

PROTOCOLE TECHNIQUE D'ÉVALUATION DES MENACES À LA SANTÉ DES EAUX DOUCES

WWF-CANADA



29 mai 2015

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	2
2	POLLUTION	3
2.1	Pollution ponctuelle.....	4
2.2	Incidents de pipelines	5
2.3	Accidents de transport.....	6
2.4	Contamination agricole.....	7
3	PERTE D'HABITATS	8
3.1	Utilisation/Couverture du terrain – Surfaces artificielles et terres cultivées	8
3.2	Perte forestière	9
4	FRAGMENTATION.....	10
4.1	Fragmentation par barrages	10
4.2	Fragmentation par routes et voies ferrées	11
5	USAGE DE L'EAU	12
6	ESPÈCES ENVAHISSANTES	13
7	ALTÉRATION DES DÉBITS	14
8	CHANGEMENTS CLIMATIQUES	15
9	AGRÉGATION DES SCORES POUR LES SOUS-AIRES DE DRAINAGE	16
10	AGRÉGATION DES SCORES AU NIVEAU DES BASSINS PEARSE	17
11	QUALITÉ DES DONNÉES	17
12	RÉFÉRENCES	19
13	ANNEXE 1 – CLASSIFICATION DES INDICATEURS ET SOUS-INDICATEURS	22
14	ANNEXE 2 – SOURCES DES DONNÉES.....	28
15	ANNEXE 3 – LISTE COMPLÈTE DES ESPÈCES ENVAHISSANTES	31

1 INTRODUCTION

L'Évaluation des menaces à la santé des eaux douces menée par le WWF-Canada propose un ensemble d'indicateurs clés pour identifier les facteurs de stress présents dans l'ensemble des systèmes d'eau douce du Canada. Employant une méthodologie et des mesures scientifiquement crédibles, ce cadre d'évaluation permet l'analyse à grande échelle et la classification des menaces et stress qui pèsent actuellement sur les réseaux hydrographiques. L'évaluation des menaces sert de complément aux bilans de santé des cours d'eau du WWF-Canada. Alors que le bilan de santé donne des renseignements qui aident à comprendre dans quel *état* se trouve un bassin versant à un moment donné, l'évaluation des menaces vise à comprendre *pourquoi* le bassin est dans cet état. Par exemple, un bassin versant qui affiche de faibles scores de qualité de l'eau dans son Bilan de santé présentera aussi, fort probablement, une menace élevée de pollution dans l'Évaluation des menaces à la santé des cours d'eau de ce bassin. Ensemble, ces deux analyses ont pour but d'aider à cerner les actions prioritaires qui nous permettront de faire en sorte que toutes les eaux douces du Canada soient écologiquement saines d'ici 2025.

Sept indicateurs de menaces sont présentés dans ce cadre d'évaluation : la pollution, la perte d'habitats, la fragmentation, l'usage, les espèces envahissantes, les altérations de débit et les changements climatiques. Ces indicateurs ont été élaborés en conformité avec la documentation actuelle sur les menaces aux systèmes d'eau douce, notamment le rapport d'Environnement Canada intitulé *Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada* (Environnement Canada, 2001). Entre autres exemples d'identification et de cartographie des menaces aux habitats d'eau douce dont s'inspire ce protocole, il y a les travaux portant sur le stress cumulatif dans les Grands Lacs (Allan et coll., 2012) et sur les menaces à la faune d'eau douce en péril (Richter et coll., 1997), ainsi qu'une évaluation mondiale des menaces à la sécurité de l'eau pour les humains et la biodiversité des cours d'eau (Vorosmarty et coll., 2010). La méthodologie a en outre été révisée et validée par plusieurs universitaires et spécialistes chevronnés qui ont aidé à la peaufiner dans le respect des méthodes et techniques hydrologiques, écologiques et géomorphologiques actuelles.

Quatre des sept indicateurs comprennent des sous-indicateurs mesurant quantitativement le niveau d'un aspect donné de la menace. Cette analyse quantitative est fondée sur les données disponibles, leur qualité et un raisonnement scientifique s'appuyant sur la documentation antérieure. Ces sous-indicateurs sont ensuite agrégés en un score final pour l'indicateur, ce qui donne le niveau de menace de ce facteur. Les analyses pour chaque sous-indicateur et indicateur ont été menées à l'échelle du sous-bassin versant, selon les « sous-aires de drainage » établies par la Division des relevés hydrologiques du Canada (Ressources naturelles Canada, 2009). Par la suite, les scores des sous-aires de drainage sont agrégés au niveau « Pearse » du bassin versant, tel que défini dans *Vers un renouveau : rapport définitif de l'Enquête sur la politique fédérale relative aux eaux* (Pearse, Bertrand et Maclaren, 1985).

La version actuelle de l'Évaluation des menaces à la santé des cours d'eau est axée sur les réseaux hydrographiques, mais sa pertinence s'étend à tous les écosystèmes d'eau douce, y compris les lacs et les terres humides. De plus, l'Évaluation des menaces à la santé des cours d'eau a une portée nationale et vise à fournir un cadre d'évaluation uniforme et cohérent à grande échelle pour tout le Canada. C'est pourquoi des ensembles nationaux de données ont servi à l'analyse. Les variations en matière de géologie, de données locales et « hyper locales », et de menaces n'ont pas été prises en compte dans l'analyse. Enfin, l'évaluation s'est faite sous forme de classement relatif des menaces partout au pays. Par exemple, un faible score attribué à un bassin versant indique que celui-ci se classe relativement bas comparativement à tous les bassins du Canada. On n'a pas encore défini de seuils absolus permettant de quantifier les niveaux de menace.

Tableau 1 : Indicateurs et sous-indicateurs utilisés pour les Évaluations des menaces à la santé des cours d'eau du WWF-Canada

INDICATEUR	DESCRIPTION	SOUS-INDICATEUR
POLLUTION	Présence ou introduction dans l'environnement de substances ou d'autres éléments ayant des effets nocifs ou toxiques et provenant de l'industrie (usines, mines, exploitation ou transport d'hydrocarbures, pâtes et papiers, etc.), du traitement ou rejet d'eaux usées, de l'agriculture, etc.	Pollution ponctuelle
		Incidents de pipelines
		Accidents de transport
		Risques de contamination agricole par le rejet d'azote, de phosphore et de pesticides
PERTE D'HABITATS	Perte d'habitats d'eau douce (terres humides, tourbières, marais, etc.) résultant de la conversion des terres pour l'agriculture, l'urbanisation ou l'industrie.	Utilisation/Couvertures du terrain
		Perte forestière
FRAGMENTATION	Perte de liaisons entre les habitats d'eau douce résultant de l'aménagement d'obstacles comme des routes, des voies ferrées et des barrages.	Fragmentation par barrages
		Fragmentation par routes et voies ferrées
USAGE DE L'EAU	Quantité totale d'eau prélevée des réseaux d'eau douce pour usage urbain, agricole et industriel.	Ratio du prélèvement d'eau en fonction de l'apport en eau
ESPÈCES ENVAHISSANTES	Espèces introduites intentionnellement ou accidentellement dans un milieu extérieur à leur aire de répartition naturelle, qui provoquent souvent la disparition d'espèces indigènes.	Présence d'espèces envahissantes
ALTÉRATION DES DÉBITS	La mise en place de grands barrages et réservoirs peut provoquer des dommages écologiques, entraîner la dégradation d'écosystèmes, nuire aux habitats naturels et altérer le débit naturel d'un réseau hydrographique.	Dimensions du barrage ou réservoir
CHANGEMENTS CLIMATIQUES	Les variations de quantité et de température de l'eau résultant des changements climatiques ont une incidence sur la disponibilité de l'eau et l'écologie des espèces vivant dans le système.	Anomalies des températures maximales d'été
		Anomalies des températures moyennes d'hiver
		Anomalies des précipitations du printemps
		Anomalies des précipitations d'été

2 POLLUTION

La pollution de l'eau présente des risques considérables pour sa qualité, tant en ce qui a trait à l'eau potable qu'à la santé des écosystèmes aquatiques. Les administrateurs et scientifiques de l'Institut national de recherche sur les eaux (INRE) ont cerné 12 menaces liées à la pollution qui pèsent sur nos systèmes d'eau douce (Environnement Canada, 2001) : les éléments nutritifs, l'acidification, les substances perturbatrices du système endocrinien, les organismes génétiquement modifiés, les pathogènes, les toxines algales, les pesticides, le transport à grande distance des polluants atmosphériques, les effluents du traitement des eaux usées municipales, les rejets d'eaux usées industrielles, le ruissellement en milieu urbain et les pratiques de gestion des déchets solides. Notre objectif, en effectuant cette Évaluation des menaces à la santé des cours d'eau, est de quantifier ces menaces de pollution à l'aide des mesures que nous avons mises au point. L'indicateur *Pollution de l'eau* incorpore quatre sous-indicateurs : 1) la pollution ponctuelle; 2) les incidents de pipelines; 3) les accidents de transport de matières dangereuses; 4) les rejets agricoles. Le niveau maximum de menace de ces quatre sous-indicateurs sert à déterminer les résultats de l'indicateur agrégé *Pollution*.

2.1 Pollution ponctuelle

La pollution ponctuelle – provenant d'une source unique située à un endroit précis – a une incidence sur la qualité de l'eau et la santé globale d'un bassin versant. Les matières polluantes rejetées dans la terre, l'atmosphère ou l'eau aboutissent dans les réseaux hydrographiques et s'écoulent au fil des cours d'eau, affectant le bassin en aval de la source ponctuelle. L'*Inventaire national des rejets de polluants* « est l'inventaire légiféré du Canada, accessible au public, des polluants rejetés (dans l'atmosphère, dans l'eau et dans le sol), éliminés et recyclés » (Environnement Canada, 2014). Mandaté en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* [LCPE (1999)], l'inventaire rend compte de plus de 6 500 installations au Canada, de 346 substances et des données de rapports de 1993 à 2013. Les installations répertoriées comprennent, entre autres, les usines de fabrication, les centrales électriques au charbon, les fonderies de métaux communs, les raffineries de pétrole, les aciéries, les cimenteries, les usines de pâtes à papier, les installations d'exploitation des sables bitumineux et les incinérateurs.

Nous avons colligé des données sur toutes les substances rejetées dans l'eau et la terre par chaque installation. Les émissions atmosphériques sont exclues de cette analyse, car il est très difficile de retracer leur trajectoire pour voir où elles pourraient se déposer. Les rejets dans l'air au-dessus d'un bassin versant, par exemple, peuvent très bien retomber dans un bassin voisin, selon les conditions météorologiques et la nature des substances émises. Les rejets totaux dans l'eau et la terre, de 1993 à 2013, ont été calculés pour chaque installation. Étant donné que l'inventaire émane de la loi et que les unités de rejet sont normalisées en tonnes métriques, il a été possible de compiler le rejet total de chaque installation malgré la diversité des substances émises. Les rejets de substances divulgués en grammes ou kilogrammes ont été normalisés en tonnes métriques. Les dioxines et les furanes sont exclus de cette analyse, car leurs rejets totaux sont rapportés sous forme d'équivalence toxique et ne pouvaient donc pas être normalisés en tonnes.

Afin de quantifier la menace dans un bassin versant, la menace relative que pose une installation a été pondérée en fonction de deux facteurs : 1) les rejets totaux dans la terre et l'eau, et 2) sa position dans le bassin versant (distance en aval de l'installation à l'embouchure du bassin). Si cette source ponctuelle est située en amont, dans le cours supérieur du bassin versant, l'on peut présumer qu'elle a un plus grand impact en aval dans ce bassin, à mesure que les polluants s'écoulent au fil du courant. Inversement, si l'installation source se trouve plus près de l'embouchure du bassin versant, les polluants s'écoulent sur une plus courte distance à l'intérieur de ce bassin et ont donc un moindre impact sur celui-ci. Nous n'avons pas fait d'analyse des réseaux hydrographiques voisins, estimant qu'une installation n'a d'incidence que sur le bassin versant où elle se trouve et n'affecte pas, à priori, les bassins avoisinants.

La distance en aval à partir de l'installation jusqu'à l'embouchure du bassin a été calculée pour chaque sous-bassin versant. Nous avons ensuite classé ces distances en quatre catégories de pourcentages, chaque pourcentage recevant un coefficient de pondération de 1 à 4. Par exemple, si la distance de l'installation à l'embouchure est classée dans le 4^e pourcentage (plus longue distance), son coefficient de pondération est de 4; de même, pour les distances du premier pourcentage (plus courtes), le coefficient de pondération est de 1.

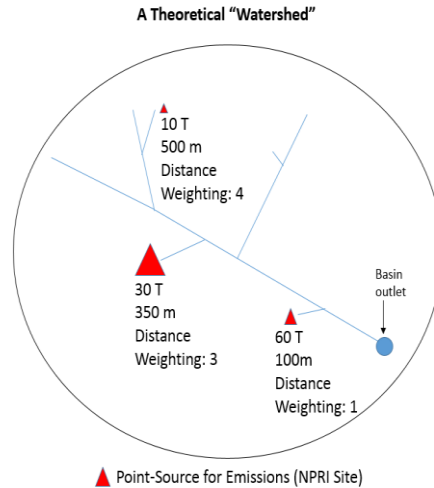


Figure 1 : Exemple théorique de pondération des distances

Le rejet total dans la terre et l'eau est multiplié par le coefficient de pondération de la distance, puis ces pondérations totales sont additionnées pour chaque sous-bassin versant. Enfin, les sommes ainsi obtenues sont classées en pourcentages dans le système ArcGIS (Annexe 1, Tableau 3).

2.2 Incidents de pipelines

Les pipelines transportent divers produits, surtout du pétrole brut ou traité (oléoducs), ou du gaz naturel (gazoducs) d'un endroit à un autre. Une fuite ou un déversement de ces produits toxiques est nocif pour la faune, la flore et les habitats d'eau douce, et peut avoir des effets néfastes sur les oiseaux, les poissons et les humains (The Pembina Institute: Sustainable Energy Solutions, 2009). Les huiles plus lourdes adhèrent aux sédiments, aux pierres et aux débris dans le lit d'un cours d'eau et dégagent des toxines sur une longue période. Les matières plus légères flottent généralement à la surface et peuvent prendre jusqu'à trois jours à s'évaporer. Les fuites de gaz naturel font d'ordinaire moins de dégâts, car elles s'évaporent plus rapidement (The Pembina Institute: Sustainable Energy Solutions, 2009). Que l'écoulement se produise sur terre ou dans l'eau, les matières libérées risquent de se retrouver dans nos eaux douces, que se soit par écoulement ou par percolation jusqu'à la nappe phréatique. Les fuites d'oléoducs sont difficiles et coûteuses à nettoyer et par conséquent, elles peuvent avoir des effets à long terme (Vanderklippe, 2011).

Il est difficile d'accéder à des bases de données exhaustives, à l'échelle nationale, sur les incidents mettant en cause des pipelines. Avant le mois d'avril 2015, l'Office national de l'énergie (ONÉ), l'organisme fédéral de réglementation qui supervise les pipelines interprovinciaux, ne disposait que de données incomplètes et inutilisables à ce sujet. Nous avons mis au point le sous-indicateur *Incidents de pipelines* à partir des données compilées par la Canadian Broadcasting Corporation (CBC) en 2012. Le diffuseur national a obtenu ces données de l'ONÉ grâce à la Loi d'accès à l'information, mais celles-ci présentaient plusieurs lacunes et n'étaient pas toutes normalisées. La CBC a « fait le ménage » de l'ensemble de données et y a normalisé les mesures de volume des fuites que l'ONÉ avait compilées suivant des unités de mesure disparates. La CBC a ensuite demandé à des spécialistes de calculer la densité volumique de chaque type de substance, puis a vérifié les résultats auprès de l'ONÉ. On a ainsi pu documenter au total 1 047 incidents de 2000 à 2013. Ces événements ont été cartographiés de manière à situer les villes et zones peuplées les plus proches, aucune coordonnée géographique du lieu des incidents n'ayant été notée à l'origine. Les incidents étaient classés par catégories, tels les rejets de substances, les blessures graves, les décès, les défaillances du matériel, les feux ou explosions, les bris de pipeline, les failles de sécurité ou autres événements, la nature de l'incident n'étant pas documentée dans certains cas. La plupart des événements rapportés l'étaient dans plusieurs catégories, mais souvent, même si une fuite était signalée, le volume total des substances rejetées ne l'était pas.

Aux fins de cette analyse, nous n'avons tenu compte que des fuites dont le volume était documenté. Étant donné la difficulté de déterminer la menace que pose un incident si l'on ignore son envergure, ces incidents vagues ont été traités en tant que « menaces inconnues ». Nous avons additionné les volumes totaux par événement en fonction des sous-bassins versants. Enfin, la menace relative dans chaque bassin versant a été établie à l'aide de pourcentages dans ArcGIS (Annexe 1, Tableau 3). Si tous les incidents de pipeline dans un bassin versant donné ne présentent aucun volume de fuite, le bassin reçoit un score de « Menace inconnue », tandis que les bassins où aucun incident n'a été rapporté obtiennent un score de « Aucune menace ».

Les liens suivants (en anglais seulement) permettent d'accéder à la source des données ainsi qu'aux autres informations publiées par la CBC relativement aux questions abordées dans son reportage :

<http://www.cbc.ca/news2/interactives/pipeline-incidents/>

<http://www.cbc.ca/news/pipeline-project-from-grainy-documents-to-interactive-map-1.2251803>

2.3 Accidents de transport

Au même titre que les incidents de pipelines, les accidents liés au transport de matières dangereuses par route et voie ferrée sont nocifs pour les cours d'eau et leurs écosystèmes. Si les fuites et les déversements ne sont pas nettoyés à temps, des substances dangereuses peuvent se retrouver dans nos réseaux hydrographiques par écoulement en surface ou infiltration dans les eaux souterraines. Ces produits peuvent ravager directement les habitats d'eau douce et les espèces qui y vivent.

Les données sur les accidents routiers et ferroviaires impliquant des matières dangereuses ont été obtenues grâce à une demande d'accès à l'information contenue dans le Système d'information sur les accidents concernant les marchandises dangereuses (SIACMD) de Transport Canada, une base de données de la Direction générale du transport des marchandises dangereuses qui exige, en vertu de la loi, que tout accident notable soit dûment rapporté et documenté. Nous avons ainsi pu examiner tous les rapports d'accidents de divers modes de transport (air, route, train) survenus au Canada de 2000 à mars 2015 et mettant en cause des matières dangereuses. Les lieux des accidents ont été cartographiés relativement aux plus proches zones habitées.

Aux fins de notre étude, nous avons filtré la somme d'accidents pour ne prendre en compte que ceux où apparaissaient les mots-clés « déversement » ou « fuite ». Tous les autres ont été omis de l'analyse. Nous avons ensuite resserré nos critères aux accidents qui avaient eu des conséquences liées à l'environnement. Ceux dont les effets se limitaient aux humains, à la propriété ou aux biens matériels étaient donc omis. La base de données indiquait aussi la gravité potentielle des conséquences d'accidents, une évaluation fondée sur les résultats connus de l'accident et la probabilité de conséquences plus graves à l'avenir. Cette gravité potentielle est classée par le SIACMD suivant les cinq catégories suivantes :

- 1- **Léger** : qualifie un incident qui a peu de conséquences, voire aucune, dans des conditions normales, et présentant peu de risques d'aggravation, de danger pour la vie ou de risques de graves dommages permanents à l'environnement (nappe aquifère, réservoir, approvisionnement en eau), à moins qu'on ne s'y prenne fort mal.
- 2- **Moyen** : qualifie un accident potentiellement dangereux qui ne risque guère d'être catastrophique, mais qui mettra en danger la vie ou l'environnement (nappe aquifère, réservoir, approvisionnement en eau) si l'on ne s'en occupe pas correctement.
- 3- **Grave** : qualifie un accident nettement dangereux qui pourrait être catastrophique dans certaines conditions de circulation ou de météo, ou en cas d'intervention non satisfaisante. Accident qui pourrait facilement devenir une situation catastrophique.

- 4- **Sévère** : qualifie un accident qui risque fort de devenir catastrophique, où les risques de mort, de blessures graves ou de dommages permanents à l'environnement (nappe aquifère, réservoir, approvisionnement en eau) sont élevés.
- 5- **Catastrophique** : qualifie un accident où de grosses pertes de vies humaines, de graves blessures ou de graves dommages à l'environnement (nappe aquifère, réservoir, approvisionnement en eau) se produiront assurément ou ne pourront être évités qu'avec beaucoup de chance.

(SIACMD, 2015)

Aucun renseignement sur le volume des déversements n'était fourni dans le recensement des rapports. Le score final de menace a été calculé à partir du classement de gravité potentielle du SIACMD. Chaque accident est pondéré en fonction du risque potentiel qu'il présente, de 1 pour un accident léger à 5 pour un accident catastrophique. La note pondérée de chacun s'additionne ensuite aux autres dans le sous-bassin versant pour produire un score par sous-bassin. Le classement final du sous-indicateur *Accidents de transport* est produit par l'algorithme des seuils naturels de Jenks sur ArcGIS (Annexe 1, Tableau 3).

2.4 Contamination agricole

L'agriculture intensive peut provoquer d'importants rejets de contaminants par ruissellement dans les réseaux hydrographiques. Le fumier, les engrais chimiques et les pesticides employés pour améliorer le rendement des cultures sont autant de matières qui contiennent des contaminants, dont les trois principaux sont l'azote, le phosphore et les composés chimiques complexes des pesticides. L'écoulement de ces agents de contamination dans les cours d'eau peut produire des effets néfastes, comme la prolifération d'algues, et nuire à la santé humaine (Environnement Canada, 2001).

