et des impacts du changement climatique pertinente pour les communautés naturelles qui ont fait l'objet d'un atelier dédié. Brandt et coll. (2014) ont adopté une approche similaire et se sont associés à une grande variété de chercheurs, ce qui a généré un examen approfondi des facteurs climatiques dans la région. Cela a permis d'améliorer les projections des changements climatiques futurs, ainsi que les impacts potentiels sur une variété de types de végétation.

L'engagement des gestionnaires de ressources a constitué un élément clé de l'étude de Herb et coll. (2016) qui a évalué la vulnérabilité future des cours d'eau dans les affluents du lac Supérieur au Minnesota et a identifié les mesures de gestion qui, si elles étaient mises en œuvre aujourd'hui, pourraient maintenir et améliorer la résilience naturelle des cours d'eau. Comme l'objectif de cette étude était d'éclairer et d'influencer les décisions de gestion, les chercheurs ont consulté un large éventail de gestionnaires de ressources tout au long du projet. Ceux-ci ont été proposés par le personnel du Minnesota Sea Grant et confirmés par l'équipe de direction du projet. L'expertise des parties prenantes incluait :

- Deux conseillers principaux
- Des scientifiques et des chercheurs du bassin du lac Supérieur
- Des gestionnaires de la conservation
- Des naturalistes
- Des spécialistes des pêches
- Des spécialistes des programmes côtiers
- Des spécialistes des bassins versants.

Les connaissances et l'expertise des parties prenantes ont également constitué une part importante de l'étude d'évaluation de la vulnérabilité sur les impacts du changement climatique

sur les systèmes naturels dans la région de Peel par Tu et coll. (2017). Deux ateliers ont eu lieu au début du projet (un atelier sur la participation des parties prenantes et un atelier technique) et ont été cités comme étant essentiels pour définir la portée du projet et pour effectuer l'analyse de la vulnérabilité. Le premier atelier a lancé le projet et a reçu les commentaires d'un vaste groupe de parties prenantes sur l'importance des systèmes naturels et sur les services écosystémiques les plus appréciés par les participants vivant ou travaillant dans la région de Peel. Le deuxième atelier a réuni des participants de l'équipe de projet ainsi que du personnel technique de la Toronto Regional Conservation Authority et de la Credit Valley Conservation afin d'identifier les composantes du système naturel à utiliser dans l'évaluation. À l'aide des commentaires recueillis lors des deux ateliers et d'une analyse documentaire, l'équipe de projet et les intervenants techniques ont élaboré et examiné un cadre qui reliait les principaux services écosystémiques aux composantes des systèmes naturels. Tu et coll. (2017) ont intégré les connaissances et l'expertise supplémentaires des parties prenantes par le biais d'une combinaison de réunions de projet, d'entrevues officielles avec des experts en la matière et de groupes de discussion.

Un certain nombre d'auteurs ont discuté des avantages ou des limites de leur approche d'engagement des parties prenantes. Parmi ceux-ci, l'approche multidimensionnelle des parties prenantes adoptée par Herb et coll. (2016) a permis d'observer les principaux avantages pour les gestionnaires de ressources. Par exemple, les entretiens individuelles ont contribué à faire des observations ouvertes sur le lien entre la recherche et la science. Les présentations formelles et informelles de la recherche (au symposium et dans les ateliers) ont procuré des occasions d'apprendre et d'émettre des critiques sur la recherche. Enfin, la partie interaction de l'atelier a fourni une rétroaction éclairée sur la façon dont la recherche pourrait procurer de l'information essentielle aux gestionnaires. L'équipe de planification de Lemieux et coll. (2014) a eu de la difficulté à recruter des participants ayant une expertise en agriculture et en infrastructure pour évaluer les vulnérabilités dans ces secteurs. Cette lacune a été comblée grâce à une analyse documentaire des effets connus et potentiels et à la préparation de notes d'orientation que les représentants du secteur agricole et des municipalités ont utilisées pour déterminer les options d'adaptation. De plus, Lemieux et coll. (2014) ont constaté que la participation précoce et continue des collectivités, des intervenants et des experts était essentielle pour assurer l'adhésion et accroître la probabilité que les vulnérabilités et les options d'adaptation identifiées soient réalistes et pertinentes aux contextes socio-écologiques locaux.

## **6.4 Gestion et politiques : Intégrer l'adaptation au changement climatique**

L'« intégration » est un concept de plus en plus important dans l'élaboration des politiques, car divers domaines et secteurs politiques sont affectés par le changement climatique. L'objectif de l'intégration de l'adaptation au changement climatique est de faire en sorte que les politiques pertinentes tiennent compte des changements climatiques qui les concernent, augmentent la résilience et optimisent les avantages potentiels et les nouvelles opportunités (McCallum et Dworak, 2014). Le principal avantage de l'intégration de la gestion des risques liés au changement climatique dans la politique existante est qu'elle conduit à une politique sans perdant et « sans regret » qui réduit la vulnérabilité aux risques climatiques tout en répondant à d'autres priorités (Ford et coll. 2007). De plus, l'intégration peut conduire à un engagement

holistique et se traduire par une utilisation plus efficace et plus efficiente des ressources financières et humaines plutôt que de concevoir, mettre en œuvre et gérer la politique climatique séparément des activités en cours (Schipper et Pelling, 2006, Klein, 2001). Les principales caractéristiques de l'intégration sont les suivantes (Nunan et coll. 2012, Initiative Pauvreté-Environnement du PNUD-PNUE, 2013, TRCA, 2012) :

- Elles sont menées comme un processus intentionnel
- Leurs cibles ont de nombreux extrants
- Elles travaillent à l'intersection de l'analyse scientifique et de la prise de décision en matière de politiques
- Elles exigent une approche multidisciplinaire qui inclut les disciplines économiques, sociales, environnementales et politiques
- Elles se déroulent à plusieurs niveaux d'une organisation
- Elles sont souples, réactives et adaptables au fil du temps
- Elles guident la mise en œuvre d'une organisation du point de vue central et local.

La plate-forme européenne pour l'adaptation au changement climatique (Climate-ADAPT) offre une liste de documents d'orientation, de publications et d'outils pour la mise en œuvre de l'adaptation au changement climatique par le biais de l'intégration. Ces ressources varient, allant des investissements dans la protection du climat (p. ex., Agrawala et coll., 2010) à l'intégration du changement climatique dans les évaluations de l'impact environnemental (p. ex., Hart et coll., 2012). Les leçons tirées de l'intégration des zones de ressources naturelles sont également citées dans la documentation. Par exemple, le World Wildlife Fund a publié un manuel d'utilisation à l'attention des gestionnaires de zones protégées pour renforcer la résistance et la résilience aux changements climatiques dans les systèmes naturels (Hansen et coll. 2003). HABIT-CHANGE, un projet mis en œuvre par le biais de Climate-ADAPT dans le cadre du programme CENTRAL EUROPE, a exploré les possibilités d'adapter la gestion des grandes zones de conservation européennes, comme les réserves de biosphère, les parcs nationaux et les parcs naturels, au changement climatique. Les résultats du projet, qui s'est déroulé de 2010 à 2013, sont décrits dans un manuel qui peut servir de référence pour la gestion de l'adaptation dans les zones protégées. Il fournit également un soutien utile pour amorcer le processus d'adaptation au changement climatique dans la gestion des zones protégées, ainsi que dans d'autres domaines de la gestion des ressources naturelles (Wilke et Rannow, 2013).

Intégrer (ou incorporer) notre compréhension des impacts et des risques liés aux changements climatiques dans les politiques existantes (p. ex., la législation), les structures de gestion (p. ex., les réseaux) et les processus (p. ex., la prise de décision) peut se faire à différents niveaux (international, national, infranational, sectoriel et dans les projets) et dans différents domaines de la prise de décision (élaboration des politiques, planification, budgétisation, mise en œuvre et suivi) (Ford et coll. 2007, TRCA, 2012, Burton et Lim, 2005, Patwardhan, 2006, GIZ, 2013). Les objectifs de l'intégration sont fondés sur l'identification de points d'entrée ciblés au sein de la structure de gouvernance, du cycle stratégique et de la fonction générique, allant de l'élaboration des politiques à l'allocation des ressources et à la mise en œuvre de projets ou d'activités sur le terrain (OCDE, 2009). Le tableau 5 donne des exemples d'activités entreprises

à diverses étapes du cycle d'élaboration des politiques où les considérations relatives aux changements climatiques peuvent être intégrées.

Tableau 5 : Rôles et tâches politiques dans le cycle stratégique (Source : Wellstead et Stedman, 2015, Dalal-Clayton et Bass, 2009, Colombie-Britannique, 2016)

Étape du cycle stratégique	Activités stratégiques générales	Exemples d'intégration
<b>Établissement de l'ordre du jour</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Définir les questions stratégiques</li> <li>● Définir les options stratégiques</li> <li>● Analyses de l'environnement</li> <li>● Consultation du public</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Examiner, mettre à jour et amorcer la législation, les politiques et les programmes afin d'assurer la préparation et la résilience aux impacts du changement climatique.</li> </ul>
<b>Formulation des politiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Évaluer les options stratégiques</li> <li>● Collecte de données relatives aux politiques</li> <li>● Collecte d'informations relatives aux politiques</li> <li>● Mener des recherches sur les politiques</li> <li>● Négocier avec les parties prenantes</li> <li>● Préparation d'exposés de position</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Établir des critères pour la prise en compte du changement climatique au cours du processus d'évaluation environnementale.</li> <li>● Élaborer une stratégie de gestion des ressources en eau qui tient compte des répercussions des changements climatiques sur la qualité et la quantité de l'eau.</li> </ul>
<b>Processus décisionnel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Comparer les options stratégiques</li> <li>● Matrices de décision</li> <li>● Séance d'information de haut niveau</li> <li>● Négociation avec les organismes centraux</li> <li>● Planification départementale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réviser les processus de planification pour s'assurer que le changement climatique est intégré rapidement et systématiquement dans les procédures de prise de décision.</li> <li>● Améliorer la capacité de prendre des décisions durables qui tiennent compte des changements climatiques et des effets cumulatifs sur les principales valeurs environnementales, sociales et économiques.</li> </ul>
<b>Mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mise en œuvre ou exécution de politiques ou de programmes</li> <li>● Négocier avec les gestionnaires de programme</li> <li>● Consulter les parties prenantes</li> <li>● Analyse juridique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Inclusion du changement climatique dans les plans sectoriels.</li> <li>● Collaborer avec les parties prenantes des secteurs vulnérables au climat afin d'évaluer les risques et de prioriser les mesures à prendre pour s'adapter avec succès aux changements climatiques.</li> </ul>
<b>Évaluation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Compétences en matière d'évaluation des politiques (p. ex. analyse coûts/avantages, évaluation risques)</li> <li>● Outils et techniques fondés sur les risques</li> <li>● Politiques fondées sur des données probantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mener des évaluations des risques et de la vulnérabilité liés aux changements climatiques.</li> <li>● Intégrer les stratégies de lutte contre le changement climatique dans les politiques et les pratiques de gestion des ressources.</li> </ul>

L'impact des programmes d'intégration peut se manifester au-delà des politiques et des plans, et peut renforcer les capacités organisationnelles et les changements de comportement au sein des institutions (Benson et coll. 2014). L'intégration des considérations relatives aux changements climatiques à un niveau de décision (p. ex., choix politiques, budgétaires et programmatiques) pourrait permettre d'agir sur le terrain (p. ex., opérations et gestion quotidiennes) (OCDE, 2009), ce qui mènerait à une culture institutionnelle favorisant l'habilitation et la collaboration (Gray, 2012).

Contrairement aux possibilités offertes, quelques défis clés liés à l'intégration du changement climatique peuvent également être observés. En Ontario, la disponibilité ou l'accès inadéquat (voir ECO, 2015) de données climatiques pertinentes à l'échelle régionale est un défi stratégique majeur pour les décideurs, mais il est essentiel pour intégrer l'adaptation. Le manque d'information sur les coûts et les avantages des mesures d'adaptation peut aussi nuire à la capacité ou à l'impulsion d'une organisation de présenter des arguments économiques en faveur de l'investissement dans l'adaptation. Les efforts pour examiner et ajuster les règlements et les normes reflétant les impacts climatiques au sein d'un organisme peuvent être remis en question par le manque d'informations précises sur la façon dont le changement climatique peut affecter les fonctions institutionnelles de base (OCDE, 2009). En outre, l'absence générale d'incitations à intégrer les changements climatiques dans les structures et les pratiques existantes peut se traduire par une réticence du personnel des organisations à adopter des mesures d'intégration. On ne s'attend pas à ce que tous les membres de l'AQEGL deviennent des experts du climat. Au lieu de cela, l'intégration devrait offrir une liste pratique d'options comme un accès à l'expertise externe en matière de changements climatiques et des outils habilitants que les membres peuvent utiliser pour entreprendre eux-mêmes des évaluations (p. ex. évaluations de la vulnérabilité).

Finalement, pour les annexes de l'AQEGL, l'intégration a le potentiel de produire des avantages connexes comprenant une prise de décision plus transparente, une meilleure collaboration entre les annexes, une sensibilisation accrue aux risques climatiques, un changement de perception, une utilisation efficace des ressources et une meilleure prise de décision (Benson et coll., 2014). De plus, le fait d'orienter les décisions en matière de changements climatiques grâce aux possibilités offertes par les politiques, les plans et les programmes existants permet d'éviter les compromis entre l'adaptation aux changements climatiques et les objectifs de l'Accord.

### **6.4.1 Intégration dans le contexte de préparation organisationnelle**

La préparation organisationnelle est un élément essentiel pour tout organisme ayant l'intention de gérer de manière proactive les effets des changements climatiques. La vulnérabilité de tout organisme reflète son exposition et sa sensibilité aux changements climatiques, et est déterminée par sa capacité d'adaptation. Les forces qui influencent la capacité d'un système ou d'un organisme à s'adapter sont connues comme des déterminants de capacité d'adaptation (Smit et Wandel, 2006).

La préparation organisationnelle est complémentaire à la capacité d'adaptation et examine les facteurs qui influencent la capacité d'un organisme à se préparer face aux changements climatique (figure 15). La capacité d'adaptation reflète le *potentiel* d'adaptation, là où

l'adaptation n'est ni inévitable ni automatique, même si la capacité d'adaptation est élevée (Ford et King, 2015). D'un autre côté, la préparation organisationnelle capture les procédés et les conditions permettant de déterminer la probabilité de la capacité à se traduire par des mesures d'adaptation réelles. La préparation organisationnelle gère avec un point de vue alternatif et complémentaire à la capacité d'adaptation, capturant des actions réelles qui ont déjà été mises en place pour se préparer pour une adaptation et aider à informer si la capacité d'adaptation se traduit un jour en action. Essentiellement, l'intention est de voir si un système ou un organisme est prêt à « faire une adaptation » (Ford et King, 2015).

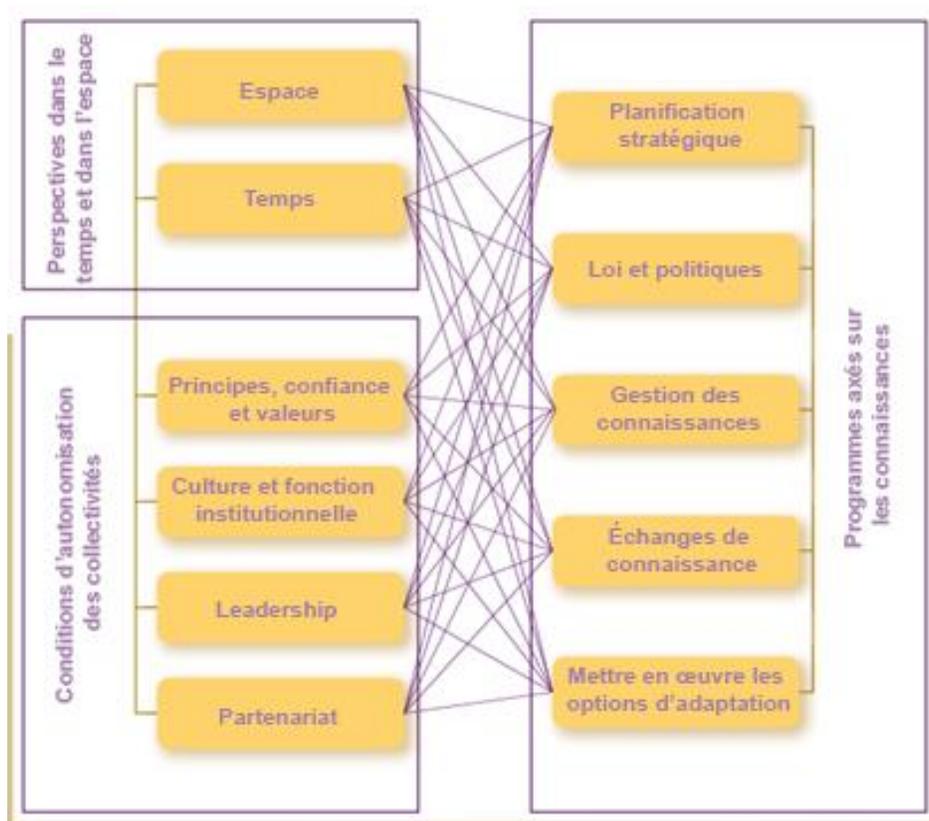


Figure 14: Cadre pour aider les organismes engagés à intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans des programmes de prises de décision et évaluer leur promptitude dans la gestion du changement climatique (Source: Gray, 2012)

La réponse dépend de la solidité d'une combinaison unique de valeurs, de la culture institutionnelle, de l'engagement envers le public, des ressources financières et humaines, de l'acquisition et de l'utilisation des données et informations, du savoir-faire et des processus décisionnels utilisés par une agence pour planifier et gérer une voie à suivre (Gray, 2012).

Dans le contexte de l'intégration, évaluer le niveau de préparation d'un organisme peut déterminer l'engagement d'un organisme au changement, en plus de sa capacité collective à le faire. Un niveau élevé de préparation organisationnelle indiquerait que les membres organisationnels sont prêts à faire des changements (mettre en place de nouvelles politiques, procédures et pratiques), redoubler d'efforts et d'engagement et montrer un comportement coopératif, se traduisant par une mise en œuvre plus efficace (Weiner, 2009).

En ce qui concerne l'intégration des changements climatiques, le principal défi est de trouver le bon environnement ou une base organisationnelle. Les obstacles et limites dans les organismes peuvent devenir la cause de retards dans l'adoption de mesures ou de mise en œuvre en matière de changements climatiques, ou être exclus de toute considération. Au niveau organisationnel, les obstacles peuvent se présenter sous différentes formes, y compris :

- Leadership incompetent;
- Un manque de soutien politique;
- Très peu ou aucune pression publique;
- Manque de coordination ou de cultures organisationnelles;
- Concurrence avec d'autres objectifs dans le processus d'élaboration des politiques (Uittenbroek et al., 2013).

De tels obstacles peuvent avoir un impact sur l'étendue de l'intégration aux changements climatiques.

D'un autre côté, plusieurs possibilités peuvent survenir à travers la préparation organisationnelle. Par exemple, l'évaluation de la culture et de la fonction institutionnelle d'un organisme permet d'identifier les membres démontrant un comportement de champion; aussi connu en tant que « champion climatique ». L'exploitation de valeurs et de motivations d'un champion peut mettre en place le début d'un procédé d'intégration (Weiner, 2009). L'évaluation de la préparation permet d'identifier aussi les faiblesses, offrant la possibilité de surmonter les défis et obstacles de manière plus efficace. En outre, le procédé d'évaluation de la préparation organisationnelle, en ce qui a trait à l'intégration aux changements climatiques, peut être un moyen puissant d'augmenter la sensibilité et l'urgence d'intégrer les problèmes associés aux changements climatiques dans des programmes, des plans et des politiques; aider les personnes à comprendre pourquoi un changement est nécessaire, important et avantageux (Weiner, 2009).

Table 6: Suggestions de la littérature sur l'intégration du changement climatique dans les actions, plans et gestion politiques

Domaine de préparation organisationnelle	Exemple d'intégration aux changements climatiques	Auteur
<b>Lois et politiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inclure une exigence de planification des eaux pluviales dans la Loi sur l'aménagement du territoire.</li> <li>• Élaborer des politiques réalistes, durables et stratégiques en matière d'utilisation des terres.</li> <li>• Examiner les plans officiels, les plans d'utilisation des terres, les plans d'infrastructure, les règlements administratifs et les politiques connexes pour déterminer dans quelle mesure ils tiennent compte et protègent les actifs naturels importants.</li> </ul>	Lemieux et al. 2014.
<b>Planification stratégique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élaborer et maintenir une enquête compréhensive sur la biodiversité dans le but de mieux caractériser les conditions de base, grâce auxquelles les changements futurs pourront être efficacement détectés, gérés et atténués.</li> </ul>	Herb et al. 2016
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élargir le champ de suivi et de recherche pour prendre en compte les stress associés aux changements climatiques et offrir aux gestionnaires les meilleures possibilités pour maintenir la viabilité des pêcheries des Grands Lacs face aux changements continus causés par l'homme.</li> </ul>	Collingsworth et al., 2017
<b>Évaluation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envisager des allègements fiscaux ou des paiements pour les propriétaires riverains qui naturalisent les rives, même si aucune zone humide n'est présente. Les rives offrent une protection contre les tempêtes, les liens écologiques, les options de sentiers récréatifs, un tampon de qualité de l'eau et de l'espace pour les éoliennes.</li> <li>• Utiliser des allègements fiscaux ou des paiements plus importants pour les servitudes de conservation afin de refléter la valeur des services écologiques, tels que la protection contre des tempêtes plus intenses et des filtres de sédiments érodés en amont pour mieux aider à protéger les lacs, l'absorption du carbone et l'alevinière.</li> </ul>	Mortsch et al. 2006
<b>Échelles spatiales et temporelles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un réseau de postes de surveillance devrait être établi dans les zones humides du BGL pour détecter tout changement dans l'étendue et la qualité des zones humides.</li> </ul>	Chu, C. 2015.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Des analyses à l'échelle du paysage sont nécessaires pour aider les gestionnaires des terres à cibler les populations existantes de Phragmites et à identifier les zones les plus vulnérables aux futures invasions afin de limiter leur propagation, notamment les zones écologiquement restaurées</li> </ul>	Carlson Mazur et al. 2014
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protéger, améliorer ou restaurer la diversité des espèces régionales en augmentant la connectivité des zones naturelles, y compris les forêts, les prairies, les zones humides et les cours d'eau. L'accent devrait être mis sur l'amélioration ou l'expansion des zones fonctionnant bien actuellement et présentant une vulnérabilité, de faible à modéré, aux changements climatiques.</li> </ul>	Tu et al. 2017
<b>Communication, éducation et échanges des connaissances</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intégrer plusieurs sciences pour mieux comprendre les impacts du changement climatique (impacts sociaux et écologiques du changement climatique).</li> </ul>	Collingsworth et al., 2017
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promouvoir une collaboration, une coopération et un partage d'informations simplifiés entre les autorités régionales de conservation, les municipalités, le partenariat communautaire sur le changement climatique, ainsi qu'avec les propriétaires fonciers, les promoteurs, les entreprises, les organisations non gouvernementales, les municipalités adjacentes et les gouvernements provinciaux et fédéraux.</li> </ul>	Tu et al. 2017
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensibiliser le public en publiant des exemples de réussite des mesures d'adaptation et d'atténuation des collectivités locales.</li> </ul>	Mortsch et al. 2006
<b>Principes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faire participer les Premières Nations apportant avec eux des connaissances traditionnelles écologiques.</li> </ul>	Mortsch et al. 2006.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encourager les groupes d'intendance à protéger et à réhabiliter les habitats aquatiques, les zones riveraines et humides</li> </ul>	Herb et al. 2016
<b>Culture et fonction institutionnelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mener une évaluation sur l'état de préparation et la capacité à réagir en évaluant les dégâts causés par les tempêtes (infrastructures, plans d'évacuation et stratégies de nettoyage), les changements climatiques, les augmentations de population, ainsi que les obstacles existants pour obtenir une gestion plus compréhensive des risques associés aux tempêtes côtières.</li> </ul>	le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis 2015.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fournir un financement adéquat au personnel chargé de la réglementation pour un examen rapide des permis.</li> </ul>	Mortsch et al. 2006.
<b>Partenariats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les gestionnaires des pêches devraient collaborer avec les forestiers et les planificateurs de l'aménagement du territoire pour établir des seuils de couverture forestière minimum en utilisant des repères historiques ou une fourchette de variations naturelles afin d'améliorer les chances de maintenir des régimes d'écoulement dans les limites des variations naturelles auxquelles les systèmes fluviaux se sont adaptés.</li> </ul>	Herb et al. 2016
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les initiatives de gestion devraient être coordonnées à travers les autorités de conservation et être intégrées aux programmes d'intendance, de restauration et de rénovation existants (par une végétation riveraine qui fait de l'ombre et l'infiltration des eaux de ruissellement).</li> </ul>	Tu et al. 2017
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assurer un engagement communautaire et une coopération et coordination entre les agences.</li> </ul>	Lemieux et al. 2014.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour les espèces qui connaissent déjà un déclin de la population et de l'habitat, la planification de la conservation et les efforts de recherche devraient inclure une approche binationale coordonnée pour garantir que les stratégies de conservation soient efficaces et adaptées aux espèces les plus vulnérables aux changements climatiques.</li> </ul>	Rempel and Hornseth. 2017
<b>Programmes de conception et de planification</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examiner les programmes actuels de suivi des systèmes naturels mis en œuvre par les autorités de conservation et les municipalités pour s'assurer qu'ils mettent l'accent sur les impacts des changements climatiques. Si nécessaire, réviser les programmes pour qu'ils suivent efficacement les vulnérabilités et établir un système d'évaluation pour mesurer le succès des efforts d'adaptation dans la réalisation de la résilience des bassins versants.</li> <li>• Intégrer plus directement les changements climatiques dans la planification des bassins versants, notamment en identifiant et en protégeant les liens locaux importants entre les eaux souterraines peu profondes et les éléments de surface.</li> </ul>	Tu et al. 2017

## 6.5 Résultats de l'évaluation de la vulnérabilité

Les résultats des évaluations de la vulnérabilité visent à fournir des informations pour orienter les mesures d'adaptation, créer des méthodes et des outils pour une utilisation future et accroître la résilience d'un domaine. Les études de recherche ont abouti à de nombreux types d'évaluations de la vulnérabilité, allant des stratégies d'adaptation des autorités locales de conservation (par ex. Lemieux et al. 2014), à un recueil d'outils (voir le tableau 7).

Tableau 7: Exemples de résultats de recherche

Auteurs	Résultats	Description
Herb et al. 2016	Outil de décision sur la gestion	L'outil est une aide pour décider quels types de mesures de gestion sont appropriés pour certains endroits, en tenant compte des informations disponibles sur les conditions fluviales actuelles et comment elles peuvent changer à l'avenir (Se référer à la section 2-10 du rapport pour un aperçu plus large de l'outil : <a href="http://files.dnr.state.mn.us/waters/lakesuperior/eloha/eloha_report.pdf">http://files.dnr.state.mn.us/waters/lakesuperior/eloha/eloha_report.pdf</a> )
Stewart et al. 2016	Version FishVis 1.0. Une application de cartographie d'aide à la prise de décision basée sur le web	L'application de cartographie d'aide à la prise décision basée sur le web « FishVis » a été créée pour fournir un moyen d'intégrer, de visualiser, de questionner et de télécharger les résultats des réponses prévues axées sur le climat et d'en savoir plus sur les mesures de planification de la conservation dans la région. Ces outils et données géospatiaux peuvent être utilisés pour identifier les conditions de base et les mesures de restauration et d'investissement stratégiques de la conservation. Fishvis est présentement accessible en suivant ce lien public : <a href="http://ccviewer.wim.usgs.gov/FishVis/">http://ccviewer.wim.usgs.gov/FishVis/</a>
Mortsch et al. 2006	Indice de la vulnérabilité hydrologique (IVH)	Un indice de la vulnérabilité hydrologique (IVH) a été créé et utilisé dans le but de comparer la vulnérabilité des plantes côtières en milieux humides aux changements hydrologiques induits par le climat. L'IVH assigne une série de codes et de scores de la vulnérabilité hydrologique pour les exigences choisies en termes d'habitat, les traits de cycle biologique et les paramètres des populations utilisés pour accéder à la vulnérabilité hydrologique des plantes en milieux humides choisies dans les zones humides côtières des Grands Lacs. L'IVH, créé par Mortsch et al. 2006, a été utilisé pour classer les espèces d'oiseaux en milieux humides dans Chu, 2015.

Le résultat le plus courant dans la littérature était une liste classée des scores de vulnérabilité pour les espèces ou les habitats. Par exemple, Hoving et al. (2013) ont produit un indice des scores de vulnérabilité aux changements climatiques pour chaque espèce évaluée et inclus une mesure de confiance / d'incertitude autour du score. Les scores de IVCC (indice de vulnérabilité aux changements climatiques), fourni dans ce rapport, peut être utilisé par des gestionnaires pour aider à prioriser les plans de gestion du gibier ou les plans de rétablissement des espèces nécessitant une révision pour inclure des renseignements relatifs aux menaces climatiques. L'Inter-Tribal Council of Michigan Inc. (2016) a également produit trois grands tableaux, classant toutes les espèces végétales, les espèces fauniques et les espèces de poissons à risque. Ces classements varient de : Extrêmement vulnérable, modérément vulnérable à moins vulnérable. Dans le cadre de ce projet, le Conseil inter-tribal de Michigan Inc. a facilité un processus d'analyse des projections climatiques au milieu du siècle, évaluant les vulnérabilités des ressources de planification et les stratégies d'adaptation à travers plusieurs territoires pour avantager les tribus du Michigan face aux changements climatiques.

En fournissant une mesure de la vulnérabilité ou de répercussion potentielle future, chaque étude a permis de mieux sensibiliser aux changements climatiques dans les régions étudiées. En outre, la recherche a contribué à éclairer les mesures et les politiques de gestion pour les gestionnaires et les organismes de ressources et les écosystèmes hydrologiques ou terrestres associés.

Les auteurs ont également utilisé divers tableaux, cartes et figures pour présenter les résultats de leurs recherches. Par exemple, Chu (2015) a inclus des cartes indiquant les niveaux de vulnérabilité des zones humides dans chaque Grand Lac. En plus d'un outil d'aide à la prise de décision, Herb et al. (2015) ont créé des documents de sensibilisation et organisé des ateliers afin d'informer sur les mesures de gestion et de restauration parmi les gestionnaires de ressources dans les tributaires du lac Supérieur du Minnesota.

Deux études ont éclairé ou soutenu l'élaboration de stratégies ou de mesures d'adaptation locales. Par exemple, les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité par Chu (2011) ont été obtenus en utilisant des indicateurs choisis pour appuyer la stratégie sur les changements climatiques pour le Lac Simcoe demandée par le panel d'experts sur l'adaptation au changement climatique (2009) et l'adaptation au changement climatique : Stratégie et plan d'action de l'Ontario (2011-2014) pour le Plan de protection du Lac Simcoe. Ces résultats ont été utilisés pour élaborer des stratégies d'adaptation pour chaque écosystème et informer sur le processus de planification et la stratégie d'adaptation. Les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité de Lemieux et al. (2014) ont été utilisés pour élaborer des options d'adaptation dans le but de les inclure dans une stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour les zones humides du Lac Simcoe dans l'Ontario (Canada).

### **6.5.1 Mesures d'adaptation**

Quinze des 22 évaluations de la vulnérabilité examinées ont recommandé ou référé les lecteurs vers des mesures d'adaptation disponibles pour accroître la résilience de l'environnement étudié. Malgré la majorité des études recommandant des mesures d'adaptation, plusieurs d'entre elles n'étaient pas nécessairement exhaustives et peu incluaient une évaluation de la capacité d'adaptation. Par exemple, Rempel et Hornseth (2017) ont suggéré d'accroître la

collaboration transfrontalière afin d'augmenter la disponibilité des ressources nécessaires pour améliorer les évaluations de la vulnérabilité et l'élaboration de stratégies de conservation. Plusieurs chercheurs ont suggéré une approche sociale d'adaptation similaire. Brandt. et al. (2013), Chiotti et Lavender (2008), l'Inter-Tribal Council of Michigan Inc. (2016), Lemieux et al. (2014), le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis (2015) et Tu et al. (2017) ont suggéré l'utilisation de l'engagement des parties prenantes pour développer des stratégies d'adaptation. Des exemples d'engagement comprennent la création de nouveaux partenariats pour le partage des informations dans le but de construire des données pour les stratégies d'adaptation, de sensibiliser et d'éduquer le public et les gestionnaires de ressources au sujet des répercussions des changements climatiques et les moyens d'adaptation au niveau individuel et local.

Des mesures d'adaptation fondées sur la science ont été suggérées par la plupart des études, avec la collecte de données, le suivi et la surveillance, ainsi que des mesures générales pour protéger et accroître la résilience de l'environnement. Les mesures d'adaptation recommandées et suggérées étaient basées sur des thèmes étudiés dans un domaine particulier, ainsi que sur les impacts potentiels du changement climatique dans cette zone. Par exemple, Chu et Fischer (2012) ont suggéré une augmentation de la surveillance des espèces dans les lacs, les cours d'eau et les zones humides, y compris les espèces envahissantes, ainsi que le suivi des débits de base, des températures et des niveaux d'eau. Certaines études ont suggéré une adaptation basée sur les écosystèmes, comme Brandt. et al. (2013), qui ont recommandé des aménagements forestiers urbains et de cultures, tandis que Collingsworth et al. (2017) ont suggéré une gestion de la pêche plus durable.

Certaines mesures d'adaptation recommandées consistaient à intégrer l'adaptation au changement climatique dans la prise de décision et à utiliser des politiques et des programmes visant à réduire la vulnérabilité et à accroître la résilience en soutenant les mesures, les politiques et la gestion d'adaptation. Par exemple, au-delà de l'engagement des parties prenantes, Chiotti et Lavender (2008) ont considéré l'intégration comme stratégie très efficace, avec des politiques et des programmes s'occupant d'un renouvellement de l'infrastructure, de programmes à eau faible et des stratégies de croissance (la loi sur la qualité de l'eau). De même, plusieurs mesures d'adaptation ont été suggérées sous forme de changements aux stratégies et politiques de gestion. Pour un examen compréhensif des mesures d'adaptation recommandées, veuillez vous référer à l'Annexe D.

## **7.0 Observations et recommandations**

Cette section fournit des exemples de la littérature sur des « leçons apprises », incluant les meilleures pratiques, les mesures d'adaptation, les limites et les leçons générales; telles qu'elles sont perçues par les auteurs. Il est important de noter que cette section n'est pas exhaustive et nous recommandons aux lecteurs de se référer aux études d'origine pour obtenir une liste complète des « leçons apprises ».

### **7.1 Meilleures pratiques**

Chacune des 22 évaluations de la vulnérabilité examinées diffère en ce qui a trait aux thèmes, cadres, résultats et méthodes générales évalués. En raison de ces différences, une évaluation

des meilleures pratiques n'est pas possible. Cependant, plusieurs auteurs ont décidé d'inclure des meilleures pratiques dans leurs rapports, surtout quand ils ont abordé leurs obstacles respectifs. Plusieurs de ces meilleures pratiques expliquent la manière de faire participer efficacement les parties prenantes dans les évaluations de la vulnérabilité.

Dans Lemieux et al. (2014), l'équipe de planification a rencontré des difficultés dans le recrutement de participants ayant des expertises dans les domaines de l'agriculture et de l'infrastructure pour évaluer les vulnérabilités dans ces secteurs. Cet écart a pu être rempli grâce à l'achèvement d'un examen de la littérature sur les effets potentiels et la préparation des résumés de politiques que des représentants du secteur agricole et des municipalités ont pu utiliser pour identifier des options d'adaptation. En outre, Lemieux et al. (2014) ont constaté que l'implication précoce des communautés, des parties prenantes et des experts était essentielle pour assurer l'adhésion et augmenter la probabilité que les vulnérabilités et les options d'adaptation identifiées soient réalistes et adaptées aux contextes socio-écologiques locaux.

L'approche adoptée de parties prenantes adoptée par Herb et al. (2016) a permis d'observer des avantages clés pour les gestionnaires de ressources. Par exemple, les entrevues individuelles ont permis de formuler des observations ouvertes sur le lien entre la recherche et la science.

Les présentations de recherche formelles et informelles, durant un colloque et des ateliers, ont fourni de nombreuses possibilités d'apprendre et de critiquer les recherches. Pour terminer, la partie interactive de l'atelier ont offert une rétroaction éclairée sur la manière dont la recherche pourrait fournir aux gestionnaires des renseignements essentiels.

L'Inter-Tribal Council of Michigan Inc. (2016) a également remarqué que la communication est un élément essentiel dans le développement de l'évaluation de la vulnérabilité. Les conseils tribaux, les membres communautaires, les dirigeants culturels ont encouragé le partage des connaissances dans les communautés. Les efforts de communication ont servi comme expérience pédagogique sur les projections climatiques futures et les répercussions climatiques potentielles. En outre, les connaissances ont été partagées avec l'Inter-Tribal Council of Michigan Inc. (comprenant neuf tribus), les membres de la communauté et les gouvernements dans le but de compléter cette évaluation de la vulnérabilité. Une méthode très similaire a été utilisées entre les parties prenantes participant avec Hoving et al. (2013), Lee et al. (2011), et d'autres.

## **7.2 Autres considérations**

En plus des meilleures pratiques, les auteurs ont discuté d'autres forces et faiblesses associées avec leurs études, comme les lacunes en matière de connaissances et les limites, les lacunes techniques, les défis associés à l'échelle temporelle et spatiale, les calendriers du projet et l'approche générale ou le procédé utilisé. Même s'il ne s'agit pas d'une liste exhaustive, quelques exemples sont fournis ci-dessous.

En termes de réflexion sur l'approche générale, le procédé et le cadre, Lemieux et al. (2014) recommande de choisir avec soin des stratégies de protection d'idées pour répondre aux besoins, attentes et calendrier, et fournir un environnement de travail favorable et flexible

durant l'innovation. Le principal avantage du cadre, introduit dans leurs études, est présent dans leur haute transparence, sa capacité à solliciter des renseignements qualitatifs et quantitatifs pour soutenir l'élaboration des politiques et sa flexibilité d'accommoder et tenir compte de la diversité des intérêts des parties prenantes. Plus précisément, la recherche visant à compléter les évaluations de vulnérabilité du bassin hydrographique du lac Simcoe représentait un important exercice de renforcement des capacités permettant de mieux comprendre comment le changement climatique affecte actuellement le bassin et comment ces effets pourraient s'intensifier au cours des 30 prochaines années et au-delà.

Lee et al. (2011) ont noté que des facteurs supplémentaires auraient pu biaiser ou affecter les résultats de leur évaluation de la vulnérabilité des plantes et animaux rares et en déclin dans la zone côtière du Michigan. Par exemple, l'ouest de la péninsule supérieure et le nord de la péninsule inférieure n'ont pas été étudiés aussi complètement que le reste de l'État. Ceci peut fausser les résultats de « la plage des températures » et de « l'étendue de la mesure de l'humidité » en dehors des catégories pour les espèces qui se trouvent réellement dans l'Ouest supérieur, mais qui n'ont pas été enregistrées. Ils ont remarqué également que les Grands Lacs sont connus pour influencer sur les conditions climatiques et météorologiques locales et régionales, et qu'un modèle régional de prise en compte de l'influence des Grands Lacs sur les changements climatiques permettrait d'obtenir une évaluation plus précise des impacts potentiels sur les espèces présentes se produisant dans la zone côtière du Michigan. Les auteurs ont suggéré qu'il serait bénéfique de recalculer l'indice de vulnérabilité au changement climatique (IVCC) quand des modèles climatiques à plus grande échelle ou à moindre échelle sont disponibles pour le Michigan.

Rempel et Hornseth (2017) ont enregistré des résultats sur les limites liées aux données et aux restrictions spatiales et temporelles. Leur étude indique notamment que les efforts de modélisation actuels sont parfois limités par des restrictions juridictionnelles; cela entrave les évaluations de la vulnérabilité en nécessitant des extrapolations pour compléter l'IVCC. Pour presque tous les paramètres d'exposition au climat considérés, ils ont trouvé des lacunes dans les données ou la modélisation. Dans certains cas, il n'existait pas de modèles pour le Canada (comme l'indicateur d'humidité Hamon) et, dans d'autres cas, il était difficile d'accéder aux données en raison de liens Web rompus ou de problèmes liés à la cartographie automatique. Les meilleures extrapolations ont été utilisées quand les données manquaient dans les bassins hydrographiques canadiens. Rempel et Hornseth (2017) recommandent d'améliorer les données climatiques regroupées de ClimateWizard pour faciliter l'extraction des données SIG du Canada et de l'Amérique centrale, ce qui éliminerait cet obstacle.<sup>2</sup>

Chu (2011) a observé plusieurs incertitudes dans son étude sur les effets du changement climatique dans les zones humides, cours d'eau et écosystèmes du bassin hydrographique du lac Simcoe, indiquant que des recherches supplémentaires sont nécessaires si l'on prend en compte les changements climatiques prévus, incluant ce qui suit :

- La quantité de changement à prévoir dans l'étendue des zones humides;
- Les températures des cours d'eau sont plus hétérogènes que l'approche simplifiée utilisée dans l'étude;

---

<sup>2</sup> Veuillez noter que la version actuelle du ClimateWizard est basée sur d'anciennes projections (CMIP3).

- Les espèces d'eaux froides ne sont pas uniformément réparties dans les sous-bassins versants;
- Les types de changements dans la composition des plantes des zones humides susceptibles de se produire;
- Savoir si les oiseaux se déplaceront vers des habitats moins optimaux ou s'adapteront aux conditions changeantes des zones humides;
- Les effets cumulatifs d'autres facteurs qui influencent la vulnérabilité des zones humides, tels que le remplissage et le drainage;
- Les profils de températures prédits<sup>3</sup> représentant les conditions thermiques moyennes dans le lac;
- D'autres facteurs connus pour influencer la variabilité spatiale de la température de l'eau (la morphométrie des vents et des lacs) de la baie Kempenfelt n'ont pas été inclus mais devraient l'être;
- D'autres facteurs qui influencent la disponibilité de l'habitat convenable pour différentes espèces (la disponibilité du substrat et des proies) n'ont pas été inclus.
- L'influence directe du changement climatique sur les espèces de lac n'a pas été évaluée;
- La dynamique du niveau trophique inférieur peut également changer avec le climat.

Dans leur évaluation de la vulnérabilité de l'infrastructure des population et des ressources à risque sur plus de 49 890 kilomètres de la région côtière de l'Atlantique Nord, le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis (2015) a fait des recommandations, incluant : entreprendre des analyses techniques et scientifiques supplémentaires pour faire progresser l'intégration de la résilience, du risque et de l'incertitude; la communication et la collaboration en matière de risques (gouvernements fédéraux, étatiques, tribaux et locaux, ONG, universités, secteur privé et public); et au niveau institutionnel et financier (coordination pour surmonter les difficultés liées à la politique d'utilisation des terres et aux mesures d'autorisation).

Lee et al. (2011) ont suggéré que les évaluations de la vulnérabilité devraient être considérées comme une première étape et comme faisant partie d'un processus itératif; une observation faite également dans d'autres études (par ex., Lemieux et al. 2011). Les auteurs suggèrent que « les évaluations de la vulnérabilité devraient être revues et réévaluées afin de mieux connaître les changements climatiques et la répartition des espèces, le cycle biologique, l'écologie, la génétique et les réponses au changement climatique. Des outils d'évaluation de la vulnérabilité, tels que l'IVCC, doivent continuer à être élaborés et améliorés » (Lee et al. 2011: 35).

Enfin, dans Carlson Mazur et al. (2014), des limites spatiales et temporelles ont été notées comme inhérentes aux données utilisées pour générer une carte *Phragmites australis* (roseau commun) et des ensembles de données de prédiction environnementale. Les auteurs donnent l'exemple qu'une erreur peut être introduite dans de grands ensembles de données géospatiales qui, par nécessité, sont compilées sur plusieurs années.

---

<sup>3</sup> UNITAR (2015) stipule que les prévisions climatiques sont des estimations de conditions naturelles futures, alors que les projections climatiques sont des estimations climatiques futures en prenant en compte les activités humaines, telles que les développements socioéconomiques et techniques. Ici, Chu (2011) a prédit des profils de température basés sur des données de 1980 à 2009. Il ne s'agit pas de projections car les profils de température n'ont pas été estimés dans l'hypothèse d'activités futures liées à l'homme.

## 8.0 Étude de cas : Indice de vulnérabilité des ressources en eau dans l'Arctique (The Arctic Water Resource Vulnerability Index/AWRVI), Alaska, É.-U

Une étude de cas sur l'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle du bassin hydrographique est fournie. Le processus utilisé dans l'indice de vulnérabilité et appliqué dans l'Arctique peut intéresser ceux qui envisagent d'examiner une série de scores physiques et sociaux, plutôt que des méthodes qui calculent uniquement le score de vulnérabilité total.

**Alessa, L., A. Kliskey, R. Lammers, C. Arp, D. White, L. Hinzman, et R. Busey. 2008. The Arctic Water Resource Vulnerability Index: An integrated assessment tool for community resilience and vulnerability with respect to freshwater. *Gestion environnementale*. 42 (3): 523-541.**

L'eau douce est considérée comme une ressource essentielle pour les communautés vivant dans l'Arctique. Cependant, l'Arctique présente un ensemble de défis uniques lorsqu'on analyse la qualité et l'approvisionnement en eau, comme la combinaison de communautés très éloignées avec des infrastructures mal développées et des coûts énergétiques élevés, un climat en évolution rapide et une quantité limitée d'eau liquide disponible pendant une grande partie de l'année. En raison de la chasse et de la pêche de subsistance, la vulnérabilité des ressources en eau pour les communautés de l'Arctique se fait sentir à l'échelle locale des petits bassins versants. Le changement climatique devrait avoir des effets importants sur le cycle hydrologique dans les régions arctiques (Hinzman and others 2005; Serreze et autres 2000). Pourtant, aucun indice actuel n'existe pour évaluer adéquatement la résilience et la vulnérabilité des communautés arctiques face aux changements des ressources en eau à l'échelle locale (Alessa et al. 2008). Pour aborder ce sujet, un Indice de la vulnérabilité des ressources en eau dans l'Arctique (Arctic Water Resource Vulnerability Index/ AWRVI) a été élaboré par Alessa et al. (2008) et appliqué dans trois communautés d'Alaska et leurs bassins hydrographiques connexes de Eagle River, White Mountain et Wales, couvrant une gamme de latitudes, de paramètres environnementaux et de niveaux de développement humain. Cet indice a été appliqué pour évaluer la vulnérabilité relative; de la résilience des communautés et de leurs bassins hydrographiques respectifs aux changements dans leurs ressources d'eau par le biais de procédés socioéconomiques et biophysiques.

*Indice de vulnérabilité des ressources en eau dans l'Arctique (The Arctic Water Resource Vulnerability Index / AWRVI)*

L'AWRVI est un indice permettant de caractériser la vulnérabilité d'une communauté et de ses bassins hydrographiques par l'utilisation de deux sous-indices : les conditions physiques environnantes liées à l'approvisionnement et à la qualité de l'eau, ainsi que les conditions sociales liées au réseau social et à la capacité d'adaptation de la communauté. Ces sous-indices sont caractérisés par un ensemble d'indices et d'indicateurs connexes, ajoutant également les meilleures données disponibles pour ces types d'indicateurs (données publiquement disponibles). Chaque élément de l'AWRVI a été choisi par la technique Delphi (voir l'encadré 1) en obtenant un consensus à partir d'experts en eau dans les régions arctiques et en utilisant une série de questionnaires.

Le sous-indice physique évalue la contribution de la vulnérabilité d'une communauté à partir de facteurs biophysiques et de modérateurs de l'eau douce dans le bassin versant. Le sous-indice est défini par des indices qui mesurent l'approvisionnement en eau naturelle, l'approvisionnement municipal, la qualité de l'eau, le statut du pergélisol et l'habitat de subsistance dans un bassin hydrographique. Les indicateurs spécifiques comprennent ce qui suit:

- **Pour caractériser l'approvisionnement naturel** : Mesure les précipitations, l'entreposage des eaux de surface et le ruissellement des rivières;
- **Pour caractériser l'approvisionnement municipal** : Rendement des sources d'eau, diversité des sources d'eau, technologie de traitement de l'eau, gradient hydraulique et infrastructures tributaires du pergélisol;
- **Pour caractériser la qualité de l'eau** : Quantité d'aménagement en amont et nombre de cours d'eau avec des données sur la qualité de l'eau;
- **Pour caractériser le pergélisol** : Distribution du pergélisol;
- **Pour caractériser les habitats de subsistance** : La proportion d'un bassin hydrographique avec des cours d'eau et le niveau du couvert forestier.

Le sous-indice social évalue la contribution de la vulnérabilité d'une communauté à partir de modérateurs de l'eau douce dans le bassin versant et est défini par des indices mesurant les connaissances, l'économie, la capacité informationnelle et la sensibilité face au changement. Les indicateurs spécifiques comprennent :

- **Pour caractériser les connaissances** : Mesure les connaissances traditionnelles et occidentales, le temps de résidence des personnes dans les communautés;
- **Pour caractériser l'économie** : Revenu moyen des ménages;
- **Pour caractériser la capacité informationnelle** : Superficie de terre comme zone protégée;
- **Pour caractériser la sensibilité face au changement** : L'importance de la vie de subsistance, la diversité du réseau social et la perception des activités de planification de l'eau dans la communauté.

Chaque indicateur reçoit un score entier 0 et 1, où l'extrémité inférieure de l'échelle représente un niveau élevé de vulnérabilité au changement dans les ressources d'eau et l'extrémité supérieure de l'échelle représente un niveau élevé de résilience au changement dans les ressources d'eau, avec la partie intermédiaire de l'échelle représentant le seuil entre la vulnérabilité et la résilience (hautement vulnérable, modérément vulnérable, seuil, modérément résilient, hautement résilient). Tous les indicateurs sont uniformément pondérés dans le calcul final pour éviter les jugements de valeur nécessaires pour une telle pondération. Les indices constitutifs, les sous-indices et l'indice général sont calculés en utilisant une technique de moyenne simple basée sur la formule générique suivante :

$$\text{AWRVI} = [\text{AWRVI}_{\text{physique}} + \text{AWRVI}_{\text{social}}]/2$$

Sous-indice physique = (Indicateurs d'approvisionnement naturel + indicateurs d'approvisionnement municipal + indicateurs de la qualité de l'eau + indicateurs de pergélisol + indicateurs d'habitat de subsistance) / 5

Sous-indice social = (Indicateurs de connaissances + indicateurs économiques + indicateurs sur la capacité d'information + Indicateurs sur la sensibilité face au changement) / 4

Lorsque l'on applique cela aux trois communautés, l'indice s'est avéré informatif car il fournit un classement relatif de la vulnérabilité générale de chaque communauté et bassin hydrographique, avec des résultats corroborés par des experts indépendants. Les composants de l'indice ont été encore plus utiles comme outil de diagnostic pour comprendre quelles parties du système socio-écologique étaient plus vulnérables ou plus résilientes aux perturbations. Étant donné le succès de cette méthodologie à l'échelle des bassins hydrographiques dans l'Arctique, cette approche devrait être utilisée pour l'évaluation des bassins hydrographiques dans le BGL.

## Références

- Angel, J. R., et K. E. Kunkel. 2010. The response of Great Lakes water levels to future climate scenarios with an emphasis on Lake Michigan-Huron. *Journal of Great Lakes Research*, 36: 51-58.
- Auld, H., H. Switzman, N. Comer, S. Eng, S. Hazen, et G. Milner. 2015. Climate Trends and Future Projections in the Region of Peel: Rapport technique. Toronto.
- Bartolai, A. M., He, L., Hurst, A. E., Mortsch, L., Paehlke, R., et D. Scavia. 2015. Climate change as a driver of change in the Great Lakes St. Lawrence River basin. *Journal of Great Lakes Research*, 41: 45-58.
- Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu et J. P. Palutikof (Eds.) 2008. Climate Change and Water. Technical Paper VI of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Secrétariat GIEC, Genève, Suisse.
- Beeton A. M., C. E. Sellinger et D. F. Reid. 1999. An introduction to the Laurentian Great Lakes ecosystem. In: Taylor WW, Ferreri CP (eds) Great lakes fisheries policy and management: a binational perspective. Michigan State University Press, East Lansing, pp 3–54.
- Benson E., A. Forbes, M. Korkeakoski, R. Latif et D. Lham. 2014. Environment and climate mainstreaming: challenges and successes. *Development in Practice*, 24(4): 605-614.
- Bourgeau-Chavez L. L., K. P. Kowalski, M. L. Carlson, K. A. Scarbrough, R. B. Powell, C.N. Brooks, B. Huberty, L. K. Jenkins, E .C. Banda, D. M. Galbraith, Z. Laubach et K. Riordan. 2013. Mapping invasive *Phragmites australis* in the coastal Great Lakes with ALOS PALSAR satellite imagery for decision support. *Journal of Great Lakes Research*, 39: 66–77.
- Brandt, L., He, H., Iverson, L., Thompson, F. R., Butler, P., Handler, S., ... & Blume-Weaver, R. 2014. Central Hardwoods ecosystem vulnerability assessment and synthesis: un rapport du Central Hardwoods Climate Change Response Framework project.
- Burton I. et B. Lim. 2005. Adaptation du cadre politique pour le changement climatique. Cambridge : Université de Cambridge.
- Butcher, J. B., D. Nover, T. E. Johnson, et C. M. Clark. 2015. Sensitivity of lake thermal and mixing dynamics to climate change. *Climatic Change* 129(1-2): 295.
- Carlson Mazur, M. L., K. P. Kowalski et D. Galbraith. 2014. Assessment of suitable habitat for *Phragmites australis* (common reed) in the Great Lakes coastal zone. *Aquatic Invasions*, 9(1).
- CEGL [Comité exécutif des Grands Lacs]. 2017. Great Lakes Executive Committee to the Great Lakes Water Quality Agreement Terms of Reference. Accès à partir de : [https://binational.net/wp-content/uploads/2017/10/GLEC\\_TOR\\_amended-Oct\\_16\\_2017.pdf](https://binational.net/wp-content/uploads/2017/10/GLEC_TOR_amended-Oct_16_2017.pdf)

- CEO [Commissaire à l'environnement de l'Ontario]. 2015. ECO Climate Data Roundtable. The Data Divide – Climate Data and Decision-making in Ontario. Briefing note. Accès à partir de : <http://docs.assets.eco.on.ca/reports/other-publications/2015/ECO-Climate-Data-Briefing-Note.pdf>.
- Coker, G. A, C. B. Portt et C. K. Minns. 2001. Morphological and ecological characteristics of Canadian freshwater fishes. *Can. Man. Rpt. Fish. Aquat. Sci.* 2554: iv+89p.
- Chiotti, Q. et B. Lavender. 2008. Ontario; *Des impacts à l'adaptation : Vivre avec les changements climatiques au Canada 2007, publié par* D. S. Lemmen, F. J. Warren, J. Lacroix et E. Bush; Gouvernemetn du Canada, Ottawa, ON, p. 227-274.
- Chu, C. 2011. *Potential effects of climate change and adaptive strategies for Lake Simcoe and the wetlands and streams within the watershed* (No. CCRR-21). Institut de recherche forestière de l'Ontario.
- Chu, C. 2015. Climate change vulnerability assessment for inland aquatic ecosystems in the Great Lakes Basin, Ontario. *Rapport de recherche sur les changements climatiques - Institut de recherche forestière de l'Ontario.*, (CCRR-43).
- Chu, C. et F. Fischer. 2012. *Climate change vulnerability assessment for aquatic ecosystems in the Clay Belt Ecodistrict (3E-1) of northeastern Ontario* (No. CCRR-30). Institut de recherche forestière de l'Ontario.
- Collingsworth, P. D., D. B. Bunnell, M. W. Murray, Y. C. Kao, Z. S. Feiner, R. M. Claramunt, B. M., Lofgren, T. O., Hook et S. A. Ludsins. 2017. Climate change as a long-term stressor for the fisheries of the Laurentian Great Lakes of North America. *Revue dans Fish Biology and Fisheries*, 27(2): 363-391.
- Colombie-Britannique, 2016. Ministère des opérations relatives aux Ressources Naturelles. Plan de service 2016/17-2018/19. Accès à partir de : [www.bcbudget.gov.bc.ca/2016/sp/pdf/ministry/flnr.pdf#page=5](http://www.bcbudget.gov.bc.ca/2016/sp/pdf/ministry/flnr.pdf#page=5)
- Comité consultatif scientifique du lac Simcoe. 2008. Le lac Simcoe et son bassin hydrologique. Accès à partir de: [www.ene.gov.on.ca/en/water/lakesimcoe/docs/PublicReport-watershed.pdf](http://www.ene.gov.on.ca/en/water/lakesimcoe/docs/PublicReport-watershed.pdf).
- Croley II, T. E., 2005. Using climate predictions in Great Lakes hydrologic forecasts. In: Garbrecht, J., Piechota, T. (Eds.), *Climatic variability, climate change, and water resources management*. American Society of Civil Engineers, Arlington, Virginie, pp. 166–187.
- Croley II, T. E. et C. F. M. Lewis. 2006. Warmer and drier climates that make terminal Great Lakes. *J. Great Lakes Res.* 32 (4): 852–869.
- Crossman, J., M. N. Futter, S. K. Oni, P. G. Whitehead, L. Jin, D. Butterfield, H. M. Baulch et P. J. Dillon. 2013. Impacts of climate change on hydrology and water quality: future proofing

management strategies in the Lake Simcoe watershed, Canada. *Journal of Great Lakes Research*, 39(1): 19-32.

Dalal-Clayton B. et S. Bass. 2009. The Challenges of Environmental Mainstreaming: Experience of Integrating Environment into Development Institutions and Decisions. Environmental Governance No. 3. International Institute for Environment and Development. London, U.K.

DesGranges, J.-L., J. Ingram, B. Drolet, C. Savage, J. Morin, et D. Borcard. 2005. Wetland Bird Response to Water Level Changes in the Lake Ontario-St. Lawrence River Hydrosystem. Rapport finale à la Commission mixte internationale pour le soutien du lac Ontario international – Étude de revue sur la réglementation des bassins fluviaux du Saint-Laurent – Régions de l'Ontario et du Québec, Environnement Canada.

Dessai, S., et M. Hulme. 2004. Does climate adaptation policy need probabilities? *Climate Policy*, 4(2): 107-128.

Doka, S. E., J. E. Moore, C. K. Minns, C. Chu, et C. N. Bakelaar. 2006. A framework for habitat supply modelling of nearshore fish guilds in Lake Ontario. Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques. En préparation. Pêches et Océans Canada.

EOC [Études d'oiseaux Canada]. 2008. Atlas des oiseaux nicheurs de l'Ontario. Données accédées de NatureCounts, un nodule du Avian Knowledge Network, Études d'oiseaux Canada. Accès de : <http://www.naturecounts.ca/>.

Environnement et changement climatique Canada. 2017. Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs : espèces aquatiques envahissantes. Accès à partir de : [www.canada.ca/en/environnement-climate-change/services/great-lakes-protection/restoring-protecting/canada-united-states-water-quality-agreement/aquatic-invasive-species.html](http://www.canada.ca/en/environnement-climate-change/services/great-lakes-protection/restoring-protecting/canada-united-states-water-quality-agreement/aquatic-invasive-species.html).

For, J. D., T. Pearce, B. Smit, J. Wandel, M. Allurut, K. Shappa, H. Ittusujurat, et K. Qrunnut. 2007. Reducing Vulnerability to Climate Change in the Arctic: the Case of Nunavut, Canada. *Arctic*, 60(2): 150-166.

Ford, J. D. et D. King, 2015. A framework for examining adaptation readiness. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(4):505-526.

Franca Doria, M., Boyd, E., Tompkins, E. L., Adger, W. N., 2009. Using expert elicitation to define successful adaptation to climate change. *Environ. Sci. Policy* 12, 810–819.

Füssel, H. M., et R. J. Klein. 2006. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3), 301-329.

Giorgi, F. et R. Francisco. 2000. Uncertainties in regional climate change prediction: a regional analysis of ensemble simulations with the HADCM2 coupled AOGCM. *Climate Dyn.*, 16: 169-182.

- GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). 2013. A closer look at mainstreaming adaptation. Accès à partir de : [www.adaptationcommunity.net/?wpfb\\_dl=39](http://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=39).
- Gleeson, J., P. Gray, A. Douglas, C. J. Lemieux, et G. Nielsen. 2011. A Practitioner's Guide to Climate Change Adaptation in Ontario's Ecosystems. Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation, Sudbury, Ontario. 74 p. Accès à partir de : [www.climateontario.ca/doc/Tools/A%20Practitioners%20Guide%20to%20ClimateChange%20Adaptation%20in%20Ontario%27s%20Ecosystems%20Ver%201%202011.pdf](http://www.climateontario.ca/doc/Tools/A%20Practitioners%20Guide%20to%20ClimateChange%20Adaptation%20in%20Ontario%27s%20Ecosystems%20Ver%201%202011.pdf)
- Glick, P., B. A. Stein, et N. A. Edelson, editors. 2011. Scanning the Conservation Horizon: A Guide to Climate Change Vulnerability Assessment. National Wildlife Federation, Washington, D.C.
- Gouvernement du Canada. 2017. Comment se portent les Grands Lac. Accès à partir de : [www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/great-lakes-protection/how-great-lakes-are-doing.html](http://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/great-lakes-protection/how-great-lakes-are-doing.html)
- Gray P. A. 2012. Adapter l'aménagement forestier durable aux changements climatiques : une approche systématique d'exploration de l'état de préparation organisationnelle. Conseil canadien des ministres des forêts, Ottawa, Canada. 31p. Accès à partir de : [http://www.ccfm.org/pdf/Gray\\_OrganizationReadiness\\_FinalFr.pdf](http://www.ccfm.org/pdf/Gray_OrganizationReadiness_FinalFr.pdf)
- Hart K., A. Bartel, H. Menadue, K. Sedy, A. Frelth-Larsen et P. Hjerp. 2012. Methodologies for Climate Proofing Investments and Measures under Cohesion and Regional Policy and the Common Agricultural Policy Technical Guidance for Common Agricultural Policy, un rapport pour DG Climate, August 2012.
- Hartmann, H. C. 1988. Historical basis for limit on Lake Superior water level regulations. *Journal of Great Lakes Research*, 14(3): 316–324.
- Herb, W., K. Blann, L. Johnson, R. Garono, J. Jereczek, M. White et H. Sorensen. 2016. Sustaining Minnesota's Lake Superior Tributaries in a Changing Climate. Rapport final au bureau NOAA pour la gestion côtière.
- Hinkel, J. 2011. Indicators of vulnerability and adaptive capacity: towards a clarification of the science policy interface. *Global Environmental Change*, 21: 198–208.
- Hoving, C. L., Y. M. Lee, P. J. Badra et B. J. Klatt. 2013. Changing climate, changing wildlife: a vulnerability assessment of 400 species of greatest conservation need and game species in Michigan. *Michigan Department of Natural Resources Wildlife Division Report*, 3564.
- Hsu, C. C. et B. A. Sandford. 2007. The Delphi Technique: Making Sense Of Consensus. *Practical Assessment, Research and Evaluation*, 12(10): 1-8.

- International Great Lakes Diversions and Consumptive Uses Study Board. 1981. Great Lakes diversions and consumptive uses. Commission mixte internationale, Washington, D.C.
- International St. Lawrence River Board of Control. 1963. Regulation of Lake Ontario: Plan 1958-D., Washington, D.C
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat]. 2001. Changements climatiques 2001: Impacts, adaptation vulnérabilité. Contribution au Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève : PNUE/OMM; 2001.
- . 2007. . Changements climatiques 2007: Impacts, adaptation vulnérabilité. Contribution au Groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge, R.U, Cambridge University Press.
- . 2014. The Physical Science Basis. Contribution au Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge, R.U, Cambridge University Press.
- Initiative conjointe PNUD/PNUE sur la pauvreté et l'environnement. 2013. Stories of Change de l'Initiative conjointe PNUD/PNUE sur la pauvreté et l'environnement. Centre Pauvreté-Environnement du PNUD-PNUE
- Inter-Tribal Council of Michigan, Inc. 2016. Michigan Tribal Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Planning: rapport de projet. Accès à partir de : [www.itcmi.org/wp-content/uploads/2017/02/BIA\\_CC\\_Adaptation\\_2016\\_Report.pdf](http://www.itcmi.org/wp-content/uploads/2017/02/BIA_CC_Adaptation_2016_Report.pdf).
- Janowiak, M. K., L. R. Iverson, D. J. Mladenoff, E. Peters, K. R. Wythers, W. Xi, L. A. Brandt, P. R. Butler, S. D. et al. 2014. Forest ecosystem vulnerability assessment and synthesis for northern Wisconsin and western Upper Michigan: a report from the Northwoods Climate Change Response Framework project. Gen. Tech. Rep. NRS-136. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. Newtown Square, PA. Accès à partir de : <https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/46393>.
- Kalisch, A. 2014. A framework for climate change vulnerability assessments. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, India Project on Climate Change Adaptation in Rural Areas of India (CCA RAI), New Delhi, Inde. Pp. 183.
- Klein R. J. T. 2001. Adaptation to Climate Change in German Official Development Assistance - An Inventory of Activities and Opportunities with a Special Focus on Africa. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Allemagne, p. 42.

- Kundzewicz, Z. W., L. J. Mata, N. W. Arnell, P. Doll, B. Jimenez, K. Miller, T. Oki, Z. Sen et I. Shiklomanov. 2008. The implications of projected climate change for freshwater resources. *Hydrol. Sci.*, 5(1): 3-10.
- Lalonde, R., J. Gleeson, P.A. Gray, A. Douglas, C. Blakemore et L. Ferguson. 2012. Climate change vulnerability assessment and adaptation options for Ontario's Clay Belt - a case study. Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario. Appl. Res. Devel. Br., Sault Ste. Marie, ON. Climate Change Research Report CCRR - 24.
- Lee, Y., M. R. Penskar, P. J. Badra, B. J. Klatt, et E. H. Schools. 2011. Climate Change Vulnerability Assessment of Natural Features in Michigan's Coastal Zone – Phase I : Assessing Rare Plants and Animals. Michigan Natural Features Inventory Report No. 2011-18, Lansing, MI. 80 pp.
- Lemieux, C. J., P. A. Gray, A. G. Douglas, G. Nielsen et D. Pearson. 2014. From science to policy: The making of a watershed-scale climate change adaptation strategy. *Environmental Science & Policy*, 42: 123-137.
- Lester, N. P., A. J. Dextrase, R. Kushneriuk, M. R. Rawson et P. A. Ryan. 2004. Light and temperature: key factors affecting walleye abundance and production. *Trans. Am. Fish. Soc.* 133: 588-605.
- Lofgren, B. M., F. H. Quinn, A. H. Clites, R. A. Assel, A. J. Eberhardt et C. L. Luukkonen. 2002. Evaluation of potential impacts on Great Lakes water resources based on climate scenarios of two GCMs. *Journal of Great Lakes Research*, 28: 537–554
- Lofgren, B. M., T. S. Hunter et J. Wilbarger. 2011. Effects of using air temperature as a proxy for potential evapotranspiration in climate change scenarios of Great Lakes basin hydrology. *Journal of Great Lakes Research*, 9.
- Lofgren, B. M. et J. Rouhana. 2016. Physically plausible methods for projecting Great Lakes water levels under climate change scenarios. *J. Hydrometeorol.*, 17: 2209-2223
- LREGL (Laboratoire de recherches environnementales sur les Grands Lacs). 2008. Probabilistic outlooks of Great Lakes hydrology and water levels. Accès à partir : <http://www.glerl.noaa.gov/wr/ahps/curfcst/curfcst.html>.
- MacRitchie, S., E. Stainsby, P. Eng et R. Branch. 2011. Lake Simcoe Watershed Climate Change Vulnerability Assessment Water Quality and Quantity.
- McCabe, G. J. et S. L. Markstrom. 2007. A monthly water-balance model driven by a graphical user interface. U.S. Geological Survey Open-File report 2007-1088.

- McCarthy, J. J., O. F. Canziani, N.A. Leary, D. D. Dokken et K. S. White. 2001. Changements climatiques 2001: Impacts, adaptation vulnérabilité. Contribution au Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge, R.U, Cambridge University Press.
- McCallum S. et T. Dworak. 2014. Climate proofing: A step-wise approach for mainstreaming adaptation applied to EU policies. In: Climate Change Adaptation Manual: Lessons Learned from European and Other Industrialised Countries. Prutsch A., S. McCallum, T. Grothmann, I. Schauser and R. Swart (Eds). (pp. 352). Routledge, New York, NY.
- McKenney, J. J., J. H. Pedlar, K. Lawrence, P. A. Gray, S. J. Colombo et W. J. Crins. 2010. Current and projected future climatic conditions for ecoregions and selected natural heritage areas in Ontario. Ont. Mn. Nat. Resour. Clim. Changes Res. Rep. CCRR - 16. 43p + CD.
- MORN [Ministère ontarien des Ressources naturelles]. 2000. Provincial Land Cover 2000 - 27 Classes (PLC2000). Ontario Land Information Warehouse, Land Information Distribution System (LIDS), Peterborough, ON.
- . 2010. Ontario Provincial Hydrometric Network. Ontario Land Information Warehouse, Land Information Distribution System (LIDS), Peterborough, ON.
- . 2011. LAnd Information Ontario database. Ontario Land Information Warehouse, Land Information Distribution System (LIDS), Peterborough, ON.
- . 2013. Integrated Hydrology. Water Resources Information Project. Layer Ontario Information Warehouse, Land Information Distribution System (LIDS), Peterborough, ON.
- Mortsch, L., J. Ingram, A. Hebb, et S. Doka (eds.). 2006. Great Lakes Coastal Wetland Communities: Vulnerability to Climate Change and Response to Adaptation Strategies. Rapport final soumis à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada. Environnement Canada et le ministère des pêches et océans, Toronto, Ontario. 251 pp. + annexes.
- Moss, R. H. J .A., K. A. Edmonds, M. R. Hibbard, S. K. Manning, D. P. Rose, T. R. van Vuuren, S. Carter, M. Emori, T. Kainuma, G. A. Kram, J. F. B. Meehl, N. Mitchell, K. Nakicenovic, S. J. Riahi, R. J. Smith, A. M. Stouffer, J. P. Thomson, J. P., Weyant, T. J. Wilbanks. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463: 747-756.

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Coastal Services Center. 1995-present. The Coastal Change Analysis Program (C-CAP) Regional Land Cover. Charleston, SC: NOAA Coastal Services Center. Accès à partir de : [www.csc.noaa.gov/digitalcoast/data/ccapregional](http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/data/ccapregional).
- NatureServe. 2014. Species Distribution Modeling. Accès à partir de : [www.natureserve.org/conservation-tools/species-distribution-modeling](http://www.natureserve.org/conservation-tools/species-distribution-modeling).
- Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B de Vries, et al. 2000. Special report on emissions scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, R.U., 599 pp. Accès à partir de : [www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm).
- Nelitz, M., S. Boardley and R. Smith. 2013. Tools for Climate Change Vulnerability Assessments for Watersheds. PN. 1494. Prepared for Canadian Council of Ministers of the Environment by ESSA Technologies Limited, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Nunan F., A. Campbell et E. Foster. 2012. Environmental Mainstreaming: The Organisational Challenges of Policy Integration. *Public Admin. Dev.* 32: 262–277.
- OECD. 2009. Policy Guidance on Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-Operation. OECD Publications, Paris, France. 187p.
- OPNTR [Office de protection de la nature de Toronto et de la région]. 2012. Mainstreaming Climate Change Adaptation in Water Resources Management. The State of the Practice and Strategic Direction for Action. 6p.
- Paerl, H. W., W. S. Gardner, K. E. Havens, A. R. Joyner, M. J., McCarthy, S. E., Newell, B. Qin et J. T. Scott. 2016. Mitigating cyanobacterial harmful algal blooms in aquatic ecosystems impacted by climate change and anthropogenic nutrients. *Harmful algae*, 54: 213-222.
- Patwardhan A. 2006. Assessing vulnerability to climate change: The link between objectives and assessment. *Current Science*, 90(3): 376-383.
- Picketts, I. M., A. T. Werner, T. Q. Murdock, J. Curry, S. J. Déry et D. Dyer. 2012. Planning for climate change adaptation: lessons learned from a community-based workshop. *Environ. Sci. Policy*, 17: 82-93.
- PRI. 2007. Indice canadien de la durabilité des ressources hydriques (ICDRH) Projet de recherche sur les politiques. Gouvernement du Canada. Accès à partir de : [www.policyresearch.gc.ca/doclib/SD/SD\\_PR\\_CWSI\\_web\\_e.pdf](http://www.policyresearch.gc.ca/doclib/SD/SD_PR_CWSI_web_e.pdf).

- Rempel, R. S. et M. L. Hornseth. 2017. Binational climate change vulnerability assessment of migratory birds in the Great Lakes Basins: Tools and impediments. *PloS one*, 12(2), e0172668.
- Richard, J. et A. Douglas. 2014. Climate Change Adaptive Capacity Assessment Final Report: Agriculture and Hydrology. A report by the OCCIAR. Accès à partir de : [http://climateontario.ca/doc/workshop/LakeSimcoe/Climate\\_Change\\_Adaptive\\_Capacity-Lake\\_Simcoe-Final\\_Report-MIRARCO.pdf](http://climateontario.ca/doc/workshop/LakeSimcoe/Climate_Change_Adaptive_Capacity-Lake_Simcoe-Final_Report-MIRARCO.pdf)
- Schipper L. et M. Pelling. 2006. Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. *Disasters*, 10(1): 19–38.
- Schneider, S. H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C. H. D. Magadza, M. Oppenheimer, A. B. Pittock, A. Rahman, J. B. Smith, A. Suarez et F. Yamin. 2007. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. *Changements climatiques 2007: Impacts, adaptation vulnérabilité. Contribution au Groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, R.U., 779-810
- Smit, B., I. Burton, R. J. T. Klein et J. Wandel. 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climate Change*, 45: 223–251.
- Smit, B. et J. Wandel. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3): 282-292.
- Stewart, J. S., S. A. Covert, N. J. Estes, S. M. Westenbroek, D. Krueger, D. J. Wiefelich, M. T. Slattery, J. D. Lyons, J. E. McKenna Jr., D. M. Infante et J. L. Bruce. 2016, FishVis, A regional decision support tool for identifying vulnerabilities of riverine habitat and fishes to climate change in the Great Lakes Region: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016–5124, 15 p., with appendixes.
- Swanston, C. et M.K. Janowiak. 2012. Forest adaptation resources: Climate change tools and approaches for land managers. General Technical Report NRS-87. Newtown Square, Pennsylvania. Accès à partir : [www.nrs.fs.fed.us/pubs/40543](http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/40543).
- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van Beek, R., Wada, Y., et al. 2013. Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4): 322-329.
- Tu, C., Milner, G., Lawrie, D., Shrestha, N., Hazen, S. 2017. Natural Systems Vulnerability to Climate Change in Peel Region. Rapport technique. Toronto, Ontario: Office de protection

de la nature de Toronto et de la région et Secrétariat à l'action contre le changement climatique de l'Ontario.

- Uittenbroek, C. J., L. B. Janssen-Jansen, H. A. C. Runhaar. 2013. Mainstreaming climate adaptation into urban planning: overcoming barriers, seizing opportunities and evaluating the results in two Dutch case studies. *Reg environ Change*, 13: 399-411.
- UNITAR. 2015. Resource guide for advanced learning on predicting and projecting climate change. UN CC:Learn. Accès à partir de : [https://www.uncclearn.org/sites/default/files/guide\\_predicting\\_and\\_projecting.pdf](https://www.uncclearn.org/sites/default/files/guide_predicting_and_projecting.pdf)
- U.S. Geological Survey. 2010. National Hydrography Dataset Plus (NHDPlus). Accès à partir de : [http://www.horizon-systems.com/NHDPlus/NHDPlusV1\\_data.php](http://www.horizon-systems.com/NHDPlus/NHDPlusV1_data.php).
- U.S. Army Corps of Engineers. 2015. North Atlantic Coast Comprehensive Study: Resilient Adaptation to Increasing Risk. Accès à partir de : [www.nad.usace.army.mil/Portals/40/docs/NACCS/NACCS\\_main\\_report.pdf](http://www.nad.usace.army.mil/Portals/40/docs/NACCS/NACCS_main_report.pdf).
- U.S. Department of Agriculture (Département américain de l'agriculture). National Agricultural Statistics Service Cropland Data Layer. 2009. Published crop-specific data layer [Online]. Accès à partir de : <http://nassgeodata.gmu.edu/CropScape/>.
- Weiner, M. 2009. A theory of organizational readiness for change. *Implementation Science*, 4: 67.
- Wellstead A. et R. Stedman. 2015. Mainstreaming and Beyond: Policy Capacity and Climate Change Decision-Making. *Michigan Journal of Sustainability*, 3, printemps 2015.
- Wilcox, D. A., J. W. Ingram, K. P. Kowalski, J. E. Meeker, M. L. Carlson, Y. Xie, G. P. Grabas, K. L. Holmes, et N. J. Patterson. 2005. Evaluation of Water-Level-Regulation Influences on Lake Ontario and Upper St. Lawrence River Coastal Wetland Plant Communities. Final report. International Joint Commission, Washington, DC and Ottawa, Ontario. 67 pp.
- Wilke, C. et S. Rannow. 2013. Management Handbook - A Guideline to Adapt Protected Area Management to Climate Change. HABIT-CHANGE Report 5.3.2. Accès à partir de : [www.habit-change.eu](http://www.habit-change.eu).
- Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts. 2017. Wisconsin Natural Community Climate Change Vulnerability Assessments Vulnerability Determination Process. Accès à partir de : [www.wicci.wisc.edu/resources/WI\\_Natural\\_Community\\_CCVA\\_Process.pdf](http://www.wicci.wisc.edu/resources/WI_Natural_Community_CCVA_Process.pdf).

Whitehead P. G., D. Butterfield et A. J. Wade. 2009. Simulating metals and mine discharges in river basins using a new integrated catchment model for metals: pollution impacts and restoration strategies in the Aries-Mures river system in Transylvania, Romania. *Hydrol. Res.*, 40 (2009), pp. 323-346.

Young, J. D., Landre, A. L., Winter, J. G., Jarjanazi, H. et Kingston, J. 2010. Lake Simcoe water quality update. Rapport du ministère de l'Environnement de l'Ontario. Disponible à : <http://www.ene.gov.on.ca/en/water/lakesimcoe/index.php>

## Glossaire des termes

**Vulnérabilité** : « *La vulnérabilité est le degré de capacité d'un système de faire face ou non aux effets néfastes du changement climatique y compris la variabilité climatique et les extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme de l'évolution climatique, des variations auxquelles le système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation* ». (Parry et al. 2007).

**Exposition** : « *Une mesure de l'ampleur et de l'étendue (c.-à-d. échelles spatiales et temporelles) de l'exposition aux répercussions des changements climatiques* » (Nelitz et al., 2013). La présence de personnes, d'infrastructure et de ressources environnementales (récepteurs) dans des zones sujettes aux effets potentiels du [changement climatique] » (NACCS, 2015).

**Sensibilité** : « *Une mesure de la manière dont un système peut répondre quand il est exposé à un stress provoqué par le changement climatique* » (Nelitz et al., 2013).

**Engagement des parties prenantes** : Dans ce rapport, « l'engagement des parties prenantes » se réfère au processus par lequel une études fait participer des personnes qui fournissent des connaissances et une expertise sur un sujet particulier en rapport avec une recherche spécifique.

**Capacité d'adaptation** : La capacité d'un système à s'adapter aux changements climatiques, incluant la variabilité climatique et les extrêmes, aux dommages potentiels modérés, à tirer profit des possibilités ou à faire face aux conséquences » (McCarthy, et al., 2001).

**Évaluation de la vulnérabilité** : Un procédé pour évaluer, mesurer et caractériser l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation d'un système naturel ou humain face aux perturbations (Nelitz et al., 2013).

**Descendant** : Évaluations de la vulnérabilité qui utilisent des outils pour prédire les impacts futurs (c.-à-d. modèles climatiques planétaires et approches descendantes comme intrants dans des modèles biophysiques pour prédire les impacts et les vulnérabilités et informer sur l'adaptation aux changements climatiques).

**Ascendant** : Approches ascendantes se concentrant sur la compréhension de la vulnérabilité des sociétés face aux changements climatiques passés et actuels et sur ce qui les pousse à être sensibles et exposés en premier lieu. Les approches ascendantes sont de nature participative, sont menées au niveau local et sont davantage axées sur la vulnérabilité actuelle que sur la vulnérabilité future, comme dans les approches descendantes. (Kalisch, 2014).

**Approche intégrée** : Une combinaison d'approches descendantes et ascendantes.

## **Annexe A – Liste d'outils et de ressources utiles pour effectuer des évaluations de vulnérabilité**

### **Scanning the Conservation Horizon: A Guide to Climate Change Vulnerability Assessment (2011)**

- Document d'orientation créé pour fournir aux gestionnaires de ressources des informations contextuelles et des approches pour mener des évaluations de la vulnérabilité.
- [www.habitat.noaa.gov/pdf/scanning\\_the\\_conservation\\_horizon.pdf](http://www.habitat.noaa.gov/pdf/scanning_the_conservation_horizon.pdf)

### **National Wildlife Federation et EcoAdapt – Restoring the Great Lakes' Coastal Future: Technical Guidance for the Design and Implementation of Climate-Smart Restoration Projects (2014)**

- Document d'orientation fournissant un aperçu des principes d'adaptation, des orientations pour les projets de restauration intelligents face au climat dans les Grands Lacs et analyse l'expérience de sept études de cas.
- [www.nwf.org/~media/PDFs/Global-Warming/Climate-Smart-Conservation/2014/Restoring-the-Great-Lakes-Coastal-Future-032114.pdf](http://www.nwf.org/~media/PDFs/Global-Warming/Climate-Smart-Conservation/2014/Restoring-the-Great-Lakes-Coastal-Future-032114.pdf)

### **Great Lakes Coastal Wetland Communities: Vulnerabilities to Climate Change and Response to Adaptation Strategies (2006)**

- [www.env.uwaterloo.ca/research/aird/aird\\_pub/Great\\_Lakes\\_Coastal\\_Wetlands\\_Report\\_2006.pdf](http://www.env.uwaterloo.ca/research/aird/aird_pub/Great_Lakes_Coastal_Wetlands_Report_2006.pdf)

### **ClimateWizard**

- Permet aux publics techniques et non techniques d'accéder aux principales informations sur le changement climatique et de visualiser les impacts partout sur Terre.
- [www.climatewizard.org/](http://www.climatewizard.org/)
- Veuillez noter que la version actuelle de ClimateWizard est basée sur des projections plus anciennes (CMIP3) et doit être mise à jour.

### **Le National Conservation Training Center**

- Offre une formation en évaluation de la vulnérabilité en personne et une version en ligne et autonome de la même formation.
- [nctc.fws.gov/courses/programs/climate-change/training-resources.html](http://nctc.fws.gov/courses/programs/climate-change/training-resources.html)

### **Climate Change Vulnerability Index (Indice de vulnérabilité aux changements climatiques) de NatureServe**

- Aide à identifier les plantes et les animaux particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique.
- [www.natureserve.org/conservation-tools/standards-methods/climate-change-vulnerability-index](http://www.natureserve.org/conservation-tools/standards-methods/climate-change-vulnerability-index)

### **Indice de vulnérabilité aux changements climatiques pour les écosystèmes et les habitats**

- Se concentre sur les espèces et utilise un système de notation qui intègre l'exposition prédite d'une espèce au changement climatique dans une zone d'évaluation et trois ensembles de facteurs associés à la sensibilité au changement climatique, chacun étant étayé par des études publiées.
- [www.natureserve.org/conservation-tools/data-maps-tools/climate-change-vulnerability-index-ecosystems-and-habitats](http://www.natureserve.org/conservation-tools/data-maps-tools/climate-change-vulnerability-index-ecosystems-and-habitats)

### **Changing Climate, Changing Wildlife A Vulnerability Assessment of 400 Species of Greatest Conservation Need and Game Species in Michigan (2013)**

- Présente les résultats d'une analyse de l'IVCC menée par NatureServe sur 400 espèces de poissons et d'animaux sauvages du Michigan.
- [www.michigan.gov/documents/dnr/3564\\_Climate\\_Vulnerability\\_Division\\_Report\\_4.24.13\\_418644\\_7](http://www.michigan.gov/documents/dnr/3564_Climate_Vulnerability_Division_Report_4.24.13_418644_7).

### **Cadre des mesures face aux changements climatiques**

- Un processus-cadre en six étapes fondé sur une approche collaborative et transfrontalière entre les scientifiques, les gestionnaires et les propriétaires fonciers afin d'intégrer les considérations relatives au changement climatique dans la gestion des ressources naturelles.
- <https://www.forestadaptation.org/our-approach/framework-overview>

### **Feuille de travail sur la détermination de la vulnérabilité**

- Telle qu'utilisée dans : Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts [WICCI]. 2017. Climate Change Vulnerability Assessment for Great Lakes Barrens in Wisconsin. Climate Vulnerability Assessments for Plant Communities of Wisconsin. Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts, Madison, WI. Disponible sur le site Web : [https://www.wicci.wisc.edu/resources/Great\\_Lakes\\_Barrens\\_CCVA.pdf](https://www.wicci.wisc.edu/resources/Great_Lakes_Barrens_CCVA.pdf)
- **Feuille de travail adaptée de :** Swanston, C., and M.K. Janowiak. 2012. Forest adaptation resources: Climate change tools and approaches for land managers. Rapport technique général NRS-87. Newtown Square, Pennsylvanie. <http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/40543>

### **Feuille de travail de notation sur la confiance :**

- Telle qu'utilisée dans : Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts [WICCI]. 2017. Climate Change Vulnerability Assessment for Great Lakes Barrens in Wisconsin. Climate Vulnerability Assessments for Plant Communities of Wisconsin. Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts, Madison, WI. Disponible sur le site Web : [https://www.wicci.wisc.edu/resources/Great\\_Lakes\\_Barrens\\_CCVA.pdf](https://www.wicci.wisc.edu/resources/Great_Lakes_Barrens_CCVA.pdf)
- **Feuille de travail adaptée de:** Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, Elmar Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G. - K. Plattner, G.W. Yohe, et F.W. Zwiers. 2010. Note d'orientation pour les principaux auteurs du cinquième rapport d'évaluation du GIEC sur le traitement consistant des incertitudes. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) Genève, Suisse.

## Annexe B - Description des sujets de recherche par étude

Tableau B1. Aperçu des sujets de recherche et objet de la documentation examinée

Nom du projet	Auteur(s)	Affiliation du projet	Description du projet
Great Lakes water levels	Angel et Kunkel. 2010	Institute of Natural Resource Sustainability, (Université de l'Illinois), et le Desert Research Institute	Cette étude examine la réponse potentielle future des niveaux d'eau des Grands Lacs en utilisant 565 simulations de modèles provenant de 23 MCG utilisés dans le quatrième rapport du GIEC et trois scénarios d'émissions (A2, A1B et B1) dans le modèle hydrologique des Grands Lacs AHPS Laboratoire de recherche environnementale sur les lacs (GLERL).
Central Hardwoods ecosystem vulnerability assessment and synthesis	Brandt et al., 2013	Département américain de l'agriculture (USDA)- Service des forêts	Cette évaluation évalue les principales vulnérabilités des écosystèmes à une série de scénarios climatiques futurs dans la région centrale de feuillus du Missouri, en Illinois et en Indiana.
Assessment of suitable habitat for <i>Phragmites australis</i> in the Great Lakes coastal zone	Carlson Mazur et al., 2014	Université Bellarmine, École des études environnementales, USGS Great Lakes Science Center	Cette étude analyse les habitats côtiers actuels et prévus de la plante envahissante <i>Phragmites australis</i> (roseau commun) en utilisant des arbres de régression amplifiés, un type de modélisation de la distribution des espèces. Ils ont également étudié les influences différentielles des variables environnementales dans les lacs supérieurs (lacs Supérieur, Michigan et Huron) et les lacs inférieurs (lacs Sainte-Claire, Érié et Ontario).
Ontario adaptive capacity and climate change assessment	Chiotti and Lavender. 2008	Ressources naturelles Canada	Le présent chapitre sert à présenter une évaluation des problèmes les plus importants que le changement climatique fera vraisemblablement surgir en Ontario. Ce chapitre comprend un aperçu des principales conditions économiques, démographiques et environnementales actuelles et futures qui conditionnent la vulnérabilité au changement climatique; l'état des connaissances actuelles sur les sensibilités au climat, les impacts climatiques et la capacité d'adaptation des trois sous-régions de la province; et offre une synthèse des résultats pour l'ensemble des sous-régions, et identifie les domaines pouvant présenter les problèmes les plus préoccupants.
CCVA for aquatic ecosystems in the Clay Belt of Northeastern Ontario	Chu et Fischer. 2012	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario	Basé sur un cadre de vulnérabilité et d'adaptation, l'objectif principal de cette étude était d'identifier des indicateurs de vulnérabilité pour les écosystèmes de zones humides, de cours d'eau et de lacs dans la ceinture d'argile du nord-est de l'Ontario.
Great Lakes Basin inland aquatic ecosystems	Chu, C. 2015.	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario	Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer la vulnérabilité de différents indicateurs pour guider l'élaboration d'une stratégie d'adaptation aux

vulnerability assessment			changements climatiques pour les écosystèmes aquatiques du BGL de l'Ontario.
Lake Simcoe and the wetlands and streams within the watershed	Chu. 2011	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario	Les objectifs de cette étude étaient 1) d'utiliser des indicateurs écologiques pour évaluer les effets potentiels du changement climatique sur les zones humides et les cours d'eau du bassin hydrographique du lac Simcoe et 2) d'appliquer ces résultats pour élaborer une stratégie d'adaptation pour les écosystèmes aquatiques des Bassins hydrographiques du lac Simcoe.
Climate Change as a long-term stressor for the fisheries in the Great Lakes	Collingsworth et al., 2017	Université Purdue, U. S. Geological Survey (Great Lakes Science Center), National Wildlife Federation, Département des ressources naturelles du Michigan, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), l'Université de l'État de l'Ohio et l'Université de l'État du Michigan	En utilisant le Integrated Catchment Model (INCA-P) et le modèle couplé climatique global océan-atmosphère canadien (MCCG3), cette étude vise à: 1) Identifier l'impact du changement climatique sur l'hydrologie et la qualité de l'eau de la rivière Black, un affluent du lac Simcoe. 2) Évaluer les implications de tout changement pour l'avenir du lac Simcoe et 3) Évaluer le succès potentiel des futures stratégies de gestion dans un climat en évolution.
Future proofing management strategies in the Lake Simcoe watershed	Crossman et al. 2013	Université d'Oxford, Université Trent, Université suédoise des sciences agricoles, Université d'État de New York à Cortland, École sur l'environnement et la durabilité et le Global Institute for Water Security (Université de la Saskatchewan)	Cette étude évalue les impacts du changement climatique sur l'hydrologie et la qualité de l'eau de la rivière Black, un affluent du lac Simcoe, au Canada, pour la période 2001-2100.
Minnesota Ecological Limits of Hydrologic Alteration study	Herb et al. 2016	Natural Resources Research Institute (UMD), The Nature Conservancy, Département des ressources naturelles du Minnesota (Programme côtier du lac Supérieur du Minnesota) et Minnesota Sea Grant. Les fonds ont été fournis par le Great Lakes Restoration Initiative et NOAA.	Cette étude explore les liens entre la quantité d'eau et la santé des poissons et des invertébrés dans les affluents du lac Supérieur du Minnesota afin de déterminer la vulnérabilité de ces cours d'eau à l'avenir.
Vulnerability assessment of 400 species of greatest conservation need and game species in Michigan	Hoving, C. L. et al., 2013	Département des ressources naturelles du Michigan	Cette étude est une extension de Lee et al., 2011. Cette étude évalue la vulnérabilité de 400 espèces animales au changement climatique en utilisant l'indice de vulnérabilité au changement climatique (CCVI/IVCC) de NatureServe.

Michigan Tribal Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Planning	Inter-Tribal Council of Michigan Inc. 2016.	Inter-Tribal Council of Michigan Inc.	L'objectif de ce rapport était de permettre aux tribus du Michigan d'identifier les régions vulnérables (ressources naturelles, infrastructures, plantes, poissons, espèces sauvages, caractéristiques naturelles, santé publique) aux impacts du changement climatique et, à partir de là, créer des politiques et une stratégie d'adaptation basées sur les résultats.
Climate Change Vulnerability Assessment of Natural Features in Michigan's Coastal Zone - Phase 1: Assessing Rare Plants and Animals	Lee, Y. et al. 2011	Michigan Natural Features Inventory, Michigan Coastal Management Program - Office of the Great Lakes, Extension de l'Université d'État du Michigan	Pour aider dans les efforts d'adaptation au changement climatique, le Michigan Natural Features Inventory (MNFI), en collaboration avec le Michigan Coastal Management Program, a initié un projet sur deux ans pour évaluer la vulnérabilité des caractéristiques naturelles dans la zone côtière du Michigan au changement climatique, en se concentrant sur les plantes rares, les espèces animales et les communautés naturelles.
Making of a Watershed-scale CCA Strategy	Lemieux et al. 2014.	Université Wilfrid Laurier, Ministère des ressources naturelles de l'Ontario, Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation (OCCIAR), Université Laurentienne	Ce document décrit l'approche, les méthodes et les résultats d'un projet pilote multi-partenaires utilisé pour évaluer les vulnérabilités des systèmes naturels et construits aux changements climatiques et élaborer des options d'adaptation pouvant être incluses dans une stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour le bassin hydrographique du lac Simcoe en Ontario.
Lake Simcoe Water Quality/Quantity VA	MacRitchie et Stainsby. 2010	Ministère de l'Environnement de l'Ontario	Dans cette étude, les chercheurs ont évalué l'impact du changement climatique sur le cycle hydrologique du bassin hydrographique du lac Simcoe.
GL Coastal Wetland VA	Mortsch et al. 2006	Environnement Canada, Pêches et Océans Canada et l'Université de Waterloo	Les chercheurs participant à cette étude ont entrepris un projet de recherche en collaboration visant à évaluer la vulnérabilité de certains milieux humides du lac Ontario (baie Presqu'île, baie Hay, ruisseau Lynde Creek et zones humides de South), Lac Erie (Long Point, Turkey Point, Dunnville, et zones humides Rondeau), and Lake St. Clair (baie Mitchell), au changement climatique.
Binational VA of migratory birds	Rempel et Hornseth. 2017.	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario	Cette étude a exploré des outils et des obstacles à la compréhension et à la réponse aux effets du changement climatique sur la vulnérabilité des oiseaux migrants d'un point de vue binational.
Climate Change Adaptive Capacity Assessment - Agriculture and Hydrology - Lake Simcoe Watershed	Richard et Douglas. 2014	Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation (OCCIAR)	Cette évaluation est fondée sur plusieurs évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques menées en 2010 dans le bassin hydrographique du lac Simcoe. Ce rapport vise à développer les thèmes de l'agriculture et de l'hydrologie et à évaluer la capacité d'adaptation de l'agriculture, ainsi que la qualité et la quantité de l'eau dans le sous-bassin hydrographique du lac Simcoe.

FishVis, Regional Vulnerability Assessment Decision Support Tool	Stewart et al. 2016	Université d'État du Michigan, Département des ressources naturelles du Michigan, Institute of Fisheries Research et le Département des ressources naturelles du Wisconsin	Ce rapport documente l'approche et les données utilisées pour prévoir et projeter la présence d'espèces de poissons dans les conditions climatiques actuelles et futures pour 13 espèces de poissons lotiques dans le bassin des Grands Lacs des États-Unis.
Natural Systems Vulnerability to Climate Change in Peel Region	Tu et al., 2017.	Toronto Conservation Authority et l'Ontario Climate Consortium Secretariat	Cette évaluation de la vulnérabilité étudie les impacts du changement climatique sur les systèmes naturels dans la région de Peel.
North Atlantic Coast Comprehensive Study: Resilient Adaptation to Increasing Risk	Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis, 2015	Le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis et le Conseil national de recherche	Cette étude évalue la vulnérabilité des infrastructures des populations et des ressources à risque dans plus de 31 000 km de la région côtière de l'Atlantique Nord. L'étude vise à permettre aux communautés d'identifier leurs risques d'inondation et de planifier et mettre en œuvre des stratégies en collaboration avec d'autres pour réduire tout risque futur et actuel.
Great Lakes Barrens CCVA	Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts. 2017.	Département des ressources naturelles du Wisconsin	Cette évaluation est l'un des 10 menées par le Département des ressources naturelles du Wisconsin du Natural Heritage Conservation Program pour évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur 50 communautés naturelles.

## Annexe C – Liste des données et des sources de données par étude

Tableau C1 – Données de la documentation et sources de données

Auteur(s)	Sources des données
Angel et Kunkel. 2010	<p>Les changements potentiels futurs du climat dans la région des Grands Lacs ont été dérivés de la dernière série de simulations de modèles climatiques mondiaux produites pour le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).            Quatrième rapport d'évaluation (RE4) (GIEC, 2007a). Des modèles de données ont été obtenues et des informations sur la région des Grands Lacs ont été extraites pour les 20<sup>e</sup> et 21<sup>e</sup> siècles. Dans cette étude, il y a eu des simulations pour trois scénarios d'émission (Nakicenovic et al., 2000). Des modèles supplémentaires sont utilisés pour le routage des canaux (Hartmann, 1988), la régularisation des lacs (Commission internationale de contrôle du fleuve Saint-Laurent, 1963), les dérivations et la consommation d'eau (Conseil international de la dérivation et de la consommation des eaux des Grands Lacs, 1981). Croley (2005) décrit le système AHPS en détail. Le système AHPS a été utilisé pour établir des perspectives hydrologiques probabilistes concernant les Grands Lacs en se fondant sur les perspectives à long terme de la température et des précipitations (GLERL, 2008), ainsi que sur plusieurs études sur les impacts des changements climatiques (Lofgren et al., 2002, 2006).</p>
Brandt et al., 2013	<p>Données sur la distribution des arbres du Service forestier des États-Unis, Analyse et inventaire des forêts, disponibles à :  <a href="https://www.fia.fs.fed.us/tools-data/">https://www.fia.fs.fed.us/tools-data/</a>.            Des variables climatiques (températures quotidiennes, précipitations, vitesse du vent et rayonnement solaire, capacité d'humidité du sol pour plusieurs couches de sol, point de flétrissement, pourcentage de roche, pourcentage d'argile, pourcentage de sable, matière organique initiale et teneurs en azote), obtenues à partir d'observations de stations météorologiques, ont été utilisées pour des entrées de modèles.</p>
Carlson Mazur et al., 2014	<p>Les données sur la présence de phragmites ont été obtenues à partir d'un effort de cartographie récent effectué à l'échelle du bassin et d'images radar recueillies entre 2008 et 2010 dans une zone tampon intérieure de 10 km du littoral des Grands Lacs. Leur variable réponse (présence / absence de Phragmites) résulte de la méthodologie de cartographie de Bourgeau-Chavez et al. (2013). Pour produire une carte des phragmites, Bourgeau-Chavez et al. (2013) sse sont appuyés principalement sur la classification des données radar vérifiée sur le terrain mais, pour réduire la confusion de classe, ils ont utilisé également l'édition manuelle guidée par imagerie aérienne et un filtre basé sur la couverture terrestre du Programme d'analyse des changements côtiers 2006 de l'Administration océanique et atmosphérique nationale C-CAP) (NOAA 1995-présent) et le Cropland Data Layer (CDL) 2009 du Département de l'agriculture des États-Unis (USDA 2009). Les données géospatiales existantes couvrant l'ensemble de la zone d'étude ont été analysées dans un SIG (ESRI ArcGIS Desktop version 9.3 et 10.0) afin de déterminer les variables indépendantes à inclure dans nos modèles. Des variables ont été considérées comme décrivant directement les conditions environnementales pertinentes pour la distribution des Phragmites ou pouvant servir de substituts lorsque des données équivalentes étaient soit indisponibles, soit difficiles à définir de manière spatialement explicite. Telles que mises en œuvre dans le MDD, nos variables environnementales se répartissaient en six catégories: topographie, perturbation, écorégion, sols, nutriments et climat. Toutes les variables incluaient des données natives prises directement à partir de la source, à l'exception des variables dérivées suivantes : densité de la route (RoadDens); proximité de l'agriculture (ProxAg), développement (ProxDev) et changement de couverture terrestre (ProxLCC); et rugosité topographique (TopoRough).</p>
Chiotti et Lavender. 2008	<p>Cet article a produit des graphiques et des cartes de l'Ontario avec divers scénarios de changement climatique, en utilisant le MCG. Le reste des données utilisées pour produire ce rapport consistait de plusieurs articles sur l'adaptation au changement climatique.</p>
Chu et Fischer. 2012	<p>La couverture terrestre 2000 (OMNR 2000) a été utilisée pour identifier et cartographier les zones humides dans la ceinture d'argile dans ArcGIS® 9.2 (Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, Californie, États-Unis). Le changement de la température de la saison de croissance (d'avril à septembre) et des précipitations totales à partir des conditions actuelles pour les scénarios climatiques a été spatialement relié aux polygones des zones humides dans ArcGIS. Les valeurs d'indice de débit de base pondéré en fonction de la superficie ont été calculées pour chacun des polygones de zones humides, toujours à l'aide d'ArcGIS. Les lacs de plus de 0,1 km<sup>2</sup> (n = 1 313) (pour éviter d'inclure les étangs dans les analyses) ont été sélectionnés dans le réseau hydrométrique provincial de l'Ontario</p>

	(OMNR 2010) à l'aide d'ArcGIS. Les températures de l'air moyennes annuelles de juillet ont été calculées en utilisant ArcGIS pour chacun des lacs pour les conditions actuelles et futures. Ces valeurs ont été utilisées pour projeter les températures maximales de l'eau de surface et l'habitat thermique de l'achigan à petite bouche dans les lacs.
Chu, C. 2015.	<p>Les conditions climatiques actuelles ont été estimées à l'aide des normales climatiques de 1971-2000 de McKenney et al. 2010. Les estimations d'ensemble représentaient les changements de température et de précipitations atmosphériques prévus dans le modèle climatique canadien couplé 3 (MCCG-3), le modèle du Centre national de recherche atmosphérique des États-Unis (MIROC32) et le Commonwealth australien. Les modèles de l'Organisation de recherche scientifique et industrielle (CSIRO) ont été approuvés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC 2007, Lalonde et al. 2012). La température moyenne annuelle maximale de juillet, la moyenne de la saison de croissance et les précipitations totales durant la saison de croissance, ont été utilisées pour prévoir les changements dans les indicateurs (McKenney et al. 2010; Lalonde et al. 2012). Les zones humides cartographiées ont été acquises auprès de la couche d'unités de zones humides du ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario (MRNFO) dans la base de données d'Information sur les terres de l'Ontario (ITO) (MRNO 2011). Utilisation de l'indice de vulnérabilité hydrologique (HVI) mis au point par Mortsh et al. (2006). Les données sur le mérou d'Amérique et le grèbe à bec ont été obtenues à partir de l'Atlas des oiseaux nicheurs de l'Ontario, Études d'Oiseaux Canada, dans lequel les données de présence sont représentées par des grilles de -10 km x 10 km (EOC 2008).</p> <p>Le modèle de changement climatique d'ensemble a fourni les températures maximales de l'air utilisées dans les analyses. Les cours d'eau, les pentes et les valeurs de Shreve des cours d'eau ont été acquis à partir de l'hydrologie intégrée du MRNFO (MRNO 2013). Les habitats d'eau froide et chaude ont été définis comme étant des cours d'eau de moins de 19 °C, &gt; 19 à 25 °C et &gt; 25 °C, basés respectivement sur une synthèse nationale des caractéristiques biologiques des poissons canadiens (Coker et al. 2001). Un modèle provincial élaboré par Lester et al. (2004) ont été utilisés pour estimer les changements dans la biomasse du doré jaune.</p>
Chu. 2011	<p>Les données de profil de température (températures à 1 m de profondeur) pour la station OMOE K42 dans la baie Kempenfelt (la partie la plus profonde du lac) ont été utilisées pour compléter l'analyse. Ces données de température couvraient de 1980 à 2009. Les températures de fin d'été (15 septembre) ont été utilisées pour calculer le profil de température moyen actuel. Cela signifie que les températures à chaque intervalle de profondeur de 1 m ont été moyennées entre 1980 et 2009 pour produire un profil de température unique représentant le profil de température moyen de fin d'été pour le K42. Les données moyennes de septembre, sur la température de l'air de 1980 à 2009, ont été obtenues de la station climatologique du Centre de contrôle de la pollution des eaux de Barrie et utilisées pour calculer les températures de l'eau à la surface du lac à partir des températures de l'air (<math>y = 0.63x + 8.28</math>, <math>r^2 = 0.37</math>, <math>p = 0.001</math>). Cette équation a été utilisée pour prédire la température de l'eau de surface selon le scénario MCCG2 A2 pour les périodes 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100. Ces valeurs de température de l'eau de surface ont été entrées dans l'équation 1 pour prédire les profils de température futurs du lac Simcoe.</p>
Collingsworth et al., 2017	Précédente documentation.
Crossman et al. 2013	<p>Une liste des principaux paramètres d'entrée et des sources de données associées requises pour l'étalonnage de l'INCA-P est disponible dans le tableau 1. Deux stations météorologiques ont été utilisées pour obtenir les séries chronologiques des précipitations et de la température. La station Baldwin, située dans le bassin versant de la rivière Black, ne contenait que des données à partir de 1994. Elle a donc été complétée par des données (1992-1993) provenant de la station d'Udora dans le bassin versant du ruisseau Pefferlaw voisin. Les deux stations météorologiques sont surveillées par Environnement Canada. Une station de jaugeage de la Division des relevés hydrologiques du Canada (RHC), située près de l'embouchure de la rivière, a fourni les données de débit utilisées dans le processus de modélisation.</p>
Herb et al. 2016	<p>De nombreuses sources de données ont été compilées et utilisées pour ce projet. Les auteurs fournissent un ajout au rapport avec des données disponible sur ce site Web : <a href="http://data.nri.umn.edu/data/dataset/eloha">http://data.nri.umn.edu/data/dataset/eloha</a>.</p>
Hoving, C. L. et al., 2013	<p>Les auteurs ont utilisé la base de données MNFI Natural Heritage Database, les résumés d'espèces MNFI, l'explorateur d'espèces rares MNFI, NatureServe Explorer, les données GAP du Michigan et d'autres références bibliographiques (Atlas des oiseaux nicheurs du Michigan, Michigan Fish Atlas).</p>

Inter-Tribal Council of Michigan Inc. 2016.	Aucune donnée scientifique n'a été obtenue pour ce rapport. Cependant, des données ont été recueillies en travaillant avec les membres de la communauté et les dirigeants culturels pour identifier les espèces de poissons, d'animaux sauvages et de plantes importantes sur les plans culturel et socioéconomique, les caractéristiques naturelles, les activités culturelles, les risques pour la santé humaine et les ressources de développement des infrastructures et des communautés.
Lee, Y. et al. 2011	Identification des espèces en voie de disparition : base de données sur le patrimoine naturel du Michigan Natural Features Inventory (MNFI), résumés des espèces du MNFI, explorateur d'espèces rares MNFI, NatureServe Explorer, le Species of Greatest Conservation Need (SGCN) dans le plan d'action pour la faune sauvage du Michigan (WAP) et autres documents et références pertinents (par ex. Atlas des oiseaux nicheurs du Michigan, Atlas des poissons du Michigan).
Lemieux et al. 2014.	Ce projet a utilisé un échantillon hétérogène de 74 experts et décideurs. La sélection des participants a suivi les directives générales énoncées par Smit et al. (2000) et autres *(par ex. Franca Doria et al. 2009).
MacRitchie et Stainsby. 2010	Les projections mensuelles des températures et des précipitations tirées de la version 3.1 du Modèle mondial du climat canadien (MCCG), utilisant le scénario A2, ont été utilisées conformément aux directives reçues pour cette analyse. Les projections mensuelles des températures et des précipitations pour la période 2071 à 2100 ont été utilisées comme données d'entrée pour un modèle simple de bilan hydrique (McCabe et Markstrom, 2007) afin de déterminer les impacts potentiels sur le cycle hydrologique. Les neuf indicateurs utilisés pour évaluer les 18 sous-bassins hydrographiques du bassin hydrographique du lac Simcoe ont été déterminés lors de l'examen d'un recueil de rapports préparé par le Comité consultatif scientifique du lac Simcoe (2008). Les sources de données pour les indicateurs étaient les suivantes: 1. Louis Berger Group Inc., 2010. Estimation du chargement du phosphore dans le lac Simcoe. Rapport préparé pour l'Office de protection de la nature du lac Simcoe, septembre 2010; 2. Comité de protection des sources dans le sud de la baie Georgienne et le lac Simcoe, 2010. Projet de rapport d'évaluation proposé, chapitre 3: budget de l'eau et chapitre sur l'évaluation des quantités d'eau; 3. Couches de données et SIG fournies par les offices de protection de la nature de la région du lac Simcoe. Des informations et des données sur la qualité et la quantité du secteur de l'eau du lac Simcoe sont disponibles à partir de rapports récents tels que: OMOE Lake Simcoe Water Quality Update, (Young et al. 2010) LSRCA, OMOE (2009) Rapport sur les charges de phosphore dans le lac Simcoe 2004–2007. Rapport conjoint de l'Office de protection de la nature de la région du lac Simcoe et du ministère de l'Environnement de l'Ontario
Mortsch et al. 2006	Des études de terrain ont été menées sur la réponse des communautés d'oiseaux au changement hydrologique et à la réponse de l'assemblage des poissons aux changements hydrologiques et thermiques. Des analyses de photos aériennes et des travaux sur le terrain, pour mieux comprendre les liens entre les fluctuations du niveau d'eau du lac Ontario et les communautés de plantes, d'oiseaux et de poissons des terres humides, ont été entrepris pour appuyer les travaux actuels de la CMI. L'étude du fleuve Saint-Laurent (LOFSL) a contribué à ce projet (DesGranges et al. 2005; Doka et al. 2005; Wilcox et al. 2005).
Rempel et Hornseth. 2017.	Analyse documentaire sur la biologie des espèces, les tendances des populations et des aires et la modélisation du climat.
Richard et Douglas. 2014	Les auteurs ont obtenu les données à partir des sources suivantes : Recensement agricole de 2011 (Statistique Canada, 2012), Plans des sous-bassins hydrographiques (Office de protection de la nature de la région du lac Simcoe - disponibles à <a href="http://lsrca.on.ca/reports/">http://lsrca.on.ca/reports/</a> ), Rapports d'évaluation de la protection des sources d'eau du lac Simcoe (disponibles à <a href="http://www.ourwatershed.ca/documents/assessment_reports/approved_assessment_reports.php">http://www.ourwatershed.ca/documents/assessment_reports/approved_assessment_reports.php</a> ), Fonds d'assainissement du lac Simcoe ( <a href="http://www.ourlakesimcoe.com/">http://www.ourlakesimcoe.com/</a> ), Lake Simcoe.com, sites Web municipaux et plusieurs rapports (disponibles à <a href="http://lsrca.on.ca/reports/">http://lsrca.on.ca/reports/</a> ) et données de l'Office de protection de la nature de la région du lac Simcoe
Stewart et al. 2016	Les données sur les poissons et les caractéristiques environnementales ont été compilées pour 5 627 sites dans la région des Grands Lacs et ont servi à élaborer des modèles empiriques de la présence de 13 espèces de poissons lotiques représentant les trois guildes thermiques écologiques (froid et chaud). Les caractéristiques environnementales ont été compilées pour tous les tronçons de la zone d'étude, et des modèles et des seuils thermiques ont été appliqués pour prédire la présence

	d'espèces de poissons actuelles pour tous les tronçons, dont la plupart n'étaient pas échantillonnés. L'échelle de 1/100 000 National Hydrography Dataset Plus version 1 (NHDPlusV1) (USGS, 2010) a servi de cadre spatial à toutes les données environnementales et biologiques.
Tu et al., 2017.	Les données utilisées pour ce rapport ont été collectées à travers des examens documentaires, des entrevues et des ateliers avec différentes parties prenantes.
Le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis, 2015.	Ensembles de données nationales (États-Unis) sur la population, les infrastructures, la vulnérabilité sociale, les facteurs de la population et les sensibilités environnementales et culturelles. Ensembles de données sur le climat incorporés dans le modèle SLOSH (niveau de la mer, vents, fréquence des tempêtes, impacts des inondations passées, modèles de circulation générale - températures et précipitations, etc.).
Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts. 2017.	Le Climate Change Tree Atlas a été utilisé à partir du site Web du groupe de travail sur les plantes et les communautés naturelles de la WICCI. Des informations supplémentaires sont disponibles ici : <a href="http://www.wicci.wisc.edu/resources/WICCI_Explanation_of_Tree_Atlas_model.pdf">http://www.wicci.wisc.edu/resources/WICCI_Explanation_of_Tree_Atlas_model.pdf</a> . Un examen complet de la manière dont l'évaluation de la vulnérabilité a été menée est disponible ici : <a href="http://www.wicci.wisc.edu/resources/WI_Natural_Community_CCVA_Process.pdf">http://www.wicci.wisc.edu/resources/WI_Natural_Community_CCVA_Process.pdf</a> .

## Annexe D – Mesures d’adaptation recommandées par étude

Auteur(s)	Mesures d’adaptation recommandées
Brandt et al., 2013	Même si les auteurs n’ont pas fourni leurs propres recommandations, ils ont résumé où les lecteurs pouvaient obtenir des informations supplémentaire (par ex. pour en savoir plus sur les espèces préoccupantes, les auteurs suggèrent que les lecteurs consultent les sites Web du Chicago Botanic Garden et du Missouri Botanical Garden pour en savoir plus sur leurs politiques et stratégies actuelles et pour participer aux réunions de consultation publique. Les auteurs donnent également des conseils de gestion en matière d'évaluation de la vulnérabilité - l'éducation et la sensibilisation du public sont essentielles pour l'adaptation de la région Central Hardwoods, car le public peut être informé des changements futurs et adapter leurs cultures et créer des forêts urbaines.
Chiotti et Lavender. 2008	De nombreuses recommandations figurant dans ce rapport, telles qu’intégrer l'adaptation au changement climatique dans les prises de décision par le biais de politiques et de programmes portant sur le renouvellement des infrastructures, les programmes des niveaux bas de l'eau et des stratégies de croissance (le Clean Water Act), permettent d’élaborer et de mettre en place des plans/stratégies d'adaptation (similaires au plans recommandés pour les communautés des Premières Nations et l’infrastructure de santé) incluant l’engagement des parties prenantes, le suivi et la surveillance, l’éducation et la création de partenariat.
Chu et Fischer. 2012	<p>Des recommandations sont faites pour les zones humides, les cours d’eau et les lacs.</p> <p><b>Zones humides</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des données à grande échelle, qui ne sont actuellement pas disponibles pour les types de zones humides (par ex. tourbières, marais, etc.) dans la ceinture d'argile, doivent être collectées pour déterminer efficacement le sort des zones humides.</li> <li>• Un réseau de stations de surveillance doit être mis en place dans les zones humides de la ceinture d'argile pour permettre la détection des changements dans l'étendue et la qualité des zones humides.</li> <li>• Les espèces des zones humides (par ex. la sauvagine et les amphibiens) doivent être surveillées pour déterminer les effets des changements de l'étendue des zones humides sur leur répartition et leurs populations.</li> </ul> <p><b>Cours d’eau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actuellement, seules deux stations HYDAT (Relevés hydrologiques du Canada) existent dans l'écodistrict 3E-1. Ce réseau doit être élargi pour garantir que des débits de référence précis, des températures et des niveaux d'eau des flux soient établis et que les changements soient surveillés.</li> <li>• Trente-deux des 90 bassins versants quaternaires de la ceinture argileuse ne disposent pas de données facilement disponibles sur les poissons des cours d'eau. Un réseau de surveillance de la qualité de l'eau comprenant un inventaire des poissons et des invertébrés benthiques devrait être établi pour les cours d'eau.</li> <li>• Les données provenant des rapports d'évaluation environnementale des centrales hydroélectriques pourraient être compilées et utilisées pour aider à élaborer un réseau de surveillance des cours d'eau dans toute la ceinture d'argile.</li> </ul> <p><b>Lacs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un soutien continu du programme de surveillance à grande échelle est nécessaire pour établir les conditions actuelles des lacs dans la ceinture d'argile et surveiller les changements au fil du temps. Un échantillonnage à grande échelle devrait être maintenu et, si possible, élargi. L'échantillonnage à grande échelle permet de surveiller la qualité de l'eau ainsi que les populations de zooplancton et de poisson.</li> <li>• Une meilleure compréhension des processus naturels et anthropiques à l'origine des expansions invasives d'espèces de poissons contribuerait à éclairer la gestion et le contrôle de ces espèces.</li> </ul>
Chu, C. 2015.	Recommandations pour la gestion et la planification de l’usage des terres; restauration de l'habitat, expansion et protection; éradication / gestion des espèces envahissantes; régulation du niveau de l'eau; activités humaines et suivi.
Chu. 2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuer à empêcher les activités de remplissage et de drainage dans les zones humides</li> <li>• Continuer à réglementer les prélèvements d’eau de surface et souterraine pour s’assurer que les bilans hydriques des zones humides soient maintenus</li> <li>• Réhabiliter les zones humides par le biais de projets à grande échelle, tels que la restauration des zones tampons riveraines et le débit dans les cours d'eau enfouis sur des terres agricoles ou des projets à petite échelle, tels que la plantation d'arbres.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduire ou étendre des zones tampons riveraines adjacentes aux cours d'eau pour créer des zones ombragées qui réduisent la température des cours d'eau en réponse au réchauffement induit par le climat et pour protéger le cours d'eau contre les eaux de ruissellement délétères.</li> <li>• Dans les cours d'eau réglementés, envisager de convertir les barrages et les bassins d'eaux pluviales en systèmes d'extraction par le bas afin que les eaux plus froides se déversent dans les tronçons en aval.</li> <li>• Envisager de limiter l'usage des terres (en particulier les activités à l'origine d'une couverture de surface imperméable) pouvant modifier les régimes fluviaux et thermiques</li> <li>• Limiter ou réglementer les prélèvements d'eau souterraine et de surface pour maintenir le débit et les températures dans les cours d'eau.</li> <li>• Pour s'adapter aux effets du changement climatique sur l'habitat convenable pour le biote du lac, il est recommandé de réglementer également l'usage des terres environnantes, en particulier les rejets tels que les effluents d'eaux usées et les charges de phosphore pouvant compromettre la qualité de l'eau.</li> <li>• Pour les espèces de poissons d'eaux froides, ajuster les règlements de pêche, tels que les limites de capture, les limites de taille des créneaux, les longueurs de saison et les zones protégées</li> </ul>
Collingsworth et al., 2017	Comme la recherche sur l'adaptation des pêches dans les lacs d'eau douce est encore nouvelle, les auteurs discutent des mesures d'adaptation possibles pouvant être utilisées et examinent la documentation associée à ce sujet, comme l'adaptation écosystémique à la gestion des pêches dans les Grands Lacs. Les auteurs soulignent ensuite l'importance d'incorporer la nature complexe de la gestion des pêches dans la région des Grands Lacs - y compris huit États, une province canadienne et plusieurs entités tribales, deux gouvernements fédéraux et la Commission binationale des pêcheries des Grands Lacs. Les auteurs passent ensuite en revue des documents de gestion municipaux et publics qui prennent en compte le changement climatique dans leurs documents. (par ex. la stratégie provinciale de l'Ontario relative à la pêche, le plan tactique de la Division des ressources fauniques du Département des ressources naturelles de l'Ohio, les projets de pêche multiples de la Great Lakes Indian Fish and Wildlife Commission, l'évaluation de la vulnérabilité sur 400 espèces de poissons et d'animaux sauvages du Département des ressources naturelles du Michigan). Les auteurs soulignent également la nécessité d'un lien entre les systèmes écologiques et sociaux en ce qui a trait aux défis plus larges de la gestion des pêches.
Crossman et al. 2013	Les auteurs ont inclus des scénarios de gestion de modèles, élaborés par Whitehead et al. (2011), qui ont évalué l'efficacité des mesures d'atténuation dans le bassin versant de la rivière Black de 2001 à 2009. Les stratégies de gestion comprenaient des limites des charges d'eaux usées des usines de traitement à 35 kg P / an, comme indiqué dans la Stratégie de réduction du phosphore du lac Simcoe (2010), le contrôle de la charge TP à 16,7 kg P / ha / an, ainsi que la mise en place de plusieurs mesures de contrôle des sédiments, telles que des bandes tampons et des dispositifs anti-érosion.
Herb et al. 2016	Les auteurs proposent 17 objectifs de gestion adaptative axés sur l'accroissement de la résilience, tels que le maintien et la restauration de la connectivité riveraine et de la connectivité entre les systèmes, la création de zones tampons écologiques autour des caractéristiques naturelles et l'encouragement de groupes d'intendance pour protéger et réhabiliter les habitats aquatiques, les zones riveraines et les zones humides.
Inter-Tribal Council of Michigan Inc. 2016.	Le rapport comprend une section sur la planification de l'adaptation stratégique, dans laquelle les auteurs fournissent des mesures et des stratégies d'adaptation recommandées. Les mesures d'adaptation les plus fondamentales comprennent les concepts de résistance, de résilience et de réponse. Les stratégies d'adaptation comprennent la modélisation et le suivi pour évaluer les impacts du changement climatique et réduire les risques d'impacts négatifs. Les données extraites de la surveillance peuvent être utilisées pour planifier et mettre en œuvre des mesures d'adaptation efficaces. Les mesures d'adaptation spécifiques identifiées étaient la gestion des terres et des eaux au profit des communautés, les communautés écologiques, les caractéristiques naturelles ou infrastructures, ainsi que les politiques nouvelles ou modifiées, les technologies nouvelles ou modifiées et l'engagement et la sensibilisation de la communauté.
Lemieux et al. 2014.	Les auteurs ont utilisé l'enquête politique Delphi et l'échelle de type Likert pour soutenir le développement de mesures d'adaptation. Les 43 répondants, au premier cycle de l'enquête, ont soumis plus de 900 idées sur les mesures d'adaptation basées sur les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité. Les options variaient des listes à puces d'actions à des descriptions détaillées sous forme de paragraphe. L'équipe de planification a examiné plus de 900 idées, éliminé les redondances à l'aide d'une analyse de contenu et rédigé 85 options de priorité de premier ordre et 48 options de priorité de second ordre. Dans le cadre de l'examen et de la hiérarchisation des 85 options complétées par les participants à l'atelier, l'équipe de planification a élaboré une série finale de 30 options pour éclairer l'élaboration de la stratégie d'adaptation au changement climatique.

MacRitchie et Stainsby. 2010	Les auteurs ont inclus des recommandations pour la conservation et la gestion de l'eau, la protection / amélioration des zones d'alimentation des eaux souterraines, le reboisement, la protection / amélioration des zones humides, l'amélioration des stratégies de réduction du phosphore, l'amélioration de la surveillance de la neige et de la glace, l'évaluation de l'usine de traitement des eaux usées, le développement et la gestion des infrastructures hydrauliques (par ex. développement à faible impact)
Mortsch et al. 2006	Les auteurs ont inclus des recommandations pour la régulation des niveaux d'eau à l'échelle du lac, l'évaluation des effets actuels de la digue dans les zones humides et l'aménagement du territoire. La principale recommandation, découlant de l'examen des besoins de planification et de la situation actuelle, est la mise en place d'un corridor côtier naturel et de dix critères de planification.
Rempel et Hornseth. 2017.	Les auteurs ont suggéré une collaboration transfrontalière accrue pour changer en mieux la disponibilité et les ressources nécessaires pour améliorer les évaluations de la vulnérabilité et l'élaboration de stratégies de conservation.
Tu et al., 2017.	Les auteurs ne discutent pas directement des mesures d'adaptation, mais ils fournissent des ressources pour améliorer la capacité d'adaptation et offrent également des options de gestion.
Le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis, 2015.	Une grande partie de ce rapport traite des possibilités d'adaptation au changement climatique, notamment l'amélioration de l'usage des terres, l'utilisation rationnelle des plaines inondables, la planification responsable des mesures d'évacuation, la retraite stratégique, la planification par les communautés d'une gestion des risques à long terme, complète et résiliente, la création de nouveaux partenariats, le renforcement de la planification d'avant tempête, la collaboration entre les entités locales, régionales, tribales, étatiques et fédérales, les ONG, le milieu universitaire, les entreprises et les industries.

## Annexe E – Thèmes présents dans la documentation

Nom du projet	Auteur(s)	Thème(s)
Great Lakes water levels	Angel et Kunkel. 2010	Eau potable, aménagement panlacustre, niveau de l'eau, quantité d'eau
Central Hardwoods ecosystem vulnerability assessment and synthesis	Brandt et al., 2013	Habitat et espèces, espèces aquatiques envahissantes (espèces envahissantes non aquatiques), nutriments et algues, gestion par les lacs
Assessment of suitable habitat for <i>Phragmites australis</i> in the Great Lakes coastal zone	Carlson Mazur et al., 2014	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes, produits chimiques toxiques, nutriments et algues, plages, rejets provenant des bateaux, aménagement panlacustre, quantité d'eau
Ontario adaptive capacity and climate change assessment	Chiotti et Lavender. 2008	Habitats et espèces, qualité de l'eau et des eaux souterraines, nutriments et algues, impacts sur les bassins hydrographiques, eau potable, niveau de l'eau, quantité d'eau
CCVA for aquatic ecosystems in the Clay Belt of Northeastern Ontario	Chu et Fischer. 2012	Habitats et espèces, impacts sur les bassins hydrographiques.
Great Lakes Basin inland aquatic ecosystems vulnerability assessment	Chu, C. 2015.	Habitats et espèces, qualité de l'eau et des eaux souterraines
Lake Simcoe and the wetlands and streams within the watershed	Chu. 2011	Habitats et espèces, qualité de l'eau et des eaux souterraines, nutriments et algues, impacts sur les bassins hydrographiques, gestion des lacs, niveau de l'eau, quantité d'eau
Climate Change as a long-term stressor for the fisheries in the Great Lakes	Collingsworth et al., 2017	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes, nutriments et algues, aménagement panlacustre, niveau de l'eau,
Future proofing management strategies in the Lake Simcoe watershed	Crossman et al. 2013	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes, produits chimiques toxiques, qualité de l'eau et des eaux souterraines, nutriments et algues, eau potable et rejets provenant des bateaux (traitement des eaux usées / ruissellement des eaux pluviales), aménagement panlacustre
Minnesota Ecological Limits of Hydrologic Alteration study	Herb et al. 2016	Habitats et espèces, impacts sur les bassins hydrographiques, aménagement panlacustre, quantité d'eau
Vulnerability assessment of 400 species of greatest conservation need and game species in Michigan	Hoving, C. L. et al., 2013	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes, niveau d'eau, quantité d'eau
Michigan Tribal Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation	Inter-Tribal Council of Michigan Inc. 2016.	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes, impacts sur les bassins hydrographiques

Planning		
Climate Change Vulnerability Assessment of Natural Features in Michigan's Coastal Zone - Phase 1: Assessing Rare Plants and Animals	Lee, Y. et al. 2011	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes, niveau de l'eau, quantité d'eau
Making of a Watershed-scale CCA Strategy	Lemieux et al. 2014.	Habitats et espèces, rejets provenant des bateaux, aménagement panlacustre, niveau de l'eau
Lake Simcoe Water Quality/Quantity VA	MacRitchie and Stainsby. 2010	Habitats et espèces, qualité de l'eau et des eaux souterraines, nutriments et algues, impacts sur les bassins hydrographiques, plages, niveau de l'eau
GL Coastal Wetland VA	Mortsch et al. 2006	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes, impacts sur les bassins hydrographiques, plages, rejets provenant des bateaux, aménagement panlacustre, niveau de l'eau
Binational VA of migratory birds	Rempel et Hornseth. 2017.	Habitats et espèces
Climate Change Adaptive Capacity Assessment - Agriculture and Hydrology - Lake Simcoe Watershed	Richard et Douglas. 2014	Qualité de l'eau et des eaux souterraines, impacts sur les bassins hydrographiques, eau potable, niveau de l'eau, quantité d'eau
FishVis, Regional Vulnerability Assessment Decision Support Tool	Stewart et al. 2016	Habitats et espèces
Natural Systems Vulnerability to Climate Change in Peel Region	Tu et al., 2017.	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes, produits chimiques toxiques, qualité de l'eau et des eaux souterraines, nutriments et algues, impacts sur les bassins hydrographiques, eau potable, rejets provenant des bateaux et aménagement panlacustre (effluents des systèmes de traitement des eaux usées), niveau de l'eau, quantité d'eau
North Atlantic Coast Comprehensive Study: Resilient Adaptation to Increasing Risk	Le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis, 2015	Qualité de l'eau et des eaux souterraines, impacts sur les bassins hydrographiques, plages, eau potable, niveau de l'eau, quantité d'eau
Great Lakes Barrens CCVA	Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts. 2017.	Habitats et espèces, espèces aquatiques envahissantes (espèces envahissantes non aquatiques), plages, aménagement panlacustre, niveau de l'eau