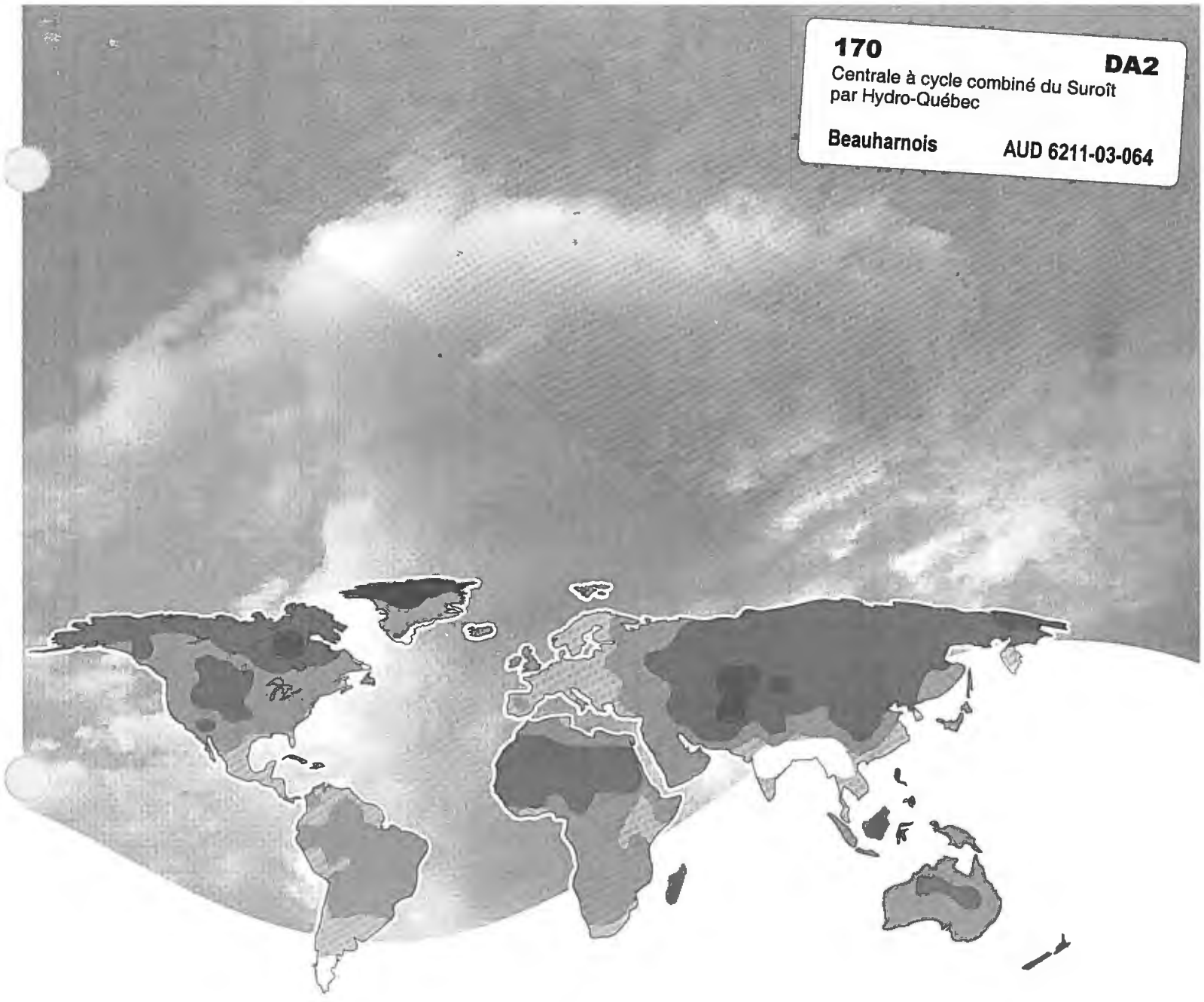


170

DA2
Centrale à cycle combiné du Suroît
par Hydro-Québec

Beauharnois

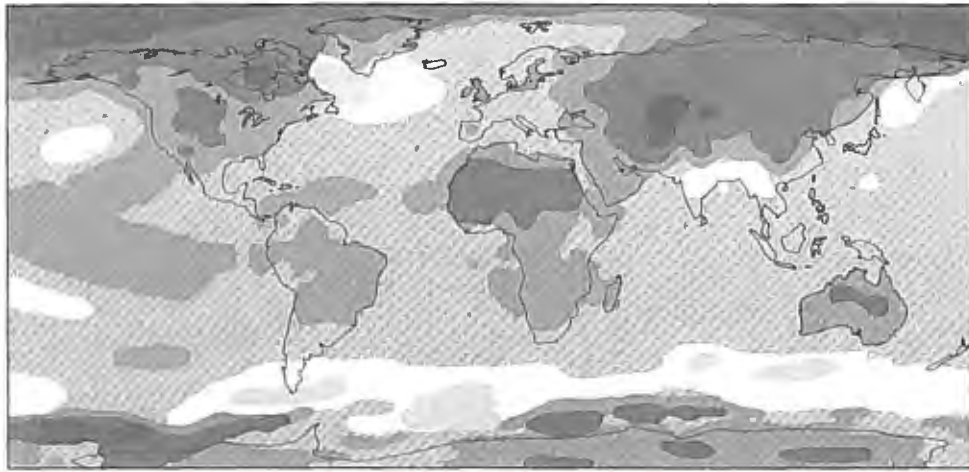
AUD 6211-03-064



Le changement climatique

la performance d'Hydro-Québec

Réchauffement prévu pour la période 2040-2060 : un scénario probable



Changements de température en °C



Depuis la révolution industrielle, il y a environ 120 ans, la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère a fortement augmenté: de 30 % pour le gaz carbonique (CO_2) et de 145 % pour le méthane (CH_4). Selon la plupart des experts, cette concentration pourrait plus que doubler d'ici 50 à 100 ans, ce qui risque de provoquer un réchauffement de la planète à une vitesse jamais vue auparavant et d'augmenter l'incidence d'événements météorologiques extrêmes. Comme l'illustre la carte, le réchauffement serait plus intense dans les pays nordiques. Selon une modélisation récente de l'université de East Anglia (Grande-Bretagne), il pourrait atteindre plus de 6 °C dans le nord du Canada dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration du CO_2 d'ici 2050 et d'une augmentation de la température moyenne du globe de 2,6 °C.

Voici comment le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat décrit les impacts du changement climatique:

- « Des températures plus chaudes vont générer un cycle hydrologique plus vigoureux; cela risque de se traduire par des sécheresses et/ou des inondations plus intenses à certains endroits...
 - Une évolution rapide et soutenue du climat pourrait modifier la compétition entre les espèces et même entraîner un dépérissement des forêts...
 - Les modèles prévoient une hausse du niveau des océans d'environ 50 cm d'ici l'an 2100. »
- Les fiches ci-jointes font le point sur les principaux aspects de cet enjeu et mettent notamment en lumière les faits suivants:
- Par rapport aux autres options de production d'électricité, l'hydroélectricité, une source d'énergie renouvelable qui émet très peu de gaz à effet de serre, peut continuer d'apporter une contribution déterminante à la lutte contre le changement climatique.
 - Grâce au développement de l'énergie hydroélectrique, le Québec a réduit de 16 % ses émissions de CO_2 au cours des 20 dernières années.
 - En comparaison avec le Canada et les États-Unis, le Québec émet deux fois moins de CO_2 per capita.
 - Les émissions de CO_2 évitées par les exportations d'Hydro-Québec de 1990 à 1998 ont atteint 20 000 000 de tonnes par année, ce qui correspond aux émissions annuelles de près de 6 000 000 d'automobiles.

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Recherches concernant la performance d'Hydro-Québec

Émissions de gaz à effet de serre (GES) des réservoirs boréaux

Comparaisons des options énergétiques

Approche traditionnelle

Traditionnellement, l'évaluation des impacts environnementaux des options énergétiques incluait uniquement les impacts directs des centrales. Dans ce contexte, on pouvait affirmer que l'hydroélectricité ne génère aucune émission atmosphérique.

Approche récente : l'analyse de « cycle de vie »

Pour être plus rigoureuses, les comparaisons se basent maintenant sur des analyses de « cycle de vie », qui incluent la construction des ouvrages, leur exploitation ainsi que l'extraction et le transport des carburants. Si ce type d'analyse augmente les impacts des combustibles fossiles, on doit aussi considérer deux sources indirectes d'émissions pour l'hydroélectricité :

- émissions lors de la construction des barrages et autres équipements
- émissions de gaz à effet de serre dues à la dégradation d'une portion de la biomasse inondée.

Plusieurs années de recherche sur les réservoirs boréaux

Programmes de recherche au Canada et en Finlande

Depuis environ 7 ans, des recherches ont été effectuées sur les émissions des réservoirs boréaux, notamment en Finlande et dans certaines provinces canadiennes. Cette fiche a pour objectif de clarifier l'état des connaissances à sujet. Elle présente des évaluations pertinentes aux réservoirs boréaux.

Gaz à effet de serre

GES impliqués dans le bilan des écosystèmes et des réservoirs :
CO₂ : gaz carbonique
CH₄ : méthane
N₂O : oxyde nitreux

Évaluation des émissions des réservoirs, un problème complexe à cause des exigences suivantes :

Distinction entre « émissions brutes » et « émissions nettes »

La création d'un réservoir hydroélectrique modifie les processus écologiques des écosystèmes terrestres ennoyés. Cette modification affecte les émissions de GES des écosystèmes : entrées de CO₂ et sorties de CO₂, CH₄ et N₂O.

Pour évaluer correctement les émissions de GES, il faut connaître les émissions des écosystèmes du bassin versant avant et après la création du réservoir. Cette approche permet de définir les émissions « nettes », dont le réservoir est vraiment responsable. Les émissions mesurées directement sur les réservoirs doivent donc être qualifiées d'émissions « brutes ».

Cycle du carbone

Le carbone est au cœur de toute matière vivante et il circule dans les écosystèmes sous diverses formes :

1. Le carbone organique : qui est vivant ou l'était récemment (ex. biomasse).
2. Le carbone inorganique : sous une forme plus simple, par exemple le gaz carbonique.

Les quatre étapes de recherche requises pour définir les émissions des réservoirs

1

Première étape : déterminer les émissions d'un réservoir, par mètre carré

Selon l'état actuel de la recherche, il faut tenir compte de plusieurs éléments pour définir les émissions « nettes » de GES des réservoirs. Une équation permet de résumer les travaux requis, avec chaque élément décrit dans le tableau suivant.

$$\text{Émissions « nettes »} = \text{Émissions « brutes »} - A - B - C + D - E$$

Éléments de l'équation		État actuel des connaissances
Émissions « nettes » =		
Émissions « brutes »	Telles que mesurées directement sur les réservoirs	Plusieurs mécanismes peuvent expliquer les émissions brutes des réservoirs, notamment : 1. La décomposition partielle de la biomasse inondée entraîne la formation de CO ₂ et d'un peu de CH ₄ . 2. La décomposition de carbone organique et inorganique introduits dans les réservoirs via les eaux de ruissellement des bassins versants.
Moins A	Portion des émissions brutes dues à des échanges de carbone inorganique. Cette portion ne représente pas une source « nette » de CO ₂ atmosphérique.	Les analyses isotopiques révèlent qu'une portion des émissions mesurées est composée de carbone inorganique, provenant d'échanges récents avec l'atmosphère, par exemple des entrées directes de CO ₂ atmosphérique dans les eaux de surface. Dans un bassin versant, les entrées et les sorties de carbone inorganique devraient être en équilibre et ne représentent pas une source nette de CO ₂ atmosphérique.
Moins B	Portion des émissions brutes qui auraient eu lieu de toute façon sans réservoir (émissions dues à la décomposition de matière organique)	Une portion du carbone organique lessivé dans les réservoirs aurait également été décomposée dans le bassin versant naturel. Ceci semble confirmé par le fait que plusieurs lacs naturels ont des niveaux d'émissions (par m ²) semblables aux réservoirs.
Moins C	Réduction des émissions naturelles due au réservoir	L'ennoiement de marécages ou de tourbières peut réduire leur effet sur le climat, en permettant la conversion, dans l'eau, du CH ₄ en CO ₂ (le potentiel de réchauffement du CO ₂ est moindre que celui du CH ₄).
Plus D	Perte de fixation à long terme dans les sols ennoyés	Les sols forestiers stockent une quantité significative de carbone, qui est généralement stable. Dans certaines conditions, la quantité de carbone peut augmenter à long terme. Sur les sols boréaux, les grands glaciers se sont retirés (il y a environ 10 000 ans) et le développement de la végétation a permis de créer un stock de carbone. Ce stock est probablement encore à la hausse mais le taux d'accroissement est très faible.
Moins E	Fixation à long terme dans les sédiments des réservoirs.	Du carbone sera stocké dans les sédiments des réservoirs, mais le taux d'accumulation est très faible en milieu boréal.

Cette démarche indique que les émissions « brutes » mesurées exagèrent probablement les émissions dont les réservoirs sont vraiment responsables.

2**2^e étape :**évaluer les émissions **annuelles** d'un réservoir, **par unité énergétique****Composantes de l'évaluation**

Les efforts précédents ne servent qu'à définir des émissions représentatives par mètre carré, pour une année donnée. Une deuxième étape consiste à « étendre » cette évaluation à un réservoir au complet (ou à un groupe de réservoirs d'un complexe). En théorie, cette étape devrait tenir compte des facteurs d'émissions spécifiques (par m²) à chaque zone du réservoir, en fonction du type d'écosystème ennoyé, de la profondeur, des courants, etc. Il faut alors définir les superficies de chaque zone et multiplier cette superficie par le facteur d'émissions (par m²) pertinent.

Connaissances actuelles

Le niveau des connaissances ne permet pas encore une évaluation des différentes zones des réservoirs. Jusqu'à maintenant, les évaluations appliquent un facteur d'émission unique à l'ensemble d'un réservoir.

3**3^e étape :**évaluer les émissions d'un réservoir, **par unité énergétique, pour la vie du projet****Composantes de l'évaluation**

Une troisième étape est d'estimer la tendance des émissions, à long terme. Ceci est possible en obtenant des données sur des réservoirs similaires, mais d'âges très différents. Il faudra ensuite, pour toute la vie du réservoir, diviser les émissions totales, par la production anticipée d'électricité. Les analyses de cycle de vie présument généralement que les centrales hydroélectriques ont une durée de vie de 100 ans.

Connaissances actuelles

Il existe un consensus partiel à l'effet que les émissions diminuent pendant les premières années, et les évaluations essaient de tenir compte de cette tendance.

4**4^e étape :**évaluer les émissions **représentatives**, par unité énergétique

Lors de comparaisons d'options énergétiques, les projets spécifiques ne sont souvent pas connus et il est nécessaire de définir un réservoir représentatif de la plupart des projets. Cette fiche discute principalement du complexe La Grande. Par contre, les données internationales indiquent que, dans les autres pays, les réservoirs sont beaucoup plus petits, par unité énergétique, que ceux du complexe La Grande. Ceci est dû à une topographie peu accentuée au Québec. Pour définir des émissions représentatives, **il est préférable d'utiliser une taille moyenne de réservoir**, en prenant par exemple le cas de la Finlande.

Pour chacun des pays présentés au tableau, les données sont des moyennes nationales et **les variations sont encore plus grandes pour des projets individuels**. Cette grande variation est la principale explication des controverses au sujet des émissions des réservoirs, car il est possible de dramatiser les émissions en prenant un cas exceptionnel comme la centrale de Balbina au Brésil (très grand réservoir avec petite production d'énergie).

Tailles des réservoirs par unité énergétique

Pays ou complexe hydroélectrique	Production annuelle d'électricité	Superficie de réservoir par TWh
	TWh	km ² /TWh
La Grande	78	174
Finlande	12	63
Suisse	38	5
Chine : 59 centrales	94	24
Suède	25	25
Asie : 133 centrales		41
Amérique Latine : 37 centrales		105
Balbina, Brésil	1	3 147

Résultats des programmes de recherche réalisés sur les réservoirs boréaux

Résultats concernant les émissions « brutes »

Faits saillants	Explication scientifique
En été, tous les réservoirs boréaux émettent de faibles quantités de GES par mètre carré. Pour la grande majorité des réservoirs, les émissions moyennes sont composées d'environ 99 % de CO ₂ et de 1 % de méthane.	Les programmes de recherche ont mesuré des émissions « par diffusion », c'est-à-dire avec un échange lent entre l'eau et l'air. La décomposition de la biomasse ennoyée et du carbone organique en circulation crée des émissions de gaz carbonique (CO ₂) et de méthane (CH ₄).
Les réservoirs peu profonds, sur tourbières ennoyées, peuvent avoir un profil d'émissions différent, avec environ 3 % des émissions sous forme de méthane et de très faibles émissions de N ₂ O.	La décomposition de la biomasse peut aussi générer des émissions de N ₂ O, mais sur la plupart des réservoirs, les émissions sont trop faibles pour être mesurables.
Au-dessus de quelques zones peu profondes, des émissions de GES sous forme de bulles ont été mesurées.	La grande majorité des GES formés dans le sol inondé ou dans la colonne d'eau se dissolvent dans l'eau avant de migrer vers la surface, mais une petite quantité de CH ₄ , peu soluble dans l'eau, peut s'échapper sous forme de bulles.
La décomposition de la biomasse ennoyée ne peut à elle seule expliquer l'intensité des flux mesurés sur une longue période. Il doit donc nécessairement y avoir une autre source de carbone pour soutenir le niveau mesuré des émissions brutes.	Pour le complexe La Grande (voir tableau suivant), on peut calculer l'effet maximum de la biomasse ennoyée, en émettant l'hypothèse suivante : « toutes les émissions mesurées seraient dues à la décomposition de la biomasse au fond du réservoir ». En présumant que toute la biomasse émergente ainsi que celle des premiers 5 cm de sols se décompose, toute cette biomasse aurait « disparue » après 37 ans et les émissions devraient cesser. En fait, après plus de 60 ans aux réservoirs Gouin et Cabonga, une grande portion de cette biomasse est encore au fond du réservoir et des émissions « brutes » sont toujours mesurées.

Comparaison des émissions brutes de GES avec la quantité de biomasse inondée

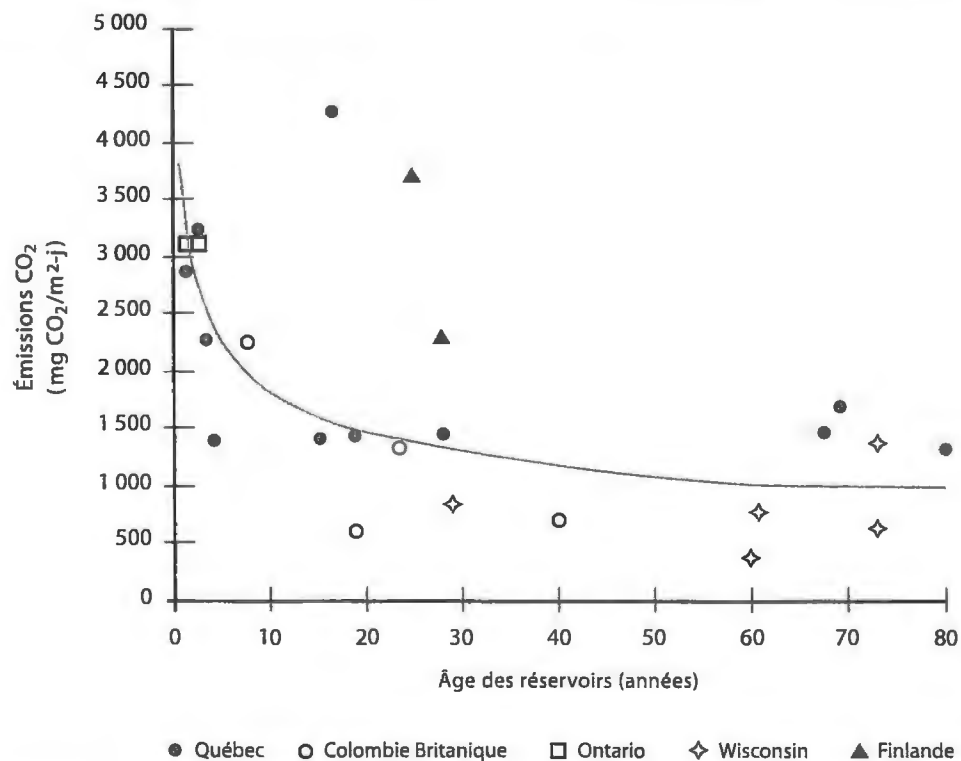
	Émissions brutes totales des réservoirs LG2 et LA1 du complexe La Grande; été + hiver, flux diffusif + bulles (Université du Québec à Montréal)	Taux de carbone	Flux total exprimé en carbone
CH ₄	3,37 g / m ² - an	12/16	2,5 g / m ² - an
CO ₂	296 g / m ² - an	12/44	80,7 g / m ² - an
			83 g / m ² - an
Complexe La Grande : Biomasse totale émergente et dans les premiers 5 cm de sols = 6 140 g biomasse / m ² Carbone = 50 % de la biomasse = 3 070 g C / m ² divisé par flux annuel de 83 g/m ² = 37 Quantité de carbone suffisante pour 37 ans d'émissions avant décomposition totale			

Comparaison des émissions brutes des différents réservoirs boréaux

Faits saillants	Explication scientifique
Selon les données disponibles (voir figure suivante), les émissions brutes mesurées semblent significativement plus grandes dans les premières années de l'existence du réservoir, par rapport aux années subséquentes.	On peut présumer que ces émissions plus élevées sont dues à une décomposition de la biomasse ennoyée, plus spécifiquement la portion facilement décomposable (par exemple les feuilles). Mais chacune de ces données est une moyenne des différents résultats d'une année. Étant donné que les écart-types de ces données sont importants, une incertitude scientifique persiste.
Après la première décennie, les émissions brutes des réservoirs boréaux semblent se stabiliser pour plusieurs décennies.	Cette stabilisation du niveau des émissions pourrait être due à la décomposition de la matière organique provenant des écosystèmes environnants et circulant dans le réservoir. Il existe également de l'incertitude à ce sujet, mais les résultats sont compatibles avec le fait que plusieurs lacs naturels émettent des GES à un niveau comparable à ceux des réservoirs âgés.

Émissions brutes moyennes de GES des réservoirs boréaux, selon leur âge

émissions mesurées « par diffusion », excluant les bulles

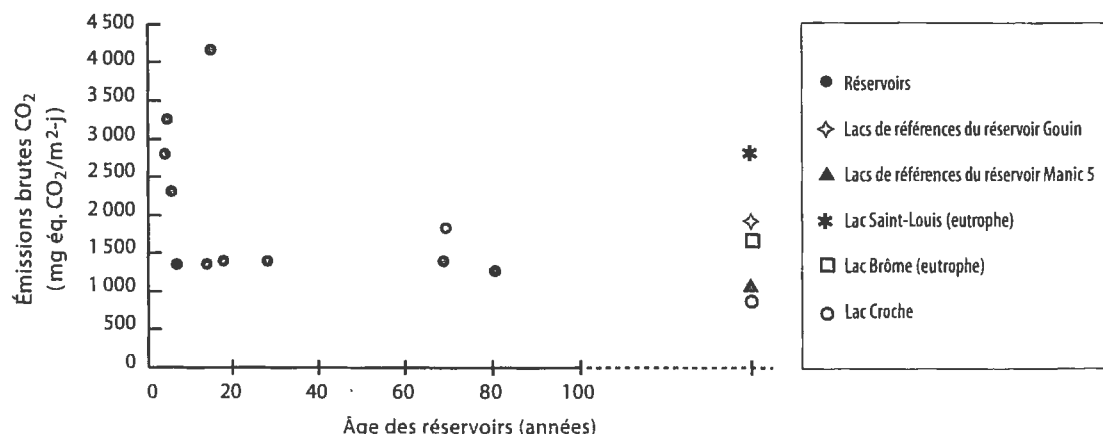


Faits saillants concernant les émissions « nettes » des réservoirs

La recherche portant sur l'évaluation des émissions « nettes » des réservoirs est encore à un stade préliminaire. Ceci est inhérent au fait qu'il faut examiner et comprendre l'ensemble des processus du bassin versant pour pouvoir réduire les incertitudes liées à la définition des émissions « nettes ».

Nettes =	Faits saillants	Explication scientifique
↓ Brutes	Tel que mesuré généralement avec des chambres flottantes	
→ Moins A	Environ 30 % des émissions mesurées est composée de carbone inorganique provenant directement ou indirectement de l'atmosphère. Cette portion des émissions brutes ne représente pas une source réelle de CO ₂ atmosphérique.	Des études du réservoir LG2 ont examiné la signature biologique du CO ₂ dissous dans l'eau, selon le rapport des isotopes stables du carbone (13C/12C). Les résultats préliminaires confirment des entrées significatives de CO ₂ atmosphérique dans les eaux de surface.
→ Moins B	Il existe des quantités importantes de carbone organique circulant dans les réservoirs, provenant des eaux de ruissellement et des rivières. Ce carbone est responsable d'émissions brutes significatives, mais une quantification est actuellement impossible. Une portion de ces émissions aurait lieu de toute façon dans un écosystème naturel.	• Les études portant sur la biomasse au fond des réservoirs indiquent une très faible diminution du carbone, même après plusieurs décennies. Il faut donc qu'une grande proportion des émissions soit due au carbone en circulation. • Les analyses confirment la présence significative de carbone organique dissous dans l'eau, ainsi que du carbone particulaire. • Les mesures effectuées sur des lacs naturels indiquent des niveaux d'émissions comparables aux réservoirs âgés (voir graphique suivant).
→ Moins C1	La création d'un réservoir permet d'éviter des émissions significatives provenant des sols forestiers, particulièrement des émissions de N ₂ O.	Une étude confirme que les sols forestiers sont responsables d'émissions de N ₂ O. Le N ₂ O possède un très fort potentiel de réchauffement (relativement au CO ₂) et ces émissions sont équivalentes à environ 7 % des émissions brutes.
→ Moins C2	Les émissions « naturelles » de CH ₄ des tourbières et marécages inondés sont probablement diminuées par la présence d'un réservoir.	Le CH ₄ dissous émanant des parties plus profondes (plus de 5 m) du réservoir est oxydé en CO ₂ avant d'atteindre la surface du réservoir.

Comparaison des émissions « brutes » des réservoirs et des lacs naturels, au Québec



Évaluation des émissions « brutes corrigées » de GES du complexe La Grande

Des recherches additionnelles sont requises avant de fournir une évaluation fiable des émissions « nettes ». Malgré cela, il est possible de corriger les émissions « brutes » pour tenir compte des résultats récents de recherche.

Évaluation du complexe La Grande, basée sur les mesures suivantes : • réservoir LA1 : 0 à 4 ans après ennoiemment, et • réservoir LG2 : 15 à 19 ans après ennoiemment		Émissions de CO ₂ équivalent
1 ^{re} étape : définition des émissions « brutes corrigées » par m ²		g/ m ² /an
Brut	Émissions mesurées directement sur les réservoirs	375
Moins A	Le carbone inorganique dans l'eau n'est pas une source nette de CO ₂ atmosphérique. La portion du carbone inorganique est estimée* à 30 % du total.	Réduction de 110
Moins B1	Portion des émissions brutes qui auraient été réalisées de toute façon dans la rivière et l'estuaire du bassin non aménagé (émissions dues à la décomposition de matière organique).	Réduction non quantifiée
Moins C1	Émissions évitées de N ₂ O suite à la mise en eau** (7 % du total)	Réduction de 25
Moins C2	Émissions évitées de CH ₄ des tourbières et marécages	Réduction non quantifiée
Plus D	Perte de fixation de carbone (C) à long terme dans les sols forestiers. En assumant que la fixation est constante depuis la dernière glaciation, le taux d'accroissement de C dans les sols est de 0,5 g/m ² /an, pour former le stock actuel de 5,4 kg/m ² au complexe La Grande. Ce taux exprimé en CO ₂ est de 2 g/m ² /an.	Hausse de 2
Moins E	Fixation à long terme de carbone dans les sédiments des réservoirs	Réduction non quantifiée (probablement minime)
Émissions « brutes corrigées » par m²		= 242
2 ^e étape : définition des émissions « brutes corrigées » par unité d'énergie		kt/TWh
Moins B2	Avant la création du réservoir, des lacs naturels occupaient une superficie de la zone du futur réservoir et ces lacs avaient des niveaux d'émissions brutes semblables aux réservoirs. Comme cette superficie aurait émis des GES de toute façon, elle ne doit pas être incluse dans le calcul des émissions « nettes ». Complexe La Grande : lacs naturels = 22 % des réservoirs superficie des réservoirs : 13 000 km² - superficie des lacs naturels : 3 000 km² = superficie ennoyée : 10 000 km² 242 g/ m²/an X 10 000 km² divisé par 78 TWh/ an = 31	31
Plus	Émissions liées à la construction des équipements	+ 2
Émissions « brutes corrigées » du complexe La Grande		= 33
* La valeur mesurée de 44 % pour le réservoir Robert Bourassa a été réduite à 30 % pour le Complexe La Grande. ** Les émissions évitées pour sols forestiers boréaux représentent ~ 155 mg équivalent CO₂/ m²-j à raison de 150 j par an.		
Selon ces évaluations préliminaires, les émissions « brutes » de GES exagèrent, par au moins 35 %, les émissions dont les réservoirs sont réellement responsables. Et ce bilan ne tient pas compte de plusieurs sources naturelles d'émissions de CO₂ et de CH₄ des écosystèmes (notamment les tourbières, la rivière naturelle et son estuaire). Ces processus n'ont pas été quantifiés, mais ils sont susceptibles de réduire davantage les émissions « brutes », dans un calcul plus complet des émissions « nettes ».		

Études et recherches additionnelles qui seront réalisées au Québec

Afin de permettre une quantification précise des émissions « nettes » de GES sur une longue période, Hydro-Québec a entrepris un programme de recherche additionnel de 5 ans (2000 à 2004). Cette recherche portera sur l'ensemble du bassin du complexe La Grande, y compris l'estuaire, avec une approche du « cycle global du carbone » des écosystèmes concernés. D'autres campagnes de mesures des GES sont prévues, à l'aide de différentes techniques. Des lasers, des sondes automatisées et des analyses des isotopes seront utilisés, en complément de la méthode des chambres flottantes.

Conclusion

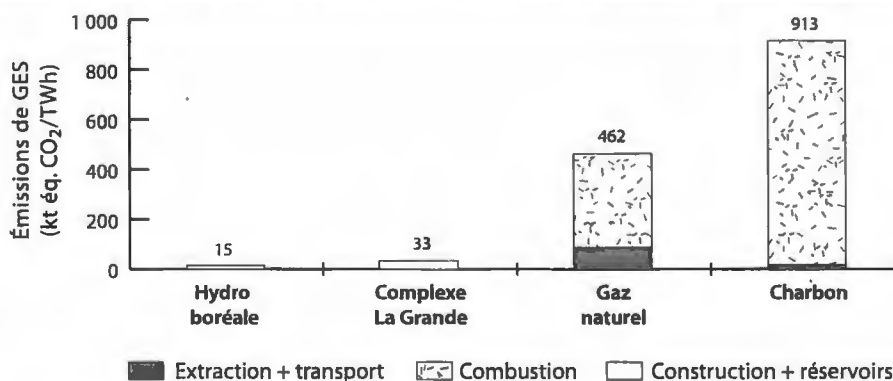
Pour le complexe La Grande situé dans le nord du Québec, on peut estimer les émissions de GES à 33 kilotonnes de CO₂ équivalent / TWh (en fonction des connaissances acquises à la fin de 1999). Les émissions de ce complexe hydroélectrique sont 14 fois moindres que les émissions de centrales au gaz et 28 fois moindres que celles de centrales au charbon.

La majorité des projets hydroélectriques en milieu boréal ont des réservoirs plus petits (par unité énergétique) que ceux du complexe La Grande (174 km² / TWh), donc des facteurs d'émission moindres. En utilisant la Finlande comme cas représentatif des réservoirs boréaux (moyenne

de 63 km² / TWh), le facteur d'émission des réservoirs est alors de 11 tonnes de CO₂ équivalent / TWh

Il existe encore des incertitudes scientifiques concernant les émissions des réservoirs, surtout à cause de la distinction entre les émissions « nettes » et « brutes ». Dans quelques années, il est possible qu'on arrive à une estimation des émissions « nettes » proche de zéro. Et même en prenant les émissions « brutes » actuelles (le pire des cas), les émissions du complexe La Grande sont 10 fois moindres que les émissions de centrales performantes au gaz.

Émissions
de GES
de quelques
options de
production
d'électricité



Les recherches confirment l'existence d'émissions significatives de GES provenant de plusieurs écosystèmes naturels, notamment les marécages et les lacs. En conséquence, l'état des connaissances permet d'affirmer que les émissions mesurées directement sur les réservoirs exagèrent systématiquement les émissions réelles dont les réservoirs sont responsables, car ces mesures ne tiennent pas compte que des émissions naturelles auraient eu lieu de toute façon sans la présence d'un réservoir.

Auteurs : Luc Gagnon, gagnon.luc@hydro.qc.ca
Louis Varfalvy, varfalvy.louis@hydro.qc.ca

Sur la base de recherches effectuées par la Chaire de recherche en environnement
Hydro-Québec — CRSNG — UQAM.

© Hydro-Québec, direction – Environnement
Juillet 2000
2000G061-8

www.hydroquebec.com/environnement
La reproduction de cette fiche est autorisée.
This publication is also available in english.

CHANGEMENT CLIMATIQUE

La performance d'Hydro-Québec

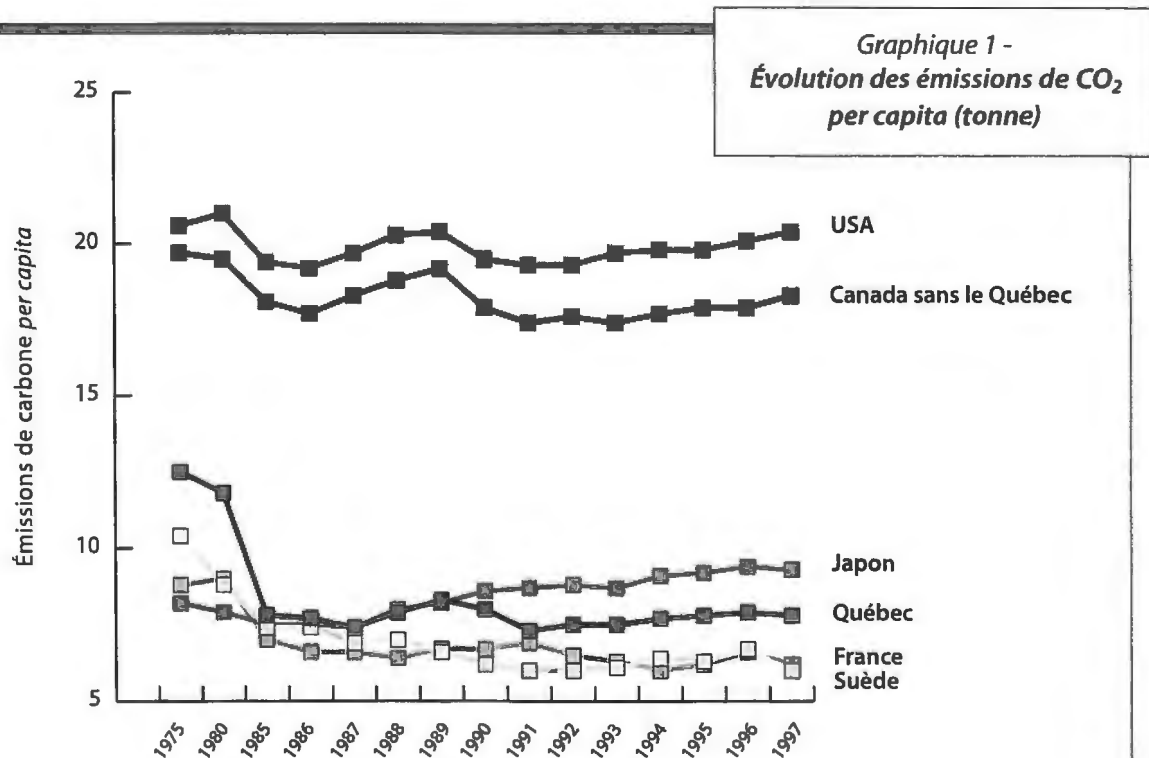
Les émissions de gaz à effet de serre évitées par Hydro-Québec

Enjeux environnementaux

L'Institut de l'énergie des pays francophones et le Ministère des Ressources naturelles du Québec font les commentaires suivants :*

- « Grâce au développement de l'énergie hydroélectrique, le Québec a réduit de 16 % ses émissions de CO₂ au cours des 20 dernières années.
- Le niveau actuel est de loin inférieur aux moyennes canadienne et américaine et ressemble plus aux niveaux suédois et japonais. »

En comparaison avec le reste du Canada et les États-Unis, le Québec émet deux fois moins de CO₂ *per capita*.

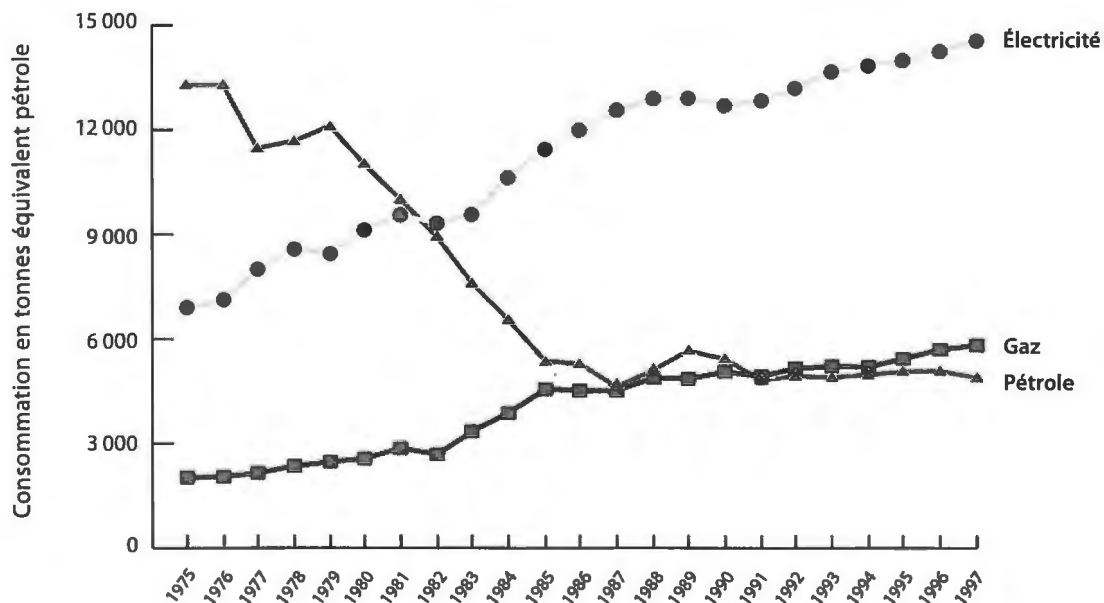


Source (1) OCDE, Données OCDE sur l'environnement, Compendium 1999
(2) Ministère des Ressources naturelles, L'Énergie au Québec, édition 1999.

* « Les besoins énergétiques de l'an 2000 - Perspectives éthiques et environnementales » (1995, p.XVI)

Au Québec, la progression importante de l'hydroélectricité au détriment du pétrole comme source d'énergie pour le chauffage des immeubles est illustrée par le graphique 2. Ce graphique présente l'évolution de la consommation énergétique au Québec, excluant le secteur des transports pour la période 1975 - 1997. La conversion des systèmes de chauffage au mazout vers des systèmes électriques a connu son apogée entre 1982 et 1988.

Graphique 2 -
Évolution de la consommation énergétique au Québec
1975 - 1997 (excluant le secteur des transports)



Lorsque l'on fait le lien entre les graphiques 1 et 2, nous pouvons établir la correspondance entre la baisse des émissions de CO₂ *per capita* au Québec et la pénétration marquée de l'hydroélectricité dans le bilan énergétique et ce, plus particulièrement de 1980 à 1985. Cette pénétration de l'électricité au niveau du chauffage des immeubles peut donc être considérée comme le facteur déterminant de la baisse des émissions *per capita* au Québec.

Au cours des 25 dernières années, Hydro-Québec a répondu à la demande d'électricité à partir de filières émettant très peu de GES : hydroélectricité, biomasse, éoliennes et valorisation de gaz de sites d'enfouissement.

La contribution d'Hydro-Québec depuis 1990

Avec la ratification de la Convention-cadre sur les changements climatiques et du Protocole de Kyoto, la problématique des changements climatiques est devenue un sujet clé à l'agenda planétaire. Afin de stabiliser les émissions de GES à leur niveau de 1990, tel que prévu dans le Protocole de Kyoto, le gouvernement du Québec a mis sur pied un programme d'enregistrement (ÉcoGES^{te}) des mesures volontaires des entreprises et organismes œuvrant sur son territoire.

Participant actif à ce programme, Hydro-Québec, par l'augmentation de ses sources d'approvisionnement émettant peu ou pas de GES, a permis d'éviter l'émission de 78 millions de tonnes d'équivalent CO₂ au cours de la période 1991 à 1998.

Tableau 1 - Sommaire des émissions évitées (millions de tonnes éq. CO₂) *

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Total
Augmentation de la production d'Hydro-Québec	4,1	4,8	7,9	11,1	14,8	13,8	11,6	6,2	74,3
Achats de producteurs privés	0,005	0,01	0,03	0,1	0,25	0,8	1,2	1,4	3,8
Total									78

Cette évaluation repose sur l'hypothèse suivante, pour les nouveaux projets d'énergie renouvelable :

Si Hydro-Québec n'avait pas fait ces choix au niveau des sources d'approvisionnement, elle aurait dû recourir à des approvisionnements provenant de la filière thermique la plus performante au niveau des émissions de GES soit, les centrales à cycle combiné au gaz naturel ayant un rendement énergétique moyen de 50 %.

Les 78 millions de tonnes d'émissions évitées par les différentes sources d'approvisionnement d'Hydro-Québec pour la période 1991-1998 correspondent à 88,7 % des émissions totales de GES du Québec en 1997 et à 11,4 % des émissions totales du Canada pour la même année.

Faits saillants concernant les émissions évitées de GES

Tableau 2 - Émissions évitées par catégorie : production Hydro-Québec

Catégorie	(t éq. CO ₂)
Remplacement de centrales thermiques dans les réseaux non reliés	117 056
Réduction de la production thermique dans le réseau principal	9 031 980
Augmentation de la production à partir de filières émettant peu ou pas de GES : • augmentation de la production hydroélectrique (centrales existantes et nouveaux projets) > 63 798 038 • augmentation de la production thermonucléaire (Gentilly II) > 1 415 291	65 213 329
Total	74 362 365

La mise en service de la centrale hydroélectrique Lac-Robertson en 1995 a permis le remplacement de 3 centrales au diesel pour une réduction d'émission de plus 117 000 tonnes d'équivalent CO₂ sur une période de 3 ans.

L'évolution de la production thermique depuis 1990 a permis, en minimisant le recours à la centrale thermique de Tracy, de réduire les émissions de plus de 9 millions de tonnes d'équivalent CO₂.

L'augmentation de la production hydroélectrique et thermonucléaire a permis d'éviter l'émission de plus de 65 millions de tonnes d'équivalent CO₂.

* Évaluation réalisée par Hydro-Québec pour le programme ÉcoGES.

Tableau 3 - Émissions évitées par catégorie : achats de producteurs privés

Catégorie	(t éq. CO ₂)
Valorisation des gaz des sites d'enfouissement	1 777 429
Production à partir de filières n'émettant pas directement de GES :	
• hydroélectrique > 1 431 754	
• biomasse forestière > 613 609	
• éolienne > 1 688	2 047 051
Total	3 824 480

La captation des gaz émis par des sites d'enfouissement a permis une réduction d'émission de plus de 1,7 million tonnes d'équivalent CO₂.

L'augmentation de la production à partir de filières émettant peu ou pas de GES a permis d'éviter l'émission de plus de 2 millions de tonnes d'équivalent CO₂.

Auteurs : Yves Desrochers, desrochers.yves@hydro.qc.ca
Luc Gagnon, gagnon.luc@hydro.qc.ca

© Hydro-Québec, direction – Environnement

Mai 2000
2000G061-6

www.hydroquebec.com/environnement

La reproduction de cette fiche est autorisée.

This publication is also available in english.

CHANGEMENT CLIMATIQUE

La performance d'Hydro-Québec

Hydro-Québec réduit la pollution chez ses voisins

Avantage environnemental des exportations d'hydroélectricité

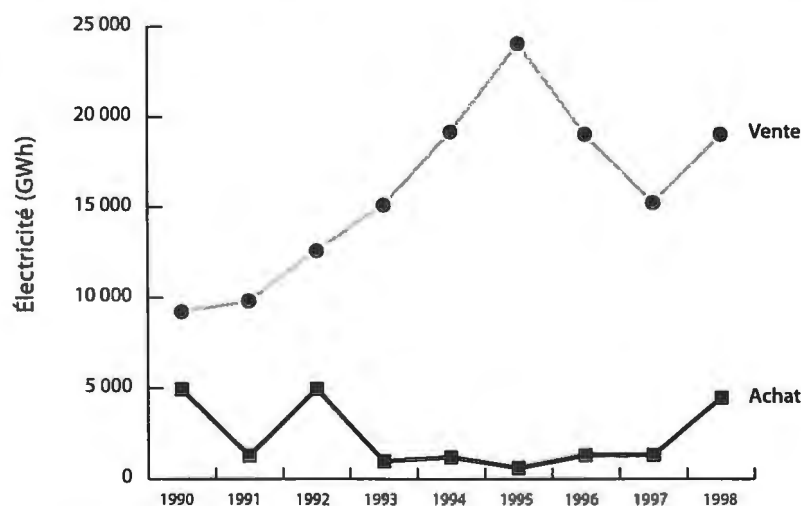
Depuis près de 10 ans, Hydro-Québec, grâce au développement hydroélectrique réalisé au Québec et au Labrador, exporte chaque année plus d'électricité qu'elle n'en importe de ses voisins. Les principaux clients d'Hydro-Québec sont situés dans les États de New York et de la Nouvelle-Angleterre ainsi qu'en Ontario et au Nouveau-Brunswick.

À première vue, ces transactions semblent purement économiques, sans impact sur l'environnement. Cependant, la situation est tout autre. En effet, chaque compagnie d'électricité exploite

différents types de centrales qui émettent des quantités différentes de polluants atmosphériques. Hydro-Québec, grâce à sa filière hydroélectrique, a une très bonne performance à ce niveau par rapport aux compagnies voisines. En effet, tel que démontré dans une fiche technique approuvée par Deloitte et Touche, chaque térawattheure (TWh) vendu par Hydro-Québec génère :

- 18,5 fois moins d'émission de CO₂
- 11,7 fois moins d'émission de SO₂
- 15 fois moins de NO_x que la moyenne régionale.

Figure 1 -
Électricité achetée
et vendue par
Hydro-Québec



Les émissions atmosphériques, CO₂, SO₂, et NO_x, peuvent avoir des impacts au niveau local, régional ou même planétaire.

- CO₂ (dioxyde de carbone ou gaz carbonique) : le plus important gaz à effet de serre relié aux activités humaines, à l'origine des changements climatiques.
- SO₂ (dioxyde de soufre) : précurseur important des dépôts acides et des particules fines.
- NO_x (oxydes d'azote) : précurseurs importants de l'ozone au sol (smog urbain) et des dépôts acides.

Les émissions « évitées »

Chaque achat ou vente d'électricité par Hydro-Québec peut être relié à des émissions atmosphériques. En effet, les compagnies d'électricité voisines utilisent leurs centrales thermiques lorsque leur demande est élevée, notamment pendant l'été. Comme les exportations d'Hydro-Québec se réalisent surtout pendant ces périodes, elles évitent une utilisation des centrales thermiques situées dans ces régions.

L'exportation de notre électricité n'est pas associée à des émissions atmosphériques. En effet, plus de 99 % de la production d'Hydro-Québec est d'origine hydroélectrique ou nucléaire. La production thermique

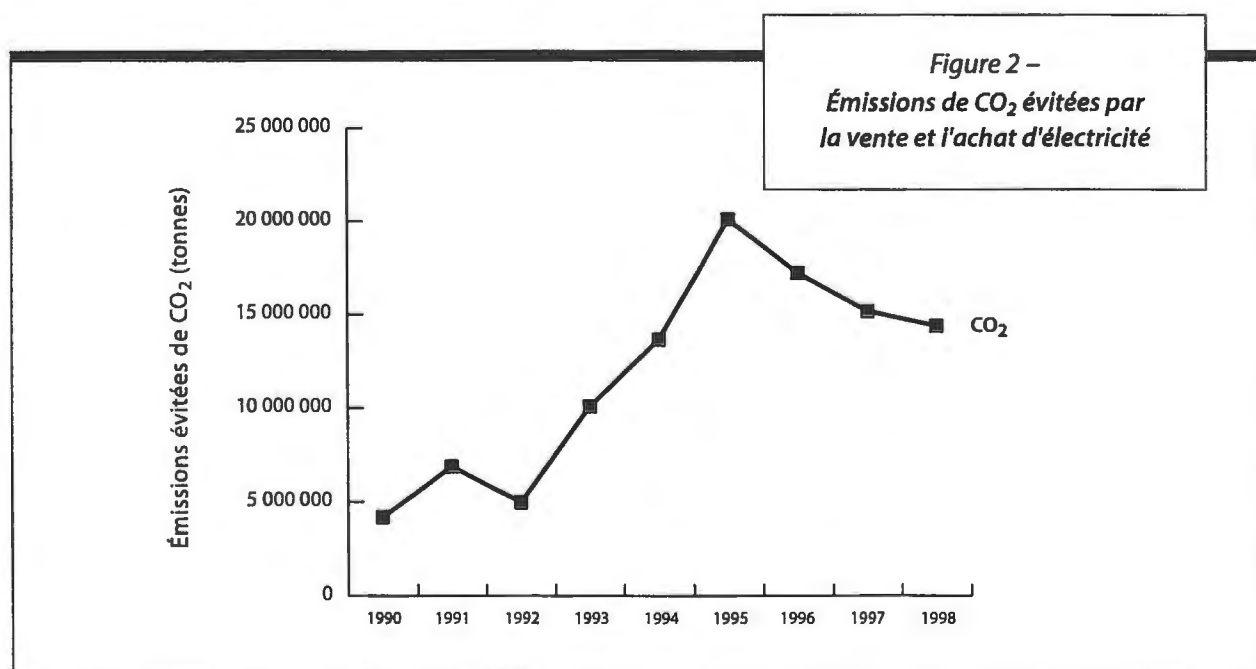
d'Hydro-Québec a lieu, sauf exception, lors de la période de pointe hivernale au Québec. Les centrales thermiques d'Hydro-Québec ne servent donc généralement pas à la production d'électricité pour l'exportation.

Puisqu'Hydro-Québec exporte beaucoup plus d'électricité qu'elle n'en achète (voir figure 1), les transferts nets d'électricité correspondent à des émissions évitées. En effet, nos clients hors-Québec (Nouvelle Angleterre, New York, Ontario et Nouveau Brunswick) évitent de faire fonctionner leurs centrales au mazout et au charbon en achetant l'électricité d'Hydro-Québec.

Les émissions de gaz à effet de serre évitées par Hydro-Québec

La figure ci-jointe résume les émissions atmosphériques de polluants évitées par l'exportation d'hydroélectricité de 1990 à 1998 au Canada (Nouveau Brunswick et Ontario) et aux États-Unis (Nouvelle Angleterre et État de New York).

Pour le CO₂, les émissions évitées peuvent être aussi importantes que 20 000 000 t par année, ce qui correspond aux émissions annuelles de près de 6 000 000 d'automobiles.



À des fins de comparaison :

- Émissions totales du Canada (1995) de CO₂ = 489 000 000 t
- Émissions totales des États-Unis (1996) de CO₂ = 5 394 000 000 t

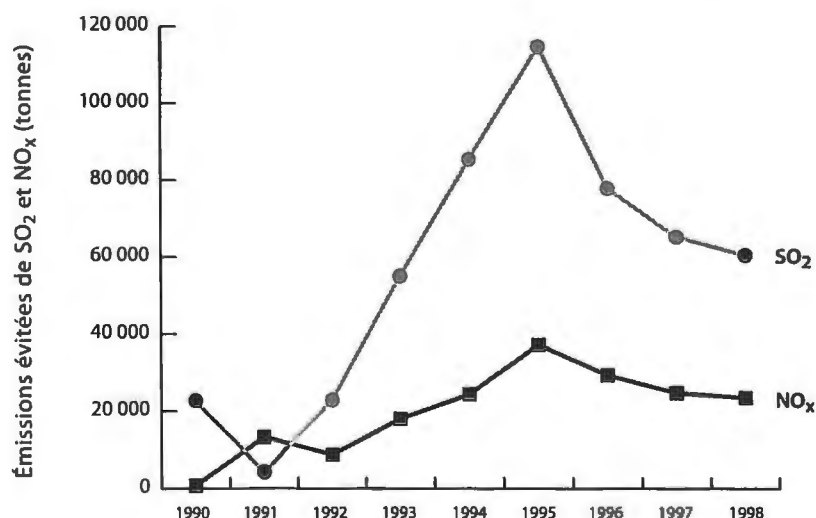
Hydro-Québec contribue à l'amélioration de la qualité de l'air en Amérique du Nord

Les exportations à des clients de l'État de New York en 1996 ont évité des émissions de SO_2 et de NO_x équivalentes à environ 4 à 5 % des émissions de polluants de l'ensemble des compagnies d'électricité de cet état.

Les émissions évitées permettent de diminuer le phénomène des pluies acides et de l'ozone au sol. L'effet bénéfique est observé principalement dans la région où les émissions auraient été produites autrement. Par contre, puisqu'une partie des polluants émis aux États-Unis et dans le reste du Canada se retrouve au Québec par le transport aérien à grande distance, les exportations peuvent également aider à l'amélioration de la qualité de l'air au Québec. En effet, plus de 50% des polluants précurseurs des dépôts acides et de l'ozone au sol mesurés au Québec proviennent des États-Unis et du reste du Canada*.

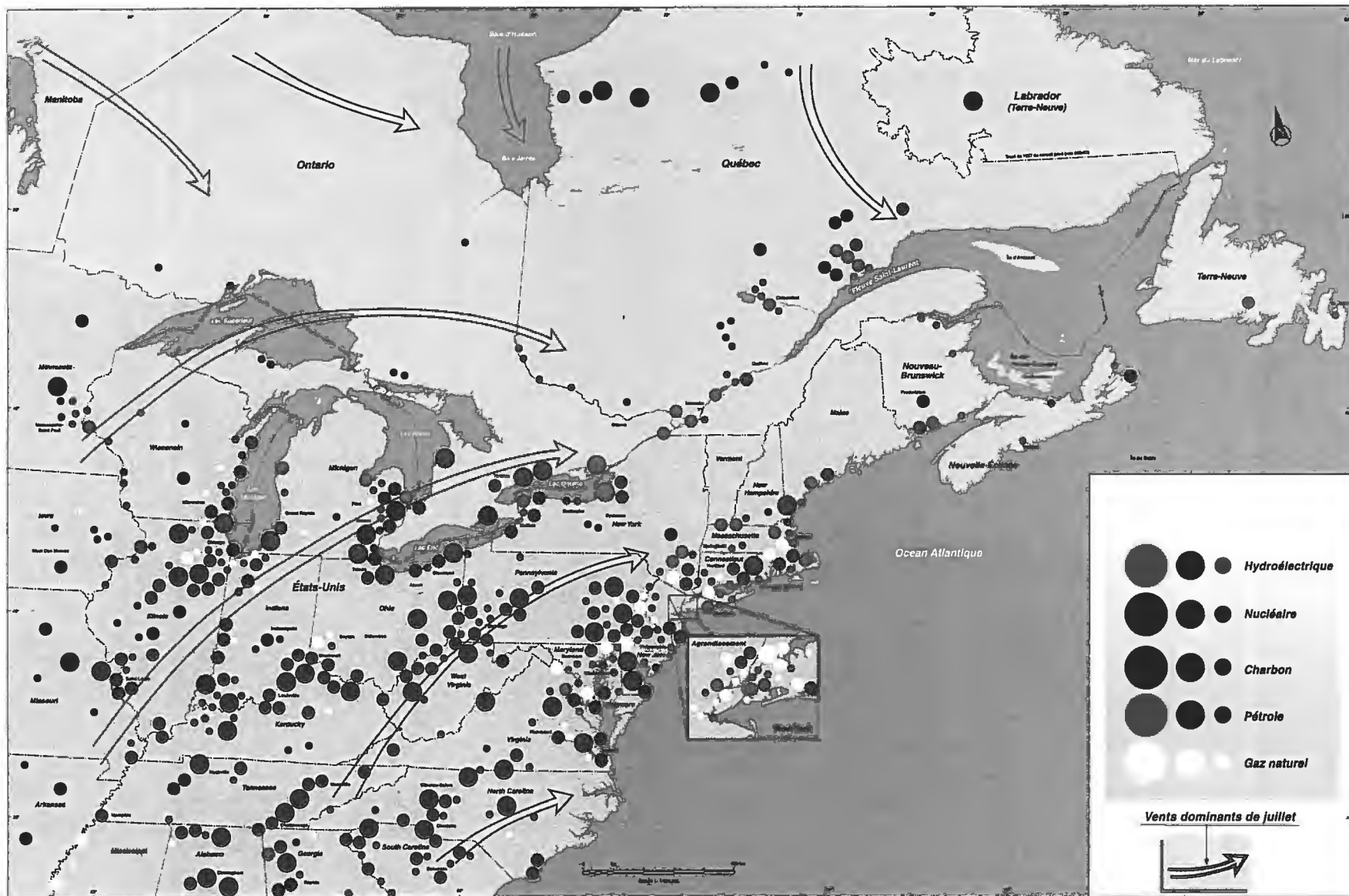
* Source : Environnement Canada
<http://www.ec.gc.ca/fenvhome.html>

Figure 3 –
Émissions de SO_2 et de NO_x évitées
par la vente et l'achat d'électricité



À des fins de comparaison :

- Émissions totales du Canada (1995) de SO_2 = 2 654 000 t
- Émissions totales des États-Unis (1996) de SO_2 = 18 007 000 t
- Émissions totales du Canada (1995) de NO_x = 2 464 000 t
- Émissions totales des États-Unis (1996) de NO_x = 21 234 000 t



**Plus de 50%
des polluants
atmosphériques
au Québec
proviennent
de nos voisins**

La carte ci-jointe montre l'emplacement des centrales de plus de 200 MW dans l'est du Canada et le nord-est des États-Unis. La prépondérance des centrales thermiques dans les provinces et états voisins du Québec y est très visible. De plus, les flèches montrent la direction des vents dominants. Ceux-ci contribuent à disperser les polluants atmosphériques et à les transporter sur de très grandes distances, en partie vers le Québec.

**Hydro-Québec réduit
la pollution chez ses voisins**

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Effets sur les activités socio-économiques

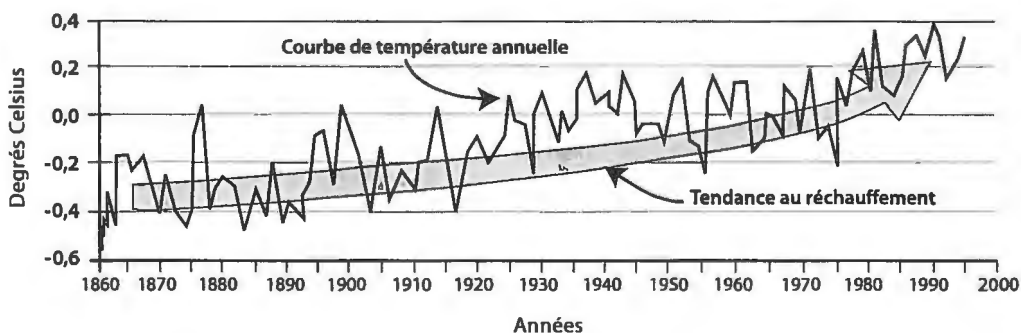
Depuis le début de l'industrialisation, les activités humaines, notamment l'utilisation de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) à des fins de production d'énergie ont causé une augmentation rapide des gaz à effet de serre.

L'Amérique du Nord se trouve au premier rang mondial pour ce qui est des émissions de gaz à effet de serre, soit le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O).

Les émissions par habitant au Canada viennent au deuxième rang mondial, derrière les États-Unis.

L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre a accru l'effet de serre et a provoqué un **réchauffement rapide de la planète**. En Amérique du Nord, les données historiques montrent une augmentation des températures de l'ordre de 1°C à 2°C par 100 ans (NOAA, 2000). La température moyenne à la surface de la Terre a augmenté d'environ $0,5^\circ\text{C}$ au cours des 100 dernières années (figure 1).

Figure 1 -
Évolution de
la température
au cours des
deux derniers
siècles



Source : Environnement Canada, site Internet : <http://www.ec.gc.ca/climate/primer>

Des scénarios pour prévoir les effets

Le scénario de référence ($2 \times \text{CO}_2$) prévoit, d'ici 2050, une concentration de dioxyde de carbone de 550 ppmv, soit environ deux fois plus élevée que le niveau préindustriel (280 ppmv).

Selon ce scénario, les températures moyennes annuelles pourraient augmenter de 2°C à 5°C

aux États-Unis (excluant l'Alaska) et de 4°C à 8°C au Canada. Les précipitations seraient plus abondantes et plus variables ; elles tomberaient davantage sous forme de pluie. Les événements météorologiques extrêmes (tempêtes, sécheresses, inondations) seront plus intenses et se produiraient plus fréquemment (tableau 1).

**Tableau 1 -
Tendances prévues
pour les événements
climatiques extrêmes
si le réchauffement
de la planète
se poursuit**

Événements	Tendance prévue
Orages convectifs	Plus fréquents et plus violents
Tornades	Plus fréquentes et plus violentes
Vagues de chaleur	Plus fréquentes et plus violentes
Vagues de froid	Moins fréquentes
Sécheresses	Plus fréquentes
Inondations	Plus fréquentes

Adapté de : Environnement Canada, 1997.

Il semble cependant de moins en moins probable que les ententes actuelles sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre soient suffisantes pour prévenir le doublement des concentrations de CO₂. Ainsi, un scénario plus pessimiste (3 X CO₂) pourrait alors s'avérer davantage réaliste, avec des effets plus grands.

Répercussions attendues

Augmentation des décès dus à la chaleur

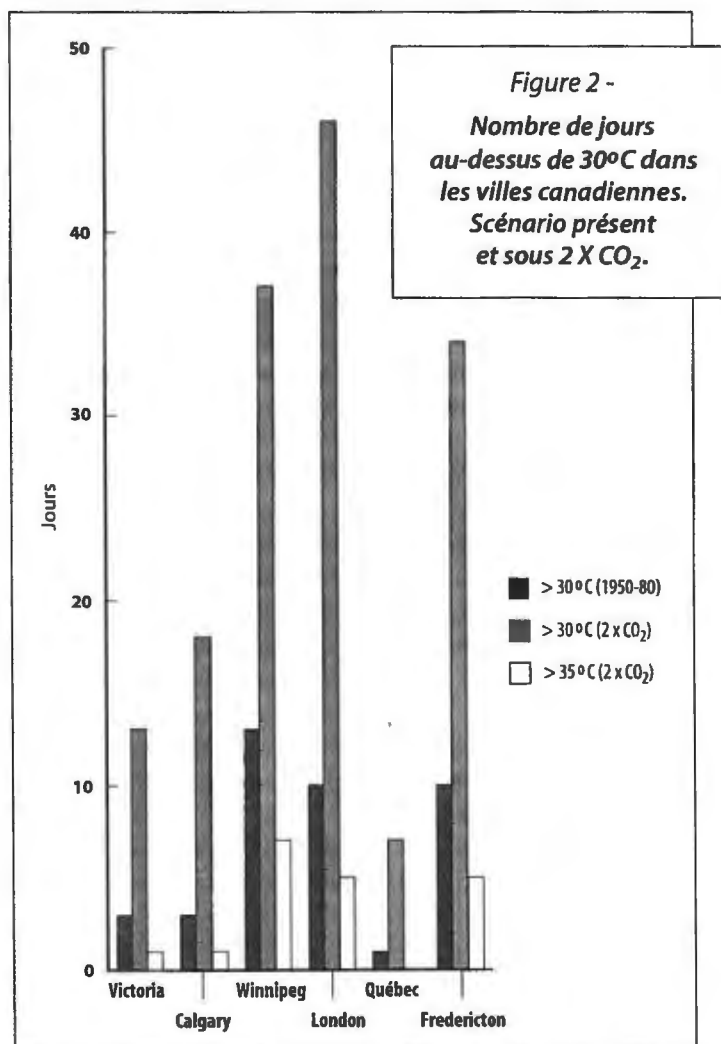
Au cours des prochaines années, les vagues de chaleur extrême seraient vraisemblablement plus fréquentes. Le nombre de journées estivales durant lesquelles les températures dépassent 30 °C, dans les villes canadiennes comme Toronto, passerait de 10 environ à plus de 50 par année (figure 2). À Montréal, le nombre annuel de décès liés à la chaleur augmenterait de 70 à 460 d'ici 2020 (Environnement Canada, 1997).

Augmentation des maladies

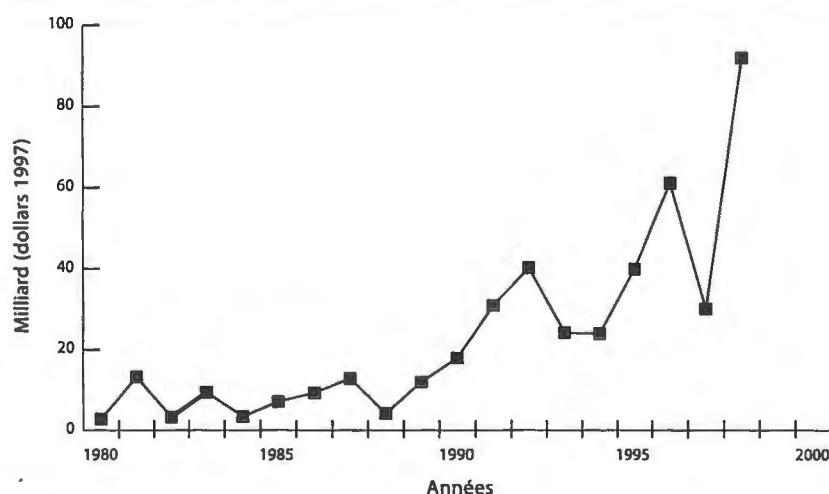
Des eaux de surface plus chaudes et moins profondes pourraient favoriser la prolifération d'algues toxiques qui contiennent souvent des concentrations élevées de parasites, de virus ou de bactéries.

On pourrait assister à une augmentation de la variété et du nombre d'insectes, tels les moustiques, porteurs de maladies potentiellement fatales comme la malaria, la dengue, la fièvre jaune et plusieurs types d'encéphalite virale.

Source : Fondation David Suzuki,
1998. « À couper le souffle ».



**Figure 3 –
Pertes économiques
planétaires engendrées
par des désastres
naturels**



Source : Worldwatch Institute, dans Brown et al., 1999. Format papier seulement.

Pertes économiques et augmentation des primes d'assurances

L'augmentation du nombre de désastres naturels ferait nécessairement augmenter les dommages matériels et les coûts qui y sont liés (figure 3).

À titre d'exemple, les désastres naturels liés aux variations climatiques (feux de forêts, ouragans, avalanches, grêle, verglas, inondations, sécheresses, tornades, etc.) ont causé des dommages évalués à environ 39 milliards de dollars aux États-Unis entre 1992 et 1996 (IPCC, 1998). En Floride, l'ouragan Andrew avait causé pour 30 milliards de dollars américains de dégâts en 1992 (Environnement Canada, 1997).

Au Canada, les inondations du Saguenay ont coûté plus de 350 millions de dollars canadiens et les violentes tempêtes de grêle qui se sont récemment abattues sur Calgary et Winnipeg ont engendré des coûts de 140 et 120 millions de dollars respectivement (Environnement Canada, 1997).

Sur la scène mondiale, les pertes liées exclusivement au relèvement anticipé des océans (sans égards aux autres phénomènes potentiels du changement climatique) sont évaluées à plusieurs milliards de dollars américains (tableau 2). L'inondation des terres actuellement habitées entraînerait le déplacement des populations dans plusieurs pays.

Tableau 2
Dommages prévus liés uniquement à l'élévation de 1 m du niveau de la mer d'ici 2100 pour différents pays.

Pays	Population touchée		Pertes monétaires		Pertes territoriales	
	Milliers de personnes	%	Millions de dollars ^a	% PIB	Km ²	% du total
Bangladesh	71 000	60	–	–	25 000	17,5
Chine	72 000	7	–	–	35 000	–
Égypte	4 700	9	59 000	204	5 800	1,0
Japon	15 400	15	849 000	72	2 300	0,6
Îles Marshall	20	100	160	324	9	80,0
Pays-Bas	10 000	67	186 000	69	2 165	5,9
États-Unis	–	–	–	–	31 600	0,3

a : dollars américains de 1990

Adapté de : IPCC, 1995.

Augmentation des coûts de transport et des dommages aux routes

Les facteurs environnementaux comptent présentement pour plus de 50 % de la dégradation des routes ; les changements climatiques accélèreraient cette dégradation (Environnement Canada, 1997).

Les dommages prévus aux infrastructures de transport dans les zones côtières de l'Amérique du Nord en raison de la hausse du niveau de la mer sont évalués à plusieurs milliards de dollars (Environnement Canada, 1997). Ainsi, les coûts annuels moyens du transport maritime augmenteraient de 5 % à 30 % en raison de la baisse de plus de 1 m du niveau d'eau des Grands Lacs (Hengeveld, 1995) et de la diminution de 40 % du débit moyen annuel du fleuve Saint-Laurent (Environnement Canada, 1997).

Augmentation des coûts de la production agricole

Les hivers moins rigoureux favoriseraient les infestations d'insectes et la prolifération des maladies, engendrant des pertes en agriculture et une augmentation de l'utilisation de pesticides.

L'évaporation accrue entraînerait un accroissement de la demande en eau et un besoin plus élevé d'irrigation des cultures dans beaucoup de régions agricoles de l'Amérique du Nord.

Avec une augmentation de température de 2 °C, les récoltes de maïs et de soja pourraient diminuer dans toute la ceinture américaine de culture de ces céréales, et celles des pommes de terre

pourraient diminuer de 22 % en moyenne si les augmentations de température atteignent 1,5 °C à 5 °C (IPCC, 1998). Dans l'ouest des Prairies canadiennes, le rendement des semences printanières pourrait être réduit de 35 % (Environnement Canada, 1997).

Diminution des stocks de poissons

Dans les océans, les changements de température et de circulation des masses d'eau risqueraient de modifier le trajet migratoire des poissons, ce qui aurait une incidence sur leur répartition géographique et, conséquemment, sur leur récolte.

La température de l'eau dans l'océan Pacifique serait trop élevée pour les saumons (Welch et al., 1999) et l'on escompte une abondance moindre pour la morue du Pacifique (Conseil du programme climatologique canadien, 1998).

Pertes pour l'industrie forestière

La limite sud de la forêt boréale (forêt de résineux qui couvre un vaste territoire et qui est exploitée par les entreprises forestières) remonterait jusqu'à 900 km plus au nord. La superficie totale des forêts de résineux serait ainsi réduite au profit des prairies et de la forêt de feuillus.

Dans le sud des États-Unis, une réduction du volume du bois pourrait occasionner des pertes de 300 millions de dollars en revenus annuels et les mesures d'aménagement supplémentaires pour les compenser pourraient coûter 100 millions de dollars de plus annuellement (IPCC, 1998).

Pour en savoir plus

Brown, L.R., Renner, M., Halweil, B., Starke, L. et al. 1999. *Vital Signs 1999. The Environmental Trends That Are Shaping Our Future*. Publié par Worldwatch Institute. W.W. Norton & Company, New York.

Conseil du programme climatologique canadien. 1998. *Comprendre les changements climatiques et s'y adapter – Une perspective canadienne*. Document de référence, Science du climat, impacts et adaptation. Stratégie nationale d'intervention du Canada. Novembre 1998, 36 pages.

Environnement Canada. 1997. *L'étude pan-canadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*. Site Internet : <http://www.ec.gc.ca/climate/css>

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC). 1995. *Seconde évaluation du GIEC : Changement de climat*. Hengeveld. 1995. *Comprendre l'atmosphère en évolution : Revue de la science de base et des implications d'un changement du climat et d'un appauvrissement de la couche d'ozone*. Rapport sur l'état de l'environnement no. 95-2, Environnement Canada, Ottawa, 71 pages.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1998. *The Regional Impacts of Climate Change : An Assessment of Vulnerability*. Site Internet : <http://www.epa.gov/globalwarming/publications/reference/ipcc/index.html>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses Contribution of Working Group II to the Second Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Par R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss (Eds). Cambridge University Press, UK. 878 p.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2000. Site Internet : <http://www.noaa.gov>

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2000. Site Internet : <http://www.epa.gov/globalwarming>

Welch, D.W., Ishida, Y. et Nagasawa, K. 1998. *Thermal limits and ocean migrations of sockeye salmon (Oncorhynchus nerka) : long-term consequences of global warming*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55 : 937-948.

Auteurs : Luc Gagnon, gagnon.luc@hydro.qc.ca
Martin Pérusse, perusse.martin@hydro.qc.ca
En collaboration avec GDG conseil inc.

Hydro-Québec, direction – Environnement

Juillet 2000
2000G061-10

www.hydroquebec.com/environnement

La reproduction de cette fiche est autorisée.

This publication is also available in english

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Effets sur le milieu naturel

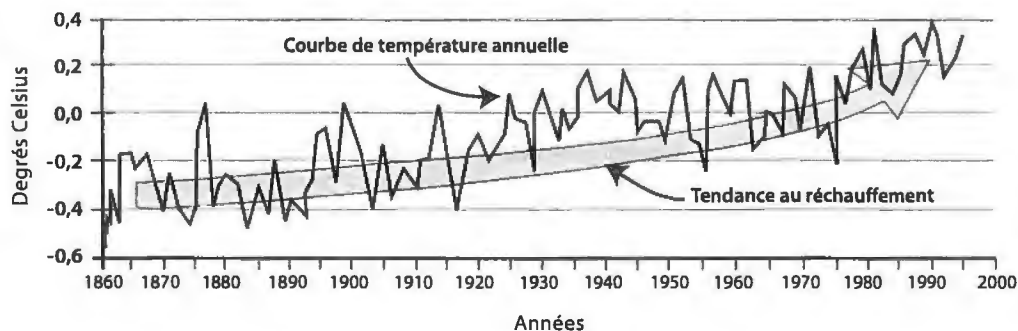
Depuis le début de l'industrialisation, les activités humaines, notamment l'utilisation de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) à des fins de production d'énergie ont causé une augmentation rapide des gaz à effet de serre.

L'Amérique du Nord se trouve au premier rang mondial pour ce qui est des émissions de gaz à effet de serre, soit le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O).

Les émissions par habitant au Canada viennent au deuxième rang mondial, derrière les États-Unis.

L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre a accru l'effet de serre et a provoqué un **réchauffement rapide de la planète**. En Amérique du Nord, les données historiques montrent une augmentation des températures de l'ordre de 1°C à 2°C par 100 ans (NOAA, 2000). La température moyenne à la surface de la Terre a augmenté d'environ $0,5^\circ\text{C}$ au cours des 100 dernières années (figure 1).

Figure 1 -
Évolution de
la température
au cours des
deux derniers
siècles



Source : Environnement Canada, site Internet : <http://www.ec.gc.ca/climate/primer>

Des scénarios pour prévoir les effets

Le scénario de référence ($2 \times \text{CO}_2$) prévoit, d'ici 2050, une concentration de dioxyde de carbone de 550 ppmv, soit environ deux fois plus élevée que le niveau préindustriel (280 ppmv).

Selon ce scénario, les températures moyennes annuelles pourraient augmenter de 2°C à 5°C

aux États-Unis (excluant l'Alaska) et de 4°C à 8°C au Canada. Les précipitations seraient plus abondantes et plus variables ; elles tomberaient davantage sous forme de pluie. Les **événements météorologiques extrêmes** (tempêtes, sécheresses, inondations) seront plus intenses et se produiraient plus fréquemment (tableau 1).

**Tableau 1 -
Tendances prévues
pour les événements
climatiques extrêmes
si le réchauffement
de la planète
se poursuit**

Événements	Tendance prévue
Orages convectifs	Plus fréquents et plus violents
Tornades	Plus fréquentes et plus violentes
Vagues de chaleur	Plus fréquentes et plus violentes
Vagues de froid	Moins fréquentes
Sécheresses	Plus fréquentes
Inondations	Plus fréquentes

Adapté de : Environnement Canada, 1997.

Il semble cependant de moins en moins probable que les ententes actuelles sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre soient suffisantes pour prévenir le doublement des concