



# Agir sur les changements climatiques : **vers un dialogue élargi à la société civile canadienne**

Un recueil de textes en réponse à

*Agir sur les changements climatiques :  
**les solutions d'universitaires canadiens et canadiennes***

un document de consensus lancé en mars 2015



Faculté des  
sciences







À PROPOS DES AUTEURS

# MATHIEU CANTON ET MARC LUCOTTE

---

Mathieu Canton, chargé de cours au département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM, est biogéochimiste des écosystèmes, spécialisé dans la dispersion et atténuation des polluants dans l'environnement.

Marc Lucotte, professeur titulaire à l'Institut des sciences de l'environnement de l'UQAM, a été directeur scientifique de la Chaire CRSNG-Hydro-Québec en environnement pendant une dizaine d'années. Il a ensuite poursuivi ses recherches portant sur deux impacts environnementaux majeurs de la création de grands réservoirs pour alimenter la production hydroélectrique, la contamination au mercure des poissons fréquemment consommés par les populations et la production et émission de gaz à effet de serre par l'entremise d'une série de projets CRSNG stratégiques.

POUR PLUS D'INFORMATIONS, VEUILLEZ CONTACTER

[lucotte.marc\\_michel@uqam.ca](mailto:lucotte.marc_michel@uqam.ca)

OU

[canton.mathieu@gmail.com](mailto:canton.mathieu@gmail.com)



UN PÊCHEUR CRI SUR UN DES RÉSERVOIRS  
DU COMPLEXE LA GRANDE. CETTE PHOTO ILLUSTRE  
NOTRE PROPOS SUR LES USAGES MULTIPLES SOUHAITABLES  
POUR LES RÉSERVOIRS HYDROÉLECTRIQUES.

© MARC LUCOTTE



# L'hydroélectricité,

## la production énergétique par excellence au Canada bien que pas tout à fait verte

Selon la Canadian Hydropower Association<sup>1</sup>, l'hydroélectricité permet au Canada d'assurer ses besoins énergétiques tout en diminuant la pollution de l'air et les émissions de gaz à effet de serre (GES). Des investissements et aménagements majeurs ont eu lieu entre les années 1950-1990, faisant aujourd'hui du Canada le troisième producteur d'hydroélectricité dans le monde avec une production moyenne de 376 millions de mégawattheures et plus de 10 000 barrages, dont 511 ouvrages majeurs<sup>2</sup>. Plus de 63 % de la production électrique est d'origine hydroélectrique au Canada, et jusqu'à 90 % dans les provinces du Québec, Manitoba, Yukon, Colombie-Britannique, Terre-Neuve-et-Labrador (Tableau 1). En prévision de la croissance des besoins énergétiques de la société canadienne, l'intérêt pour la production hydroélectrique demeure vif et plusieurs projets de grands barrages sont en cours (aménagement de la rivière Romaine au Québec) ou à l'étude (centrale de Conawapa au Manitoba).

Dans les provinces les plus productives (Québec et Manitoba), il est intéressant de noter la longueur considérable des lignes de transmissions, les grands barrages étant situés à plusieurs centaines de kilomètres des zones urbaines. L'éloignement de la ressource entraîne inévitablement des pertes d'énergie lors du transport, estimées à environ 5 % sur l'ensemble du réseau de transmission d'Hydro-Québec. De nombreuses interconnexions entre provinces et entre le Canada et les États-Unis permettent d'exporter une hydroélectricité à relativement bas coût en dehors des provinces productrices (Manitoba et Québec notamment).

Les grands barrages à vocation énergétique représentent 67 % du total des barrages construits au Canada entre 1969 et 2002<sup>2</sup>. D'autres usages leur sont donc réservés, tels que l'irrigation (Alberta, Colombie-Britannique, Saskatchewan), l'écêtement des crues, la production d'eau potable. Chacun de ces usages non reliés à la production d'hydroélectricité représente 4 à 7 % du total des barrages construits.

1 Canadian Hydropower Association (2008). Hydropower in Canada: Past, Present and Future, <https://canadahydro.ca/fr/rapportsreference/rapports-et-publications-de-lach>

2 [http://www.imis100ca1.ca/cda/Main/Dams\\_in\\_Canada/CDA/Dams\\_In\\_Canada.aspx?hkey=63e199b2-d0e3-4eaf-b8ad-436d9415ad62](http://www.imis100ca1.ca/cda/Main/Dams_in_Canada/CDA/Dams_In_Canada.aspx?hkey=63e199b2-d0e3-4eaf-b8ad-436d9415ad62)



---

## Remplacer un écosystème boréal terrestre par un aquatique?

---

---

### Des écosystèmes forestiers inondés

---

Les réservoirs prennent place sur des écosystèmes continentaux relativement préservés car ils sont le plus souvent éloignés des zones urbaines. La zone de forêt de conifères du bouclier et le bouclier boréal sont les deux écozones les plus affectées par les barrages avec respectivement 20 311 km<sup>2</sup> (1,42 % de la surface) et 27 690 km<sup>2</sup> (1,46 % de la surface) inondés<sup>3</sup>. L'écosystème continental est donc perdu sous les eaux et avec lui toute la biomasse continentale (sols, végétaux). Les impacts sur la faune sont doubles : d'une part la disparition des ressources sous les eaux qui oblige à une migration et d'autre part le fractionnement du territoire. C'est ainsi que l'ancien lac Michikamau au Labrador a vu sa surface tripler suite à son endiguement. L'inondation de 4 000 km<sup>2</sup> de zone de vèlage des caribous a contribué au déclin de cette population<sup>4</sup>. Outre la surface inondée, les lacs créent aussi un obstacle infranchissable de plusieurs milliers de kilomètres carrés parfois qui fractionne le territoire, de même que les routes d'accès aménagées au cœur des forêts.

---

### Des écosystèmes riverains altérés

---

L'écosystème des eaux courantes souffre quant à lui de deux altérations. Il est fractionné par les retenues d'eau et partiellement remplacé par un système de lacs artificiels caractérisé par des eaux stagnantes, profondes, à stratification saisonnière. Cette double altération se traduit par une baisse de la biodiversité<sup>5</sup>. En cause, on peut citer

l'introduction d'espèces envahissantes par les aménagements de diversions et surtout la perturbation du continuum fluvial. Le fractionnement du continuum fluvial limite le déplacement des espèces de poisson entraînant des mortalités élevées chez les saumons sauvages de Colombie-Britannique par exemple<sup>5</sup>. Le fractionnement de la rivière isole aussi chaque espèce présente dans le continuum en plusieurs petites communautés qui sont alors fragilisées<sup>6</sup>. Enfin, la gestion artificielle des débits perturbe également l'écosystème aquatique au niveau du lac de barrage et surtout en aval. Une rivière canadienne naturelle voit ses débits augmenter fortement lors de la fonte nivale alors qu'ils sont normalement quasiment nuls en hiver<sup>3</sup>. À l'inverse, le débit d'une rivière exploitée pour l'hydroélectricité voit ses débits augmenter en hiver lors des pics de demande électrique. La crue de printemps est maintenue, mais d'intensité réduite ainsi que l'a montré une étude sur la rivière Peace en Colombie-Britannique<sup>7</sup>. Cette gestion artificielle des débits a des conséquences majeures en aval des barrages, notamment sur les zones humides qui s'assèchent en été, sur les baisses de salinité dans les estuaires en périodes de fort turbinage et sur la productivité biologique en général. Par exemple, un déséquilibre de l'écosystème littoral a été clairement observé dans le delta Peace-Athabasca en aval du barrage Bennet en Alberta qui a vu les stocks de rats musqués et de poissons s'effondrer, privant les communautés autochtones d'une impor-

---

5 Wissmar, R. C., Smith, J. E., McIntosh, B. A., Li, H. W., Reeves, G. H., et Sedell, J. R. (1994). « A history of resource use and disturbance in riverine basins of eastern Oregon and Washington (early 1800s-1990s) », *Northwest Science* 68: 1-35.

6 Humpesch, U. H. (1992). « Ecosystem study Altenwörth: impacts of a hydroelectric power-station on the River Danube in Austria », *Freshwater Forum* 2: 33-58.

7 Shelast, B.M., Luoma, M.E., Brayford, K.T., et Tarpey, T. (1997). *Environmental effects monitoring of the Peace River for Daishowa-Marubeni International Ltd., Peace River, Alberta*. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences.

---

3 Rosenberg, D. M., Bodaly, R. A., et Usher, P. J. (1995). « Environmental and social impacts of large scale hydroelectric development: who is listening? », *Global Environmental Change* 5: 127-148.

4 Hummel, M., et Ray, J. C. (2008). *Caribou and the North: A Shared Future*. D. Press, Ed., pp. 288.

tante ressource<sup>8</sup>. Ce sont au total 130 000 km de rivière qui ont été artificialisés au Canada<sup>9</sup>.

---

### Des écosystèmes lacustres instables

---

Enfin, les réservoirs sont caractérisés par des amplitudes entre les hautes et les basses eaux de plusieurs mètres à l'échelle de quelques années puisque les précipitations exceptionnelles sont stockées et au contraire, les déficits de précipitation abaissent le niveau du lac. Ce « marnage », combiné à l'action des glaces, érode la zone riparienne et amoindrit leurs capacités biologiques de support. C'est ainsi que sur un échantillon de 17 lacs du Québec, des chercheurs ont observé seulement 8 % des berges biologiquement actives<sup>10</sup>. La grande mobilité de la ligne de rivage des lacs peu profonds maintient les berges peu productives et sensibles à l'érosion. La modification des cycles biogéochimiques va favoriser certaines espèces de poissons au détriment de la diversité. Ce sont ainsi les brochets et corégones qui vont devenir majoritaires<sup>11</sup>.

---

### Nécessaire adaptation des populations locales

---

Même si les grands réservoirs hydroélectriques canadiens sont presque tous situés dans des zones peu densément peuplées, ils engendrent d'importants déplacements de populations, à l'instar de la population crie de l'Île de Fort-George dans le Nord québécois. Cette communauté a dû être totalement

relocalisée à Chisasibi en 1981, à la suite de la création du complexe La Grande qui a entraîné une érosion de l'île et une perte du couvert de glace en hiver limitant les possibilités de déplacement. De plus, l'inondation de territoires traditionnels de chasse a soit forcé les communautés touchées par la création des barrages à se tourner vers la pêche, activité qui a engendré une exposition inquiétante au mercure, soit découragé certains membres de ces communautés de pratiquer des activités traditionnelles de l'usage de leur territoire.

---

### Des cycles biogéochimiques aquatiques perturbés dans les réservoirs et en aval

---

L'eutrophisation des lacs artificiels est une altération fréquente de l'écosystème aquatique. L'inondation des écosystèmes terrestres génère un apport massif de matière organique qui sera en partie conservée au fond des lacs dans les anciens sols et en partie accumulée sous forme de débris de surface. Il s'ensuit la réaction en chaîne classique de l'eutrophisation : accumulation de matière organique, intensification de la reminéralisation, diminution de l'oxygénation des eaux, acidification des eaux et intensification de la production primaire avec baisse de la biodiversité.

La perturbation du cycle biogéochimique du mercure est certainement la pollution la mieux documentée dans les réservoirs canadiens. L'inondation de sols et forêts va permettre de transformer une partie des stocks de mercure inorganique non toxique dans les sols, en une forme organique (méthylation du mercure) qui est elle hautement neurotoxique et bioaccumulée dans l'ensemble du réseau trophique aquatique. Les conditions anaérobies des sols inondés favorisent ainsi le processus bactérien de méthylation du mercure. En outre, l'érosion des berges contribue à remettre en suspension le sédiment

---

8 Rosenberg, D. M., Bodaly, R. A., et Usher, P. J. (1995). « Environmental and social impacts of large scale hydroelectric development: who is listening? », *Global Environmental Change*, 5: 127-148.

9 MacAllister, D. (2000). In *Biodiversity in Canada: Ecology, Ideas, and Action*, B. Stephen, Ed. University of Toronto Press, pp. 426.

10 Denis, R., Foisy, M., Desmarais, M., Marcoux, J., et Côté, P. (1991). *Érosion des berges des réservoirs hydroélectriques. Tome I : Rapport final – Tome II : Dossier cartographique*. Montréal, Consultants SOGEAM, 2 : 107.

11 Astrade, L. (1998). « La gestion des barrages-réservoirs au Québec : exemples d'enjeux environnementaux », Dans: *Annales de Géographie*, 107(604): 590-609.



enrichi en méthylmercure<sup>12</sup>. Sur le complexe La Grande (au Québec), la méthylation du mercure était toujours observée 20 à 30 ans après la mise en eau du barrage et la chair des poissons de haut niveau trophique contient toujours des concentrations supérieures à celles mesurées avant l'aménagement de la rivière<sup>13</sup>.

Bien que moins étudiée que la méthylation du mercure, la gestion artificielle de la ressource hydraulique pourrait avoir des répercussions sur le cycle des nutriments comme mis en évidence dans d'autres zones littorales<sup>14</sup>. L'allongement du temps de séjour de l'eau par rapport à une rivière naturelle, le piégeage sédimentaire de la matière organique produite dans le lac et l'artificialisation des débits perturbent le transfert des nutriments vers l'aval, notamment le domaine littoral. Dans le contexte canadien, cela pourrait être particulièrement sensible puisque 51 % des bassins versants aménagés sont drainés vers la baie d'Hudson<sup>15</sup>. Le débit moyen d'eau douce vers la baie d'Hudson a ainsi diminué de 13 % entre 1964 et 2000 et la crue nivale est moins intense<sup>16</sup>, mais les conséquences sur la production primaire de la baie d'Hudson n'ont pas encore été bien évaluées.

---

### L'hydroélectricité, peu d'émission de GES relativement à d'autres sources de production énergétique

---

L'avantage notable de l'hydroélectricité par rapport à l'électricité d'origine thermique est de ne pas émettre de GES par combustion d'énergies carbonées aussi appelées « fossiles ». Néanmoins, la dégradation de matière organique va également produire des GES. La production de GES d'un réservoir est assez difficile à quantifier à cause de sa variabilité spatiale et temporelle, mais il y a consensus scientifique qualitatif sur trois éléments : l'inondation de vastes territoires de forêt boréale va stimuler la dégradation de la matière organique la plus instable et générer en général un flux de GES (CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>) pendant cinq à 20 ans selon la synthèse du Global Forest Watch<sup>17</sup>. Mais même après épuisement de cette matière organique instable inondée, les émissions de GES d'un réservoir restent supérieures à celles des lacs naturels et ce pendant des dizaines d'années, en raison du marnage important qui érode la matière organique des berges et en raison d'une production *in situ* de matière organique plus instable dans les réservoirs<sup>18</sup>. Un récent travail de quantification à l'échelle du Canada propose des émissions brutes variant de 0,5 à 48 kg de CO<sub>2</sub> par MW/h produit<sup>19</sup>. Il faut alors souligner que ces émissions sont environ 10 à 15 fois moins importantes que celles des centrales à charbon conventionnelles par unité d'énergie produite.

---

12 Lucotte, M., Shelagh, M., et Bégin, M. (1999). In Mercury in the Biogeochemical Cycle. Springer, pp. 165-189.

13 Schetagne, R., et Verdon, R. (1999). In Mercury in the Biogeochemical Cycle. Springer, pp. 235-258.

14 Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., et Heussner, S. (2009). « River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades ? », *Progress in Oceanography*, 80: 199-217.

15 Lee, P. G., Hanneman, M., et Cheng, R. (2012). *Hydropower Developments in Canada: Number, Size and Jurisdictional and Ecological Distribution*, Global Forest Watch, Edmonton, Alberta.

16 Déry, S. J., Stieglitz, M., McKenna, E. C., et Wood, E. F. (2005). « Characteristics and trends of river discharge into Hudson, James, and Ungava Bays, 1964-2000 », *Journal of Climate*, 18: 2540-2557.