La menace relative des rejets agricoles dans chaque sous-bassin versant a été établie par agrégation de trois sous-sous-indicateurs : 1) le risque de contamination de l'eau par l'azote, 2) par le phosphore et 3) par les pesticides. Nous avons téléchargé un jeu de données pour chacun de ces trois sous-sous-indicateurs à partir du site du Programme national d'analyse et de rapport en matière de santé agroenvironnementale (PNARSA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ces données présentent les niveaux de risque potentiel de rejets agricoles, classés de « Très faible » à « Très élevé », selon les polygones des pédo-paysages du Canada.

Les polygones des pédo-paysages du Canada ne correspondent toutefois pas aux sous-aires de drainage (SAD) de la Division des relevés hydrologiques du Canada. Par conséquent, nous avons dû convertir les cartes PNARSA en format trame, pour ensuite faire la somme des classements par contaminant dans chaque sous-aire de drainage, puis diviser le résultat par la superficie totale de la sous-aire de drainage (Équation 1).

$$\text{Risque } SAD_{xy} = \frac{\text{Aire}_{xy}}{\text{Superficie totale de la sous-aire de drainage}}$$

Équation 1

où x est le classement (« Très faible », « Faible », « Moyen », « Élevé » et « Très élevé ») et y est le contaminant (azote, phosphore ou pesticide).

Enfin, une somme pondérée a été tirée de chaque classement (Équation 2).

$$\text{Menace } SAD_y = (1 \times \text{Risque } SAD_y \text{ très faible}) + (2 \times \text{Risque } SAD_y \text{ faible}) + (3 \times \text{Risque } SAD_y \text{ moyen}) \\ + (4 \times \text{Risque } SAD_y \text{ élevé}) + (5 \times \text{Risque } SAD_y \text{ très élevé})$$

Équation 2

Nous avons calculé cette somme pondérée pour l'azote, le phosphore et les pesticides séparément, puis l'avons reclassée en pourcentages correspondant au niveau de risque, soit de « Très faible » à « Très élevé » par sous-aire de drainage par contaminant. Enfin, le niveau maximum des trois sous-sous-indicateurs a servi de classement final pour l'indicateur *Contamination agricole* (Équation 3).

$$\text{Menace SAD} = \text{Maximum} (\text{Menace SAD}_{\text{azote}}, \text{Menace SAD}_{\text{phosphore}}, \text{Menace SAD}_{\text{pesticides}})$$

Équation 3

3 PERTE D'HABITATS

L'altération des terres par les humains pour leur usage peut avoir des impacts considérables sur la santé des réseaux d'eau douce. Les surfaces imperméables qui empêchent l'eau de s'infiltrer dans le sol peuvent accroître les menaces qui pèsent sur les espèces d'eau douce. Alors que les habitats naturels peuvent en général filtrer l'eau de ruissellement avant qu'elle n'entre dans un bassin versant, la multiplication des surfaces couvertes d'asphalte, de béton et de pavés réduit la capacité naturelle de fonctionner des écosystèmes (Theobald, Goetz, Norman, & Jantz, 2009; Stanfield & Kilgour, 2006). Cette perte de fonction naturelle augmente la quantité d'eau de ruissellement et de matières polluantes s'écoulant dans les cours d'eau. En outre, l'altération des terres par les humains expose les espèces du bassin versant à divers risques. L'urbanisation, l'industrialisation, la perte forestière et l'expansion des terres agricoles, témoignages de l'empreinte anthropique, sont une menace à la biodiversité des écosystèmes. On se sert souvent de mesures comme la perte forestière (Booth, Hartley, & Jackson, 2002; Environment Canada, 2001), l'utilisation ou la couverture des terrains (Kilgour & Barton, 1999) et l'étalement des terres agricoles (Environnement Canada, 2001) pour quantifier les menaces aux écosystèmes d'eau douce.

Nous avons quantifié la perte d'habitats dans chaque bassin versant en employant deux sous-indicateurs : 1) le pourcentage du territoire d'un bassin versant qui a été converti à un usage humain sous forme de terres cultivées ou de surfaces artificielles (zones urbaines ou industrielles), et 2) le pourcentage du territoire d'un bassin versant qui a subi une perte de couvert forestier. Chaque sous-indicateur a été classé en cinq catégories (« Très faible », « Faible », « Moyen », « Élevé » et « Très élevé ») à l'aide de l'algorithme des seuils naturels de Jenks sur ArcGIS. L'indicateur final *Perte d'habitats* est le niveau maximum de menace des deux sous-indicateurs.

3.1 Utilisation/Couverture du terrain – Surfaces artificielles et terres cultivées

La mesure clé à la base du sous-indicateur *Utilisation/Couverture du terrain* est la superficie des surfaces artificielles et des terres cultivées. En transformant les paysages naturels pour les recouvrir de béton ou d'asphalte, ou pour les convertir à un usage agricole, l'on augmente l'imperméabilité du sol, réduisant de ce fait la capacité qu'a l'écosystème de filtrer naturellement les précipitations, ce qui accroît le ruissellement vers les cours d'eau. Ce ruissellement transporte souvent des matières polluantes provenant des zones urbaines, industrielles ou agricoles et aboutissant dans nos eaux douces (Stanfield & Kilgour, 2006).

Le pourcentage du territoire d'un bassin versant ainsi recouvert de surfaces artificielles ou converti à l'agriculture a été calculé à l'échelle des sous-bassins. Aux fins de cette analyse, nous nous sommes servis de la base de données GlobeLand30-2010 mise au point par le Centre national de géomatique de Chine et employant les systèmes d'imagerie Landsat TM5 et ETM+ à un niveau de résolution de 30 m pour établir une classification selon l'utilisation des terres partout au Canada en 2010. Cette classification se décline en 10 catégories : terres cultivées, couverts forestiers, prairies, couverts arbustifs, plans d'eau, terres humides, toundra, surfaces artificielles, terres nues et glaces/neiges permanentes. De ces 10 catégories, seules les terres cultivées et les surfaces artificielles sont considérées comme étant des territoires altérés par les humains et ayant perdu leur état naturel. Les données de la base GlobeLand30-2010 peuvent être téléchargées en format de trame dont les pavés pixellisés couvrent toute la surface de la Terre suivant les coordonnées du Système géodésique mondial 1984 (WGS84). La précision d'ensemble des données GlobeLand30-2010 est de 80,33 %.

Grâce à cet outil, nous avons pu établir la superficie totale des terres cultivées et des surfaces artificielles de chaque sous-bassin versant. La somme de ces superficies a ensuite été divisée par la superficie totale des terres émergées du sous-bassin pour produire un pourcentage de l'ensemble du terrain qui a été converti à un usage humain (Équation 4).

$$\% \text{ Terrain altéré par les humains} = \frac{S_{tc} + S_{sa}}{S_{té}} \times 100$$

Équation 4

où S_{tc} est la superficie totale des terres cultivées, S_{sa} est la superficie totale des surfaces artificielles, et $S_{té}$ est la superficie totale des terres émergées du sous-bassin versant.

Le sous-indicateur *Utilisation/Couverture du terrain* a par la suite été classé en 5 catégories à l'aide de l'algorithme des seuils naturels de Jenks sur ArcGIS (Annexe 1, Tableau 4).

Il convient de noter certains points importants relatifs à cette analyse. D'abord, étant donné que nous avons utilisé une mesure de pourcentage d'altération par sous-bassin, il se peut que des sous-bassins plus vastes obtiennent un score inférieur à celui de sous-bassins plus petits, même si la superficie totale altérée est identique dans les deux cas. En outre, nous n'avons pas tenu compte de la répartition des terres altérées, c.-à-d. de la concentration des terrains convertis à certains endroits par rapport à leur distribution dans l'ensemble d'un sous-bassin; par conséquent, le risque peut ne pas être uniformément réparti. Enfin, la distance séparant le terrain converti du plus proche réseau hydrographique n'est pas prise en compte dans cette analyse.

3.2 Perte forestière

Les forêts jouent un rôle crucial dans la santé des écosystèmes d'eau douce. Elles captent et retiennent les polluants transportés par la pluie, réduisent le ruissellement et filtrent diverses matières comme les sédiments et les fertilisants des zones agricoles et urbaines. Les forêts agissent aussi comme des parapluies et des ancrages, diminuant l'érosion des sols et stabilisant le paysage naturel aux abords des cours d'eau.

Le sous-indicateur *Perte forestière* a été créé à partir du Global Forest Change Dataset, un ensemble de données sur les altérations du couvert forestier à l'échelle mondiale, mis au point par l'Université du Maryland. Cette base de données, mise à jour chaque année, représente une analyse des séries chronologiques d'images satellitaires Landsat caractérisant l'étendue et les changements des forêts à un niveau de résolution de 30 mètres. Ces données fournissent un aperçu des pertes forestières, mais aussi des gains. La perte de couvert forestier est une perturbation caractérisée par un passage de l'état de forêt à celui d'absence de forêt au cours de la période allant de 2000 à 2013. Le gain forestier est, évidemment, l'inverse.

Le sous-indicateur employé dans cette évaluation se fonde sur le pourcentage de perte nette de couvert forestier par rapport à la superficie forestière d'une sous-aire de drainage. Étant donné que certains bassins versants sont moins boisés que d'autres, il a fallu utiliser la superficie forestière totale du bassin pour réduire ce biais. L'équation suivante a servi à calculer le sous-indicateur *Perte forestière* (Équation 5) :

$$\% \text{ Perte nette de couvert forestier} = \frac{S_{pf} - S_{gf}}{S_{ft}} \times 100$$

Équation 5

où S_{pf} est la superficie totale des pertes forestières, S_{gf} est la superficie totale des gains forestiers, et S_{ft} est la superficie forestière totale du sous-bassin versant.

Dans les cas où une cellule, ou une superficie mesurée, présente un taux équivalent de perte et de gain de couvert forestier pour une période donnée, nous présumons que cette cellule a connu une perte forestière de 0 %, car aucune mesure du pourcentage de gain ou de perte n'a été fournie pour cette zone dans la base de données.

Le sous-indicateur *Perte forestière* a par la suite été classé en 5 catégories à l'aide de l'algorithme des seuils naturels de Jenks sur ArcGIS (Annexe 1, Tableau 4).

4 FRAGMENTATION

La fragmentation des cours d'eau et la perte de liens entre les habitats d'eau douce entraînent des altérations notables du débit naturel des réseaux hydrographiques, modifient les milieux riverains et ont souvent pour conséquence l'isolement de populations d'espèces. L'indicateur *Fragmentation* combine deux sous-indicateurs : 1) la fragmentation par barrages et 2) la fragmentation par routes et voies ferrées. Nous avons classé chacun de ces sous-indicateurs en cinq niveaux (« Très faible », « Faible », « Moyen », « Élevé » et « Très élevé ») selon le pourcentage, puis l'indicateur final *Fragmentation* a été établi en fonction de la menace moyenne que représentent les deux sous-indicateurs.

4.1 Fragmentation par barrages

Les barrages aménagés dans les systèmes fluviaux modifient les mouvements migratoires des poissons, altèrent les habitats et isolent diverses espèces d'eau douce. Les barrages entraînent aussi des changements dans les processus écologiques des espèces : ils perturbent les étapes de leur cycle biologique, déplacent ou détruisent les frayères des poissons, modifient la qualité de l'eau et altèrent l'apport en nutriments naturels dans les cours d'eau (Poff et coll., 1997). La perte de liens, entre les divers habitats d'un réseau, qui découle de ces entraves peut « déconnecter » des espèces des plaines inondables, terres humides et autres habitats riverains dont elles dépendent.

La source première des données ayant servi à l'analyse de la fragmentation est le relevé exhaustif des caractéristiques des eaux de surface intérieures du Canada, le Réseau hydro national (RHN). Nous avons réparti les données de ce système d'information géographique (SIG) en diverses catégories de caractéristiques permettant de produire la meilleure description possible des réseaux hydrographiques du Canada et des infrastructures qui s'y trouvent, comme les barrages.

Cet ensemble de données s'est avéré inestimable, car s'y trouvent la longueur des cours d'eau, leur direction et l'état de leur débit, ainsi que des renseignements sur les aires de drainage. Nous avons mené une analyse d'arborescence de Strahler pour aider à l'évaluation de la fragmentation. Étant donné que cette évaluation se fonde presque entièrement sur les données du RHN, il nous a fallu vérifier la qualité de ces renseignements pour assurer l'intégrité du processus dans son ensemble. C'est pourquoi nous avons procédé à un examen visuel minutieux de la cartographie du RHN afin d'éliminer toute incertitude quant aux liaisons entre les divers segments de bassin versant et pour nous assurer que tous les degrés de complexité de Strahler étaient attribués dans le bon ordre.

La *Fragmentation par barrages* est mesurée en fonction de la proportion de la longueur totale d'un cours d'eau, dans chaque sous-bassin versant, qui subit les effets d'un ou de plusieurs barrages, pondérée par l'ordre de complexité de Strahler. Les mesures de chaque sous-aire de drainage sont ensuite additionnées, puis normalisées pour produire la mesure globale de fragmentation du bassin (Équation 6).

$$f = \frac{\left\{ \left(\frac{G_1}{G_1 + B_1} \times S_1 \right) + \left(\frac{G_2}{G_2 + B_2} \times S_2 \right) + \dots + \left(\frac{G_x}{G_x + B_x} \times S_x \right) \right\}}{(S_1 + S_2 + \dots + S_x)}$$

Équation 6

où f est la mesure de la fragmentation, G_x est la longueur totale de cours d'eau fragmenté à l'intérieur d'un degré Strahler donné, B_x est la longueur totale de cours d'eau libre à l'intérieur du même degré Strahler et S_x est la valeur pondérée de chaque degré Strahler.

Ce choix de mesure est idéal, car celle-ci utilise les méthodes employées par le WWF dans ses précédentes évaluations des cours d'eau (WWF, 2009) et elle se compare aux approches scientifiques universitaires (Anderson, Pringle, & Freeman, 2008). Le sous-indicateur *Fragmentation par barrages* a été classé par pourcentages (Annexe 1, Tableau 5).

4.2 Fragmentation par routes et voies ferrées

À l'instar des barrages, les infrastructures routières et ferroviaires qui longent ou traversent des cours d'eau peuvent fragmenter les écosystèmes naturels et modifier les comportements migratoires, alimentaires et reproductifs des espèces d'eau douce, qui perdent ainsi les liens dont elles ont besoin pour bénéficier d'un habitat sain (Poff, et coll., 1997). Afin de réaliser l'analyse pancanadienne des intersections de cours d'eau par des routes et des voies ferrées, il a fallu comparer les données de deux sources : celles du RHN sur les réseaux hydrographiques et celles des réseaux de transport sillonnant le pays. Nous avons déjà les examens visuels des cartes du RHN, effectués pour l'analyse précédente, mais il restait encore à trouver une source ouverte de données sur les caractéristiques des réseaux de transport. Nous inspirant de la méthodologie employée par Blanton et Marcus (2011) dans le cadre d'un projet semblable, nous avons décidé de combiner les données de GéoBase, diffusées gratuitement en ligne par Ressources naturelles Canada, sur le Réseau ferroviaire national (RFN) et le Réseau routier national (RRN), afin de créer une cartographie exhaustive des réseaux de transport terrestre. Ces données se sont avérées idéales, non seulement parce qu'elles sont très détaillées, allant jusqu'au tracé des chemins forestiers et miniers, mais aussi parce qu'elles se présentent à une échelle de 1:1 000, bien mieux que l'échelle de 1:2 000 000 recommandée par Blanton et Marcus.

Un autre avantage important des séries de données du RHN, pour réaliser cette analyse des intersections, est que ces données hydrographiques tiennent compte de l'ordre de complexité Strahler. Alors que les études précédentes ne présentaient pas de classement des cours d'eau en fonction de leur degré de complexité selon l'arborescence de Strahler, on a remarqué que l'utilisation de cette information pour pondérer les résultats, de manière à rendre compte de la différence des effets que peuvent avoir les intersections sur des cours d'eau de tailles diverses, permettait une meilleure compréhension de l'état de santé des écosystèmes (Blanton & Marcus, 2011; Wang, Liu, Deng, & Yang, 2014).

Afin d'évaluer l'importance des effets qu'ont les réseaux de transport par route et chemin de fer sur les cours d'eau, à l'instar de Blanton et Marcus (2011), nous avons d'abord utilisé une mesure simple, mais appropriée de la densité des intersections par kilomètre carré (Équation 7).

$$D = \frac{C}{A}$$

Équation 7

où D est la densité, C est le nombre total de traversées de cours d'eau par des réseaux de transport terrestre dans la sous-aire de drainage et A est la superficie (km²) de la sous-aire de drainage.

L'intégration d'une mesure incorporant les divers impacts que peuvent avoir ces intersections sur des cours d'eau de tailles différentes s'est révélée plus difficile, toutefois. Alors que les précédentes études donnaient à penser qu'une telle mesure serait utile (par ex., Blanton & Marcus, 2011; Wang et coll., 2014), le manque d'information sur la taille des cours d'eau (c.-à-d. ordre de Strahler) dans ces recherches témoignait du fait qu'aucune approche d'évaluation normalisée n'avait encore été élaborée. Nous avons donc dû mettre au point une nouvelle mesure pondérée (Équation 8).

$$W = \left\{ \frac{((I_1 \times S_1) + (I_2 \times S_2) + \dots + (I_x \times S_x))}{(S_1 + S_2 + \dots + S_x)} \right\} / A$$

Équation 8

où W est la mesure de densité des intersections, I_x est le nombre total de traversées de cours d'eau par des réseaux de transport terrestre à l'intérieur d'un degré Strahler donné, S est la valeur pondérée d'un degré Strahler donné et A est la superficie (km²) de la sous-aire de drainage. Une fois cette mesure calculée pour chaque sous-aire de drainage, les résultats pour le sous-indicateur *Fragmentation par routes et voies ferrées* ont été classés par pourcentages (Annexe 1, Tableau 5).

5 USAGE DE L'EAU

Le Canada dispose de quelques-unes des plus grandes sources d'eau douce renouvelable au monde, mais l'approvisionnement en eau douce est inégalement réparti et il évolue au fil du temps (Statistiques Canada, 2013). Nous dépendons de cette eau non seulement dans notre vie de tous les jours, mais aussi pour des usages socioéconomiques comme les activités industrielles (Statistiques Canada, 2013). L'usage excessif de l'eau douce peut entraîner une baisse notable de la quantité d'eau disponible tant pour les écosystèmes d'eau douce que pour l'approvisionnement des humains en eau potable.

L'indicateur *Usage de l'eau* se fonde sur les données et analyses de Statistiques Canada, publiées en 2010 et mises à jour en 2013, soit un rapport et une carte établissant un ratio quantitatif entre la demande d'eau douce et le moment du prélèvement. La carte compare le prélèvement d'eau en août 2005 à l'apport en eau médian en août sur une période de 34 ans (voir Figure 2). Les données sur le prélèvement d'eau sont tirées d'enquêtes de Statistiques Canada couvrant les usages pour la fabrication, la production thermique d'électricité, l'exploitation minière, l'irrigation agricole, les activités industrielles et la production d'eau potable, ainsi que les sources non municipales d'approvisionnement en eau des ménages (Statistiques Canada, 2013). Les données sont totalisées par région de drainage, puis divisées par l'apport en eau dans chaque région. Les résultats sont ensuite répartis en quatre catégories : 1) 0 % à <10 %; 2) 10 % à <20 %; 3) 20 % à <40 % et 4) ≥ 40 %. Il importe de noter que les prélèvements effectués par l'industrie pétrolière et gazière n'ont pas été pris en compte dans cette analyse, et que l'on ne disposait pas de données suffisantes pour la presque totalité du Grand Nord canadien.

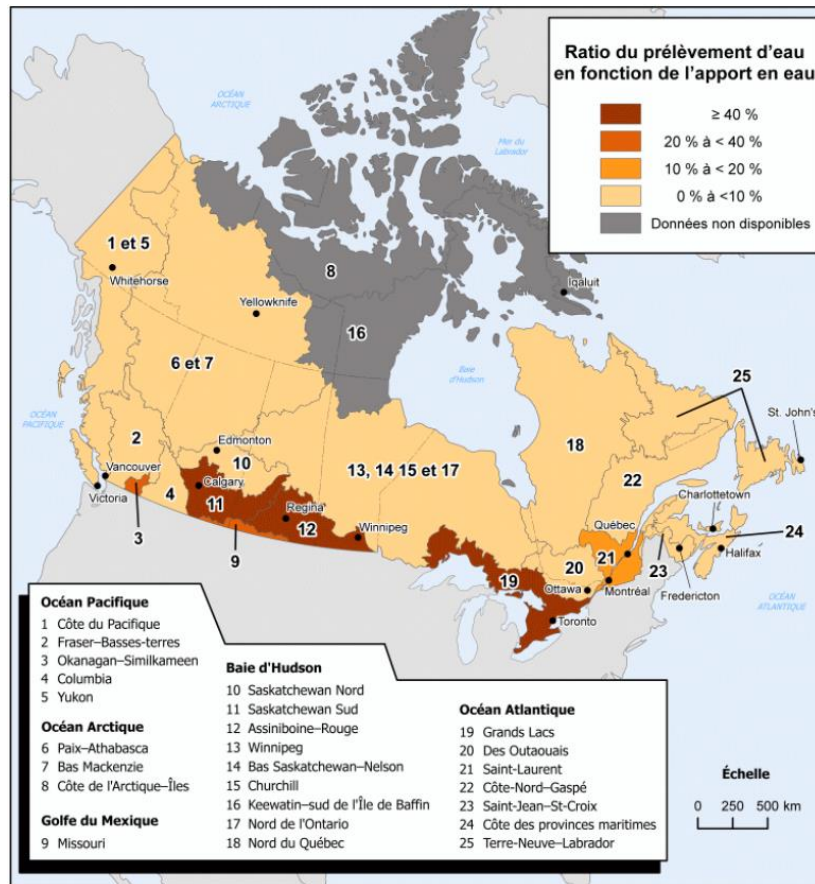


Figure 2 : Données utilisées pour l'indicateur Usage de l'eau, obtenues de Statistiques Canada, 2013.

Nous avons employé les catégories de la carte telles quelles pour établir la mesure de l'indicateur *Usage de l'eau*. Étant donné qu'aucune donnée primaire n'était disponible, nous avons appliqué les ensembles de données à tous les sous-bassins versants des régions de drainage. Les quatre catégories ont été classées de 1 à 4 niveaux de menace, la catégorie « Données non disponibles » devenant un niveau de menace « Inconnu ». La prochaine analyse vise à cartographier l'usage de l'eau à plus petite échelle et plus haute définition, afin de fournir des renseignements plus détaillés sur les sous-aires de drainage et les niveaux de menace.

6 ESPÈCES ENVAHISSANTES

Les espèces envahissantes peuvent être en concurrence avec les espèces indigènes pour les ressources d'un écosystème, et même devenir leurs prédateurs, altérant de ce fait la communauté biologique qui y vit. Qui plus est, les espèces envahissantes peuvent modifier physiquement un écosystème et le rendre impropre aux espèces indigènes dont c'était l'habitat naturel de longue date. Les espèces envahissantes constituent un indicateur répandu dans les analyses écologiques fondées sur les facteurs de stress et les effets cumulatifs (Allan et coll., 2012; Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, 2008).

Une des tâches fondamentales, dans l'établissement de l'indicateur *Espèces envahissantes*, était de nous assurer que les bonnes espèces y figuraient. Nous n'avons pas été en mesure de trouver une liste exacte et exhaustive de toutes les espèces envahissantes à la grandeur du Canada. La plupart des listes publiées s'attachent surtout aux envahisseurs présentant un potentiel de risque élevé, afin de sensibiliser la population en général et de faciliter la détection précoce. Aux fins de la présente analyse, nous ne nous sommes préoccupés que des espèces envahissantes connues dans un bassin versant donné, et pas de celles qui présentent un risque d'invasion à l'avenir (par ex., la carpe asiatique dans les

Grands Lacs). La liste des espèces envahissantes ayant fait l'objet de notre analyse a été produite par le laboratoire du professeur Ricciardi, à l'Université McGill, qui se spécialise dans les invasions aquatiques au Canada. Ces invasions étant essentiellement régionales (une espèce envahissante dans l'est du Canada peut très bien être indigène dans l'ouest), nous avons dû ventiler la liste géographiquement par province et territoire. Nous avons ensuite attribué un score d'impact de 1 à 4 à chaque espèce de chacune des listes provinciales et territoriales, où 1 = aucun impact connu, 2 = impact connu dans un autre pays, 3 = impact connu dans une autre province ou territoire, et 4 = impact connu dans cette province ou ce territoire. Ces scores d'impact ont par la suite servi à la pondération de la présence des espèces envahissantes.

Les données d'échantillonnage de chaque espèce envahissante ont été recueillies, partout au Canada, à partir de plusieurs sources, dont le Système mondial d'informations sur la biodiversité (SMIB), l'Early Detection & Distribution Mapping System (EDDMapS) et, où cela était possible, les centres provinciaux de données sur la conservation. Pour chaque espèce, les données ont été réunies en un ensemble de données, puis triées de sorte que seules étaient gardées les données provenant de provinces où l'espèce en question est jugée envahissante. Toutes les observations d'espèces dans des provinces où celles-ci ne sont pas considérées comme envahissantes ont été éliminées. L'analyse s'est faite à l'échelle des sous-aires de drainage. Là où les sous-bassins chevauchaient deux provinces ou territoires, l'affectation provinciale des espèces présentes était fondée sur le lieu où se trouve la majeure partie du sous-bassin.

Compte tenu de la nature de l'échantillonnage des espèces envahissantes au Canada, nous avons choisi d'utiliser la richesse spécifique de chaque espèce comme outil de mesure, plutôt que les occurrences de l'espèce en question. Nous servant du score d'impact maximum de chaque espèce particulière au sein d'une sous-aire de drainage donnée, nous avons additionné les scores de toutes les espèces de ce sous-bassin pour obtenir un score total d'invasion.

Étant donné que l'échantillonnage ne se fait pas de manière systématique et uniforme partout au pays, nous n'avons pu confirmer que la présence d'espèces envahissantes, pas leur absence. Par conséquent, pour les zones où l'on n'a observé aucune espèce envahissante, nous avons attribué un score d'impact inconnu plutôt qu'aucun impact. Il y a cependant deux exceptions à cette règle : selon la liste des espèces envahissantes par province et territoire, aucune de celles-ci n'a encore été observée dans les Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut. Les sous-aires de drainage de ces territoires ont donc reçu un score de « Aucun impact rapporté ».

Les scores de menace de l'indicateur *Espèces envahissantes* ont enfin été établis et classés en catégories à l'aide de l'algorithme des seuils naturels de Jenks.

7 ALTÉRATION DES DÉBITS

Les infrastructures hydrauliques exercent une influence notable sur le débit des cours d'eau. Les barrages, digues, réservoirs et autres ouvrages modifient les liens entre les divers tronçons d'un réseau hydrographique en faisant obstacle à leur flux naturel, ce qui altère la quantité et la qualité de l'eau qui s'écoule dans ce réseau. Les cycles de débit et régimes des crues changent, et les comportements migratoires de nombreuses espèces en sont perturbés (WWF, 2011).

L'indicateur *Altération des débits* vise à mesurer le niveau de menace que font peser les grands barrages et réservoirs sur les débits des réseaux hydrographiques. La base de données Global Reservoir and Dam (GRanD) Database a produit une cartographie en format « points et polygones » répertoriant l'emplacement et la capacité des réservoirs et barrages de plus de 0,1 km partout dans le monde, soit 6 862 sites internationalement, dont 233 au Canada. Ces données, fournies par le département de géographie de l'Université McGill à Montréal, ont fait l'objet d'une validation croisée et de vérifications minutieuses nous assurant que l'information est à jour et adéquatement référencée.

L'indicateur *Altération des débits* se décline en fonction de la superficie totale de capacité de stockage (en kilomètres carrés) par sous-aire de drainage. Dans les sous-aires de drainage où se

trouvent plus d'un réservoir ou barrage, nous avons additionné les superficies totales. Enfin, ces superficies totales par sous-aire de drainage ont été classées en cinq niveaux de menace, de « Très faible » à « Très élevé », à l'aide de l'algorithme des seuils naturels de Jenks sur ArcGIS.

8 CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les changements climatiques altèrent la quantité et la température des précipitations qui alimentent les cours d'eau, ce qui affecte la qualité de l'eau, de même que les cycles biologiques des espèces au sein des écosystèmes aquatiques (Environnement Canada, 2001). Les changements climatiques ont aussi des effets indirects comme des variations de la productivité agricole et, par conséquent, une utilisation accrue des engrais et pesticides, donc l'augmentation du risque de rejet de contaminants dans les cours d'eau.

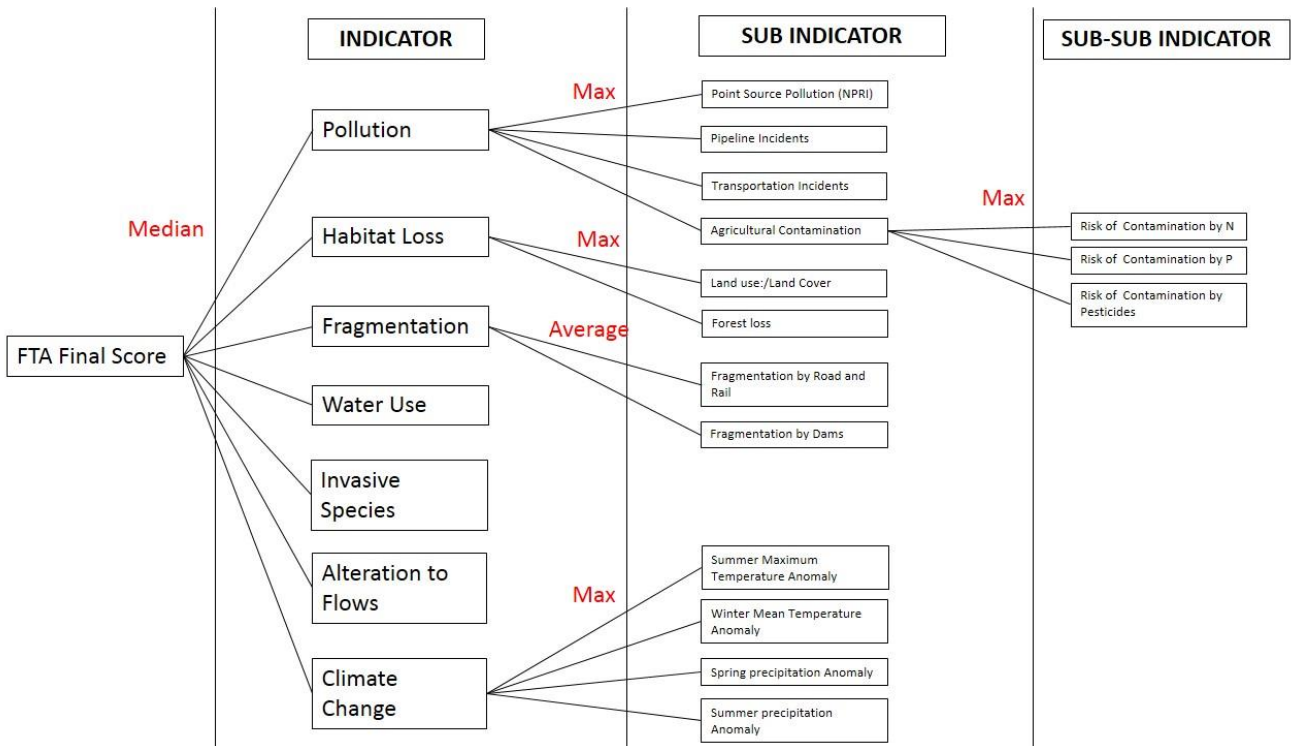
Afin d'évaluer la menace que représentent les changements climatiques pour les réseaux hydrographiques, nous avons mis au point l'indicateur *Changements climatiques* à partir de l'ensemble de données sur les Anomalies de température et de précipitation interpolées pour le Canada (CANGRD) d'Environnement Canada (2014). Cet ensemble de données représente une compilation des anomalies récentes de température et de précipitation par rapport à la période de référence 1961 à 1990. Ces données se fondent sur les observations de stations météorologiques réparties inégalement sur le territoire canadien et sont interpolées sur une grille à intervalles réguliers de 50 kilomètres. Les anomalies moyennes mensuelles, saisonnières et annuelles sont calculées à chaque station d'observation; pour chaque année, il faut soustraire la moyenne des valeurs mensuelles, saisonnières et annuelles pertinentes de la période de référence. On les normalise ensuite en les divisant par la moyenne de 30 ans (1961 à 1990) pour les exprimer en pourcentage (Environnement Canada, 2014).

L'indicateur *Changements climatiques* se décline en quatre sous-indicateurs : 1) Anomalies des températures maximales d'été, 2) Anomalies des températures moyennes d'hiver; 3) Anomalies des précipitations du printemps et 4) Anomalies des précipitations d'été. Nous avons compilé les valeurs médianes et moyennes pour chaque sous-indicateur sur une période de cinq ans, soit de 2008 à 2012. La valeur médiane des anomalies a ensuite été classée en trois niveaux de menace (« Faible », « Moyen » et « Élevé ») selon le nombre d'écart types entre la médiane et la moyenne (Annexe 1, Tableau 9). Le classement final de l'indicateur *Changements climatiques* s'appuie sur la menace la plus élevée des quatre sous-indicateurs.

9 AGRÉGATION DES SCORES POUR LES SOUS-AIRES DE DRAINAGE

Une fois les analyses complétées pour chaque indicateur et sous-indicateur, il s'avérait essentiel, aux fins de notre étude, de produire un score d'ensemble pour chaque sous-aire de drainage (SAD) et pour chaque bassin Pearse. Nous avons d'abord élaboré un schéma décisionnel afin de déterminer la meilleure façon d'agrèger les scores des sous-indicateurs en scores d'indicateurs. Nous avons choisi soit la moyenne des scores des sous-indicateurs, soit le score maximum pour créer le score final de l'indicateur (Figure 3).

Figure 3 : Schéma décisionnel pour l'agrégation des scores des sous-indicateurs en scores d'indicateurs, puis en score final pour les sous-aires de drainage



Étant donné que les indicateurs ne comptent pas tous le même nombre de catégories au classement, il a d'abord fallu normaliser les scores de tous les indicateurs. La plupart présentent cinq niveaux, mais l'indicateur *Usage de l'eau* en a quatre et *Changements climatiques*, trois. Nous avons donc divisé le score de chaque indicateur par le nombre de catégories pour lui donner un pourcentage. Par exemple, si une sous-aire de drainage obtient un score de 4 pour un indicateur qui compte cinq catégories, son score normalisé est de 80 %. Voici la formule employée :

$$SAD_i = \frac{\text{Score de catégorie}_i}{\text{Nombre total de catégories}_i} \times 100$$

Équation 9

où i est l'indicateur. Les scores ont ensuite été reclassés par indicateur au niveau de la SAD à intervalles réguliers selon les seuils naturels de Jenks (Annexe 1, Tableau 10). Une fois le score de chaque indicateur normalisé, un score médian des sept indicateurs a été calculé pour chaque SAD. Nous avons ensuite reclassé ces médians à intervalles réguliers, à l'aide de l'algorithme des seuils naturels de Jenks (voir les valeurs des seuils à l'Annexe 1, Tableau 10).

10 AGRÉGATION DES SCORES AU NIVEAU DES BASSINS PEARSE

Après avoir établi les scores normalisés pour chaque SAD, nous avons calculé un score pour les bassins versants Pearse. La formule suivante a été utilisée pour produire un score global au niveau du bassin Pearse pour chaque indicateur à partir des scores des SAD :

$$BVP_i = \frac{S_{SAD}}{S_{BVP}} \times SAD_i$$

Équation 10

où S_{SAD} est la superficie de la sous-aire de drainage, S_{BVP} est la superficie du bassin versant Pearse et SAD_i est le score de l'indicateur au niveau de la SAD. La somme de tous les scores d'indicateur ainsi pondérés à l'intérieur du bassin Pearse a par la suite servi à calculer le score d'indicateur. Si plus de 50 % de toute la superficie du bassin Pearse obtenait un score « Moyen » pour un indicateur, alors l'ensemble du bassin Pearse recevait aussi un score « Moyen » pour cet indicateur. Les scores d'indicateurs étaient par la suite reclassés suivant les mêmes intervalles que ceux ayant servi au niveau des SAD.

Pour calculer le score global final du bassin versant Pearse, nous avons utilisé la valeur médiane de tous les scores d'indicateurs. Ces scores médians ont ensuite été reclassés aux mêmes intervalles que précédemment.

11 QUALITÉ DES DONNÉES

Dans le cadre de cette étude, nous avons effectué une évaluation rigoureuse de la qualité des données. Au fil de la collecte et de l'analyse des données, il nous est clairement apparu que certains ensembles de données étaient plus complets que d'autres et convenaient donc mieux à notre étude. Dans certains cas, nous avons trouvé des jeux de données incomplets, des données de piètre qualité et des ensembles ne convenant pas à notre Évaluation des menaces à la santé des eaux douces. Nous n'avons donc utilisé que des ensembles de données qui répondaient à nos critères (Tableau 2) et dont les sources sont répertoriées à l'Annexe 2, Tableau 11. Néanmoins, certains des ensembles de données que nous avons utilisés soulevaient encore des questions, et nous croyons important de signaler que des lacunes, en matière de données de bonne qualité, peuvent influencer sur les résultats globaux. Nous avons donc classé les ensembles de données suivant nos critères.

Tableau 2: Critères d'évaluation des ensembles de données ayant servi à l'Évaluation des menaces à la santé des eaux douces

Critères	Description
Plus récente année de collecte des données	À quand remontent les données?
Plage temporelle de la collecte de données	Nombre d'années de collecte
Résolution temporelle	À quelle fréquence les données sont collectées/mises à jour?
Précision géographique	Données ponctuelles – les coordonnées géographiques sont-elles exactes?
	Données raster/polygonales – quel est le niveau de résolution et peut-on transposer aisément à l'échelle du bassin versant?
Métadonnées disponibles	Dispose-t-on d'un jeu complet de métadonnées?
Unités de mesure normalisées	Les données primaires sont-elles disponibles et rapportées sous forme d'unités normalisées?
Collecte systématique ou aléatoire?	L'échantillonnage s'est-il fait de manière systématique ou les données ont-elles été recueillies au hasard?

Après avoir calibré chaque ensemble de données, nous avons pu attribuer à chaque indicateur un score de suffisance des données fondé sur l'appropriation de tous les jeux de données utilisés pour chaque indicateur de notre étude.

Indicateur	Suffisance globale aux fins de l'étude
Perte d'habitats	Suffisantes
Pollution	Suffisantes
Fragmentation	Suffisantes
Usage de l'eau	Partiellement suffisantes
Espèces envahissantes	Partiellement suffisantes
Altération des débits	Suffisantes
Changements climatiques	Suffisantes

Le but étant de nous assurer de pouvoir mettre à jour les résultats pour certains indicateurs lorsque des données plus pertinentes seront disponibles.

12 RÉFÉRENCES

- Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2013). PNARSA - Risque de contamination de l'eau par l'azote (IRCE-N). Téléchargé de <http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/b777ecd1-606c-4847-8741-2366471c220f>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2013). PNARSA - Risque de contamination de l'eau par les pesticides (IRCE-Pest). Téléchargé de <http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/6d90d5f7-09ff-417a-86eb-b12b7586d22d>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2013). PNARSA - Risque de contamination de l'eau par le phosphore (IRCE-P). Téléchargé de <http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/2d119ab0-6096-442a-a9db-c489a354d125>
- Allan, J. D., McIntyre, P. B., Smith, S. D., Halpern, B. S., Boyer, G. L., Buchsbaum, A., Steinman, A. D. (2012). *Joint analysis of stressors and ecosystem services to enhance restoration effectiveness*. PNAS, p. 1-6.
- Anderson, E. P., Pringle, C. M., & Freeman, M. C. (2008). Quantifying the extent of river fragmentation by hydropower dams in the Sarapiquí River Basin, Costa Rica. *Aquatic Conservation*, 18 (4), p. 408-417.
- Blanton, P., & Marcus, W. A. (2011). Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. *Geomorphology*, 11, p. 212-227.
- Booth, D. B., Hartley, D., & Jackson, R. (2002). Forest cover, impervious surface area, and the mitigation of stormwater impacts. *Journal of the American Water Resources Association*, 38 (3), p. 835-947.
- Environnement Canada. (2001). *Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada*. Institut national de recherche sur les eaux (1), p. 1-87.
- Environnement Canada. (2014). Anomalies de température et précipitation interpolées pour le Canada (CANGRD). Téléchargé à partir de <http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/3d4b68a5-13bc-48bb-ad10-801128aa6604>
- Environnement Canada. (2014). *Inventaire national des rejets de polluants*. Téléchargé à partir de <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=4A577BB9-1>
- Geobase. (11 avril 2011). Réseau hydro national (RHN). Consulté en anglais le 1^{er} décembre 2013 à <http://www.geobase.ca/geobase/en/data/nrwn/description.html>, maintenant archivé chez <http://geogratis.gc.ca/api/fr>
- Geobase. (10 janvier 2013). Réseau ferroviaire national (RFN). Consulté en anglais le 2 avril 2014, à <http://www.geobase.ca/geobase/en/data/nrn/description.html>, maintenant archivé chez <http://geogratis.gc.ca/api/fr>
- Geobase. (10 janvier 2013). Réseau routier national (RRN). Consulté en anglais le 2 avril 2014, à <http://www.geobase.ca/geobase/en/data/nrn/description.html>, maintenant archivé chez <http://geogratis.gc.ca/api/fr>
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., . . . Townshend, J. R. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *342(15-November)*, p. 850-853. (Science, Ed.) Téléchargé à partir de <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
- Kilgour, B. W., & Barton, D. R. (1999). « Associations between stream fish and benthos across environmental gradients in southern Ontario », Canada. *Freshwater Biology*, 41, p. 553-566.

- Lehner, B., Liermann, R., Revenga, C., Vörösmarty, C., Fekete, C., Crouzet, P., & Döll, P. (2008). High resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river flow management. *GRRanD Database (V1.)*. *Frontiers in Ecology and the Environment*. Source : GWSP Digital Water Atlas. Téléchargé à partir de <http://atlas.gwsp.org>
- National Geomatics Center of China. (2010). *GlobeLand30*. Téléchargé à partir de <http://www.globallandcover.com>
- Northeast Association of Fish and Wildlife Agencies. (2008). *Monitoring the Conservation of Fish and Wildlife in the Northeast*.
- Pearse, P. H., Bertrand, F., MacLaren, J. W., & Canada. (1985). *Vers un renouveau : rapport définitif de l'Enquête sur la politique fédérale relative aux eaux*. Environnement Canada, Ottawa, Ont. Canada.
- Pereira, M. (2013, October 22). « Pipeline map: Have there been any incidents near you? » CBC. Consulté à <http://www.cbc.ca/news2/interactives/pipeline-incidents/>
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., . . . Stromberg, J. C. (1997). « The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration ». *BioScience*, 47.
- Ressources naturelles Canada. (2009). Données cadres nationales de l'Atlas du Canada - Hydrologie, Version 6.0.
- Ressources naturelles Canada. (2010). Réseau hydro national.
- Richter, B. D., Braun, D. P., Medelson, M. A. & Master, L. L. (1997). « Threats to Imperiled Freshwater Fauna ». *Conservation Biology*, 11(5), p. 1081-1093.
- Rickets, C., & Stys, B. (2008). *Mapping Threats to Florida Freshwater Habitats*. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Tallahassee Florida.
- Stanfield, L. W., & Kilgour, B. W. (2006). « Effects of percent impervious cover on fish and benthos assemblages and instream habitats in Lake Ontario tributaries ». *American Fisheries Society Symposium*, 48, p. 577-599.
- Statistiques Canada. (2013). *Carte 3.1 Ratio du prélèvement d'eau en août 2005 à l'apport en eau médian en août pour 1971 à 2004*, à <http://www.statcan.gc.ca/pub/16-201-x/2010000/m022-fra.htm>
- The Pembina Institute: Sustainable Energy Solutions. (2009). *Pipelines and Salmon in Northern British Columbia: Potential Impacts*. The Pembina Institute: Sustainable Energy Solutions.
- Theobald, D. M., Goetz, S. J., Norman, J. B., & Jantz, P. (2009). « Watersheds at Risk to Increased Impervious Surface Cover in the Conterminous United States ». *Journal of Hydrologic Engineering*, p. 362-368.
- Transport Canada. (Mars 2015). Système d'information sur les accidents de marchandises dangereuses (S.I.A.M.D.). Données obtenues grâce à une demande d'accès à l'information.
- Vanderklippe, N. (18 février 2011). « How safe are North America's pipelines? », *The Globe and Mail*. Téléchargé le 26 mai 2015 à <http://www.theglobeandmail.com/globe-investor/how-safe-are-north-americas-pipelines/article1913830/>
- Vorosmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Davies, P. M. (2010). « Global threats to human water security and river biodiversity ». *Nature*, 467, p. 555-561.

Wang, C., Liu, S., Deng, L., & Yang, J. (2014). Road lateral disconnection and crossing impacts in river landscape of Lancang River Valley in Yunnan Province. *Chinese Geographic Science*, 24(1), p. 28-38.

WWF. (October 2011). *Rivers for life: The case for conservation priorities in the face of water infrastructure development*.

WWF. (2012). *Wild rivers of the Great Bear*. Vancouver, Canada. Téléchargé à partir de http://awsassets.wwf.ca/downloads/wildriversthegreatbear_fordistribution_1.pdf

13 ANNEXE 1 – CLASSIFICATION DES INDICATEURS ET SOUS-INDICATEURS

Tableau 3 : Classification des sous-indicateurs pour la pollution de l'eau

Indicateur	Sous-indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
			Minimum	Maximum		
Pollution de l'eau	Pollution ponctuelle	Pourcentages	0	0	0	Aucune menace
			0,01	95,37	1	Très faible
			>95,37	1 375,53	2	Faible
			>1 375,53	4 978,74	3	Moyen
			>4 978,74	24 068,78	4	Élevé
			>24 068,78	671 981,19	5	Très élevé
	Incidents de pipelines	Pourcentages	-	-	Inconnue	Inconnu
			0	0	0	Aucune menace
			200	11 000	1	Très faible
			>11 000	129 100	2	Faible
			>129 100	2 932 733	3	Moyen
			>2 932 733	57 817 264	4	Élevé
			>57 817 264	1 513 562 880	5	Très élevé
	Accidents de transport	Seuils naturels de Jenks	0	0	0	Aucune menace
			2	9	1	Très faible
			10	22	2	Faible
			23	45	3	Moyen
			46	66	4	Élevé
			67	107	5	Très élevé
	Contamination agricole	Pourcentages	0,00	0,00	0	Aucune menace
			0,01	0,10	1	Très faible
			>0,10	0,34	2	Faible
			>0,34	0,80	3	Moyen
			>0,80	1,73	4	Élevé
>1,73			4,82	5	Très élevé	

Tableau 4 : Classification des sous-indicateurs pour la perte d'habitats

Indicateur	Sous-indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
			Minimum	Maximum		
Perte d'habitats	Utilisation/Couverture du terrain	Seuils naturels de Jenks	0 %	0 %	0	Aucune menace
			0,01 %	1,96 %	1	Très faible
			>1,96 %	10,37 %	2	Faible
			>10,37 %	30,78 %	3	Moyen
			>30,78 %	59,22 %	4	Élevé
			>59,22 %	85,18 %	5	Très élevé
	Perte forestière	Seuils naturels de Jenks	< 0 %	0 %	0	Aucune menace
			>0 %	1,51 %	1	Très faible
			>1,51 %	4,15 %	2	Faible
			>4,15 %	8,34 %	3	Moyen
			>8,34 %	16,76 %	4	Élevé
			>16,76 %	60,82 %	5	Très élevé

Tableau 5 : Classification des sous-indicateurs pour la fragmentation

Indicateur	Sous-indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
			Minimum	Maximum		
Fragmentation	Fragmentation par barrages	Pourcentages	0	0	0	Aucune menace
			200	11 000	1	Très faible
			>11 000	129 100	2	Faible
			>129 100	2 932 733	3	Moyen
			>2 932 733	57 817 264	4	Élevé
			>57 817 265	1 513 562 880	5	Très élevé
	Fragmentation par routes et voies ferrées	Pourcentages	0	0	0	Aucune menace
			1	9	1	Très faible
			>9	22	2	Faible
			>22	47	3	Moyen
			>47	71	4	Élevé

Tableau 6 : Classification des sous-indicateurs pour l'usage de l'eau

Indicateur	Sous-indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
			Minimum	Maximum		
Usage de l'eau	Ratio du prélèvement d'eau en fonction de l'apport en eau	Déjà classifié	Données non disponibles		S. O.	Inconnu
			0 %	<10 %	1	Faible
			10 %	<20 %	2	Moyen
			20 %	<40 %	3	Élevé
				≥40 %	4	Très élevé

Tableau 7 : Classification des sous-indicateurs pour les espèces envahissantes

Indicateur	Sous-indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
			Minimum	Maximum		
Espèces envahissantes	Présence d'espèces envahissantes	Pourcentages	Présence connue d'espèces envahissantes dans la province, mais aucune observation dans le bassin versant		S. O.	Inconnu
			Aucune espèce envahissante connue dans la province ni observation dans le bassin versant			
			>0	8	1	Très faible
			>8	19	2	Faible
			>19	37	3	Moyen
			>37	57	4	Élevé
				>57	5	Très élevé

Tableau 8 : Classification des sous-indicateurs pour l'altération des débits

Indicateur	Sous-indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
			Minimum	Maximum		
Altération des débits	Dimensions du barrage ou réservoir	Seuils naturels de Jenks	0	0	0	Aucune menace
			0,01	14,4	1	Très faible
			14,5	105,7	2	Faible
			105,8	616,5	3	Moyen
			616,6	1 991,2	4	Élevé
			1 991,3	19 518,8	5	Très élevé

Tableau 9 : Classification des sous-indicateurs pour les changements climatiques

Indicateur	Sous-indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
			Minimum	Maximum		
Changements climatiques	1) Anomalies des températures maximales d'été;	Écart type (ET)	< 1ET ou > -1ET		1	Faible
	2) anomalies des températures moyennes d'hiver;		>1ET ou < -1ET		2	Moyen
	3) anomalies des précipitations du printemps;		>2ET ou < -2ET		3	Élevé
	4) anomalies des précipitations d'été					

Tableau 10 : Classification finale des indicateurs pour les sous-aires de drainage et les bassins. Les catégories des sous-indicateurs ont été normalisées en fonction du nombre de catégories et reclassées selon un système de classification à intervalles réguliers.

Indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
		Minimum	Maximum		
Perte d'habitats	Intervalles réguliers	0		0	Aucune menace
		>0	20	1	Très faible
		>20	40	2	Faible
		>40	60	3	Moyen
		>60	80	4	Élevé
		>80	100	5	Très élevé
Pollution	Intervalles réguliers	Inconnu		S. O.	Inconnu
		0		0	Aucune menace
		>0	20	1	Très faible
		>20	40	2	Faible
		>40	60	3	Moyen
		>60	80	4	Élevé
		>80	100	5	Très élevé
Fragmentation	Intervalles réguliers	0		0	Aucune menace
		>0	20	1	Très faible
		>20	40	2	Faible
		>40	60	3	Moyen
		>60	80	4	Élevé
		>80	100	5	Très élevé
Usage de l'eau	Intervalles réguliers	Inconnu		S. O.	Inconnu
		0		0	Aucune menace
		>0	25	1	Faible
		>25	50	2	Moyen
		>50	75	3	Élevé
		>75	100	4	Très élevé

Indicateur	Système de classification	Échelle des valeurs		Catégorie	Niveau de menace
		Minimum	Maximum		
Altération des débits	Intervalles réguliers	0		0	Aucune menace
		>0	20	1	Très faible
		>20	40	2	Faible
		>40	60	3	Moyen
		>60	80	4	Élevé
		>80	100	5	Très élevé
Espèces envahissantes	Intervalles réguliers	Inconnu		S. O.	Inconnu
		0		0	Aucune menace
		>0	20	1	Très faible
		>20	40	2	Faible
		>40	60	3	Moyen
		>60	80	4	Élevé
		>80	100	5	Très élevé
Changements climatiques	Intervalles réguliers	0		0	None
		33.33		1	Faible
		66.67		2	Moyen
		100		3	Élevé
Score global	Intervalles réguliers	0		0	Aucune menace
		>0	<20	1	Très faible
		20	<40	2	Faible
		40	<60	3	Moyen
		60	<80	4	Élevé
		80	<100	5	Très élevé

14 ANNEXE 2 – SOURCES DES DONNÉES

Tableau 11 : Répertoire de toutes les sources des données utilisées dans le cadre de l'Évaluation des menaces à la santé des eaux douces

INDICATEUR	SOUS-INDICATEUR	Source
POLLUTION	Pollution ponctuelle	Environnement Canada. (2014). <i>Inventaire national des rejets de polluants</i> . Téléchargé à partir de http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=4A577BB9-1
	Incidents de pipelines	Pereira, M. (2013, October 22). « Pipeline map: Have there been any incidents near you? » CBC. Consulté à http://www.cbc.ca/news2/interactives/pipeline-incidents/
	Accidents de transport	Transport Canada. (Mars 2015). Système d'information sur les accidents de marchandises dangereuses (S.I.A.M.D.). Données obtenues grâce à une demande d'accès à l'information.
	Risques de contamination agricole par le rejet d'azote, de phosphore et de pesticides	Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2013). PNARSA - Risque de contamination de l'eau par l'azote (IRCE-N). Téléchargé de http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/b777ecd1-606c-4847-8741-2366471c220f Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2013). PNARSA - Risque de contamination de l'eau par les pesticides (IRCE-Pest). Téléchargé de http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/6d90d5f7-09ff-417a-86eb-b12b7586d22d Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2013). PNARSA - Risque de contamination de l'eau par le phosphore (IRCE-P). Téléchargé de http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/2d119ab0-6096-442a-a9db-c489a354d125
PERTE D'HABITATS	Utilisation/Couverture du terrain	National Geomatics Center of China. (2010). GlobeLand30. Téléchargé à partir de http://www.globallandcover.com
	Perte forestière	Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Townshend, J. R. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. <i>342(15-November)</i> , p. 850-853. (Science, Ed.) Téléchargé à partir de http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest .
FRAGMENTATION	Fragmentation par barrages	Geobase. (11 avril 2011). Réseau hydro national (RHN). Consulté en anglais le 1 ^{er} décembre 2013 à http://www.geobase.ca/geobase/en/data/nrwn/description.html , maintenant archivé chez http://geogratis.gc.ca/api/fr Geobase. (11 avril 2011). Réseau hydro national (RHN). Consulté en anglais le 1 ^{er} décembre 2013 à http://www.geobase.ca/geobase/en/data/nrwn/description.html , maintenant archivé chez http://geogratis.gc.ca/api/fr
	Fragmentation par routes et voies ferrées	Geobase. (10 janvier 2013). Réseau ferroviaire national (RFN). Consulté en anglais le 2 avril 2014, à http://www.geobase.ca/geobase/en/data/nrwn/description.html , maintenant archivé chez http://geogratis.gc.ca/api/fr

	<p>Geobase (10 janvier 2013). Réseau d'information sur le bionne (SRIB). Données téléchargées en janvier 2015 à partir de http://www.gbif.org/. Consulté en anglais le 2 avril 2014, à http://geobase.ca/geobase/en/data/nrm/description.html, maintenant archivé chez http://geogratis.gc.ca/api/fr/EDDMapS. 2015. Early Detection & Distribution Mapping System.</p>
<p>USAGE DE L'EAU</p>	<p>Ratio du prélèvement d'eau en fonction de l'apport en eau</p>
<p>ESPÈCES ENVAHISSANTES</p>	<p>Présence d'espèces envahissantes</p> <p>Pêches et Océans Canada. Observations rapportées d'espèces aquatiques envahissantes (2013). Données fournies sur demande par courriel.</p> <p>Centre de données sur la conservation du Canada Atlantique (2014). Données d'observation des espèces <i>Butomus umbellatus</i>, <i>Esox niger</i>, <i>Myriophyllum spicatum</i> et <i>Petromyzon marinus</i>. Données fournies sur demande par courriel le 24 septembre 2014.</p> <p>Cowie, Faye. 2007. Surveyed Lakes in New Brunswick. Canadian Rivers Institute, 781 observations.</p> <p>Blaney, C.S.; Mazerolle, D.M. 2010. Travail de terrain 2010. Centre de données sur la conservation du Canada Atlantique. Sackville NB, 15 508 observations.</p> <p>Erskine, D. 1960. <i>The plants of Prince Edward Island</i>, 1^e édition. Service de recherches, Agriculture Canada, Ottawa, Publication 1088. 1 238 observations.</p> <p>MacQuarrie, K.E., H. Schaefer et K. Schoenrank. 2001. <i>A Floral inventory of the Central and Schooner Pond Areas of Greenwich, Prince Edward Island National Park</i>. Parcs Canada, Rapports techniques en science des écosystèmes, N° 030.</p> <p>Benedict, B. Connell Herbarium Specimen Database, Connell Memorial Herbarium, 2004. Université du Nouveau-Brunswick, téléchargement en 2004.</p> <p>Benjamin, L.K. (compilation). 2007. Significant Habitat & Species Database. Ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse, 8 439 observations.</p> <p>Clayden, S.R. 1998. Bases de données NBM Science Collections, plantes vasculaires. Musée du Nouveau-Brunswick, Saint-Jean, NB, 19 759 observations.</p> <p>Cowie, F. 2007. Electrofishing Population Estimates 1979-98. Canadian Rivers Institute, 2 698 observations.</p>

	<p>Gautreau-Daigle, H. 2007. Plantes rares observées dans l'étude des tourbières, Institut de recherche sur les zones côtières, Université de Moncton, Campus de Shippagan, NB. Communication personnelle avec D.M. Mazerolle, 39 observations.</p> <p>Biogeoclimatic Ecosystem Classification Program of British Columbia. 2015. Base de données BECMaster ecosystem plot. W.H. MacKenzie [dir.]. Ministère des Forêts, des Terres et des Ressources naturelles de Colombie-Britannique, Smithers, B.C. Données consultées le 22 septembre 2014 sur demande par courriel à www.for.gov.bc.ca/hre/becweb/resources/information-requests</p>
<p>ALTÉRATION DES DÉBITS</p> <p>Dimensions du barrage ou réservoir</p>	<p>Lehner, B., Liermann, R., Revenga, C., Vörösmarty, C., Fekete, C., Crouzet, P., & Doll, P. (2008). High resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river flow management. <i>GRanD Database (V1.)</i>. <i>Frontiers in Ecology and the Environment</i>. Source : GWSP Digital Water Atlas. Téléchargé à partir de http://atlas.gwsp.org</p>
<p>CHANGEMENTS CLIMATIQUES</p> <p>Anomalies des températures maximales d'été</p> <p>Anomalies des températures moyennes d'hiver</p> <p>Anomalies des précipitations du printemps</p> <p>Anomalies des précipitations d'été</p>	<p>Environnement Canada. (2014). Anomalies de température et précipitation interpolées pour le Canada (CANGRD). Téléchargé à partir de http://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/3d4b68a5-13bc-48bb-ad10-801128aa6604</p>

15 ANNEXE 3 – LISTE COMPLÈTE DES ESPÈCES ENVAHISSANTES

Note : Certaines de ces espèces ne sont pas considérées envahissantes partout au pays.

ESPÈCE	NOM COMMUN
<i>Alosa aestivalis</i>	Alose d'été
<i>Alosa pseudoharengus</i>	Gaspereau
<i>Alosa sapidissima</i>	Alose savoureuse
<i>Ameiurus melas</i>	Barbotte noire
<i>Ameiurus nebulosus</i>	Barbotte
<i>Cipangopaludina chinensis</i>	Vivipare orientale
<i>Bithynia tentaculata</i>	Bulime
<i>Butomus umbellatus</i>	Butome à ombelle
<i>Bythotrephes longimanus</i>	Cladocère épineux
<i>Carassius auratus</i>	Carassin doré (poisson rouge)
<i>Cercopagis pengoi</i>	Puce d'eau à forme d'hameçon
<i>Corbicula fluminea</i>	Corbicule asiatique
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe
<i>Daphnia galeata galeata</i>	Puce d'eau
<i>Dorosoma cepedianum</i>	Alose noyer
<i>Dreissena bugensis</i>	Moule quagga
<i>Dreissena polymorpha</i>	Moule zébrée
<i>Echinogammarus ischnus</i>	Amphipode ponto-caspienne
<i>Egeria densa</i>	Élodée dense
<i>Esox masquinongy</i>	Maskinongé
<i>Esox niger</i>	Brochet maillé
<i>Eubosmina coregoni</i>	Puce d'eau
<i>Eurytemora affinis</i>	Copépode calanoïde
<i>Gambusia affinis</i>	Gambusie
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Épinoche à trois épines
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille eurasienne
<i>Hemimysis anomala</i>	Crevette rouge sang
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	Hydrocharide grenouillette (morène aquatique, petit nénuphar, mors de grenouille)
<i>Impatiens glandulifera</i>	Impatiante glanduleuse (balsamine de l'Himalaya)

<i>Iris pseudacorus</i>	Iris des marais (ou jaune)
<i>Lepomis gibbosus</i>	Crapet-soleil
<i>Lepomis humilis</i>	Crapet menu
<i>Lithobates clamitans</i>	Grenouille verte
<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire pourpre
<i>Micropterus dolomieu</i>	Achigan à petite bouche
<i>Micropterus salmoides</i>	Achigan à grande bouche
<i>Morone americana</i>	Baret (bar-perche)
<i>Morone chrysops</i>	Bar blanc
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Myriophylle en épi
<i>Neogobius melanostomus</i>	Gobie à taches noires (ou arrondi)
<i>Nymphoides peltata</i>	Faux-nymphéa à feuilles peltées
<i>Oncorhynchus clarkii</i>	Truite fardée
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	Saumon rose
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Saumon coho
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Saumon quinnat
<i>Orconectes limosus</i>	Écrevisse américaine
<i>Orconectes rusticus</i>	Écrevisse à taches rouges
<i>Orconectes virilis</i>	Écrevisse à pinces bleues (ou nordique)
<i>Osmerus mordax</i>	Éperlan arc-en-ciel (ou du Pacifique)
<i>Perca flavescens</i>	Perchaude
<i>Petromyzon marinus</i>	Lamproie
<i>Phalaris arundinacea</i>	Alpiste roseau
<i>Phragmites australis australis</i>	Roseau commun (ou à balai, fragmite)
<i>Pimephales promelas</i>	Tête-de-boule (vairon ou méné à grosse tête)
<i>Pisidium amnicum</i>	Pisidie
<i>Pisidium henslowanum</i>	Pisidie de Henslow
<i>Pisidium supinum</i>	Pisidie à bosse
<i>Poecilia latipinna</i>	Molliénésie à voileure
<i>Potamogeton crispus</i>	Potamot crépu
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Escargot de Nouvelle-Zélande

<i>Proterorhinus semilunaris</i>	Gobie de la mer noire
<i>Rana catesbeiana</i>	Ouaouaron
<i>Richardsonius balteatus</i>	Méné rose
<i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i>	Cresson de fontaine
<i>Rorippa sylvestris</i>	Rorippe sylvestre (cresson des bois)
<i>Salmo salar</i>	Atlantic salmon
<i>Salmo trutta</i>	Saumon atlantique
<i>Salvelinus alpinus</i>	Omble chevalier (ou arctique)
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Omble de fontaine
<i>Salvelinus malma</i>	Dolly Varden
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle (ou gardon rouge)
<i>Sphaerium corneum</i>	Sphaeriidé (petite palourde d'eau douce)
<i>Tinca tinca</i>	Tanche
<i>Trapa natans</i>	Châtaigne d'eau
<i>Typha angustifolia</i>	Roseau à massette (quenouille)
<i>Typha x glauca</i>	Quenouille
<i>Valvata piscinalis</i>	Valvée piscinale
<i>Viviparus georgianus</i>	Vivipare géorgienne