---

17 Lee, P. G., Hanneman, M., et Cheng, R. (2012). *Hydropower Developments in Canada: Greenhouse Gas Emissions, Energy Outputs and Review of Environmental Impacts*, Global Forest Watch, Edmonton, Alberta.

18 Weissenberger, S., Lucotte, M., Houel, S., Soumis, N., Duchemin, E., et Canuel, R. (2010). « Modeling the carbon dynamics of the La Grande hydroelectric complex in northern Québec », *Ecological Modelling*, 221: 610-620.

19 Environment Canada (2011). *National Inventory Report 1990-2009: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada - Executive Summary*, <http://www.ec.gc.ca/Publications/default.asp?lang=En&xml=a07097EF-8EE1-4FF0-9aFB-6c392078d1a9>

## Dialogue pour une hydroélectricité verte au Canada

L'essentiel des déséquilibres socioenvironnementaux occasionnés par la production hydroélectrique au Canada est dû à l'inondation de grands territoires terrestres en milieu boréal pour uniquement produire de l'énergie, à la contamination en mercure des poissons fréquemment consommés par les populations et à la production et à l'émission de GES. Ces déséquilibres sont amplifiés par la gestion purement industrielle du réservoir qui produit des marnages

irréguliers de plusieurs mètres d'amplitude. La réalisation et la gestion de réservoirs plus durables et socialement plus acceptables devraient être pensées en considérant les réservoirs hydroélectriques non seulement comme des simples mégavolumes d'eau devant être turbinés selon les seuls besoins énergétiques, mais aussi comme des écosystèmes aquatiques artificiels nécessitant une gestion plus adaptée permettant l'atteinte d'un certain équilibre socioécologique. Ainsi, les turbinages devraient être faits de façon à minimiser les fluctuations trop brusques des niveaux d'eau et à reproduire autant que

**Tableau 1. État des lieux de la production hydroélectrique dans chaque province**

	Nombre de grands barrages <sup>20</sup>	Superficie des réservoirs hydroélectriques (km <sup>2</sup> ) <sup>20</sup>	Part de l'hydroélectricité dans la production électrique totale (%)	Exportation	Importation	Longueur des lignes de transmission (km)	Sites potentiels ou prévus <sup>21</sup>
<b>Alberta</b>	57	166	6 <sup>21</sup>	-	3% <sup>22</sup>	-	2
<b>Colombie-Britannique</b>	93	4 589	22,3 <sup>22</sup>	Oui <sup>22</sup>	Ponctuelle <sup>3</sup>	-	9
<b>Île-du-Prince-Édouard</b>	0	0	0	0	-	-	-
<b>Manitoba</b>	40	7 136	96 <sup>23</sup>	31,3% <sup>23</sup>	-	12 800 <sup>23</sup>	11
<b>Nouveau-Brunswick</b>	16	97	22 <sup>24</sup>	Ponctuelle <sup>24</sup>	Ponctuelle <sup>24</sup>	6 849 <sup>24</sup>	-
<b>Nouvelle-Écosse</b>	34	240	9 <sup>25</sup>	-	5% <sup>25</sup>	5 300 <sup>25</sup>	-
<b>Ontario</b>	114	7 370	23 <sup>26</sup>	-	Oui <sup>26</sup>	-	85
<b>Québec</b>	325	24 108	96 <sup>27</sup>	12% <sup>27</sup>	Ponctuelle <sup>27</sup>	33 900 <sup>27</sup>	20
<b>Saskatchewan</b>	44	6 348	20 <sup>28</sup>	0 <sup>28</sup>	Oui <sup>28</sup>	-	1
<b>Terre-Neuve et Labrador</b>	85	7 500	80 <sup>29</sup>	0 <sup>29</sup>	20% <sup>29</sup>	3 700 <sup>29</sup>	2
<b>Nunavut</b>	0	0	0	-	-	-	-
<b>Territoires du Nord-Ouest</b>	5	162	76 <sup>30</sup>	-	-	-	-
<b>Yukon</b>	4	5	94 <sup>31</sup>	-	-	-	-
<b>TOTAUX</b>	<b>817</b>	<b>58 015</b>	<b>63<sup>20</sup></b>	<b>Oui</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>130</b>

20 Lee, P. G., Hanneman, M. and Cheng, R. (2012). Hydropower Developments in Canada: Number, Size and Jurisdictional and Ecological Distribution, Global Forest Watch, Edmonton, Alberta.

21 Energy Alberta, <http://www.energy.alberta.ca>

22 BC Hydro <https://www.bchydro.com>

23 Manitoba Hydro <http://www.hydro.mb.ca>

24 Énergie NB Power <http://www.nbpower.com>

25 Nova Scotia Power <http://www.nspower.ca>

26 Ontario Ministry of Energy <http://www.energy.gov.on.ca/en/>

27 Hydro-Québec <http://www.hydroquebec.com/about-hydro-quebec/>

28 Sask Power <http://www.saskpower.com/>

29 Newfoundland Power <https://www.newfoundlandpower.com/>

30 Northwest Territories Power Corporation <https://www.ntpc.com/>

31 Yukon Government <http://www.energy.gov.yk.ca/index.html>



faire se peut les débits naturels. Pour tous les barrages hydroélectriques existants et à être construits, des usages multiples des réservoirs d'eau devraient être envisagés, qu'ils soient énergétiques, récréatifs, transport de marchandises, ou ressources des poissons fréquemment consommés. Par ailleurs, la planification de futurs barrages hydroélectriques devrait prendre en considération des productions minimales pendant des décennies de GES à partir de leurs réservoirs en minimisant le rapport surface inondée par unité d'énergie produite, comme des réservoirs dans des vallées encaissées ou encore des barrages au fil de l'eau. Ce sont

notamment les objectifs du plan stratégique 2009-2013 d'Hydro-Québec, concrétisés avec l'aménagement de quatre barrages au fil de la rivière Romaine. La surface inondée (279 km<sup>2</sup>) est relativement modeste ce qui limitera l'impact sur les GES et la méthylation du mercure, mais les détracteurs du projet reprochent, à juste titre, la perte des zones humides riveraines et l'inévitable fragmentation du continuum fluvial. Enfin, les grands plans d'eau des réservoirs hydroélectriques pourraient aussi servir à la production d'énergie éolienne, l'énergie produite pouvant être acheminée par les lignes de transmission existantes.



À PROPOS DE L'INITIATIVE

# DIALOGUES POUR UN CANADA VERT

---

Cette contribution fait partie d'un recueil de textes, *Agir sur les changements climatiques : vers un dialogue élargi à la société civile canadienne*, qui provient des interactions entre Dialogues pour un Canada vert, une initiative parrainée par la Chaire UNESCO-McGill Dialogues pour un avenir durable, et des gens d'affaires, des organisations non gouvernementales, des syndicats, des municipalités, des groupes de chercheurs et des citoyens.

Dialogues pour un Canada vert est une initiative qui mobilise plus de 60 chercheurs provenant de toutes les provinces du Canada qui représentent des disciplines diverses en sciences pures, en génie et en sciences sociales. Nous sommes convaincus qu'il est grand temps de mettre de l'avant des options concrètes, dans le contexte canadien, et que ces options aideront le pays à passer à l'action.

Ensemble, ces textes enrichissent les solutions possibles et prouvent qu'il y a des idées en ébullition partout au Canada. Les opinions exprimées dans *Agir sur les changements climatiques : vers un dialogue élargi à la société civile canadienne* appartiennent aux auteurs et aux organismes respectifs et ne reflètent pas nécessairement celles des Dialogues pour un Canada vert.

Nous remercions tous les contributeurs de s'être engagés dans ce dialogue afin d'arriver à une vision collective des voies menant à une société sobre en carbone et des façons d'y parvenir.

POUR PLUS D'INFORMATIONS, CONSULTEZ NOTRE SITE WEB

[sustainablecanadadialogues.ca/fr/vert/agir-changements-climatiques](https://sustainablecanadadialogues.ca/fr/vert/agir-changements-climatiques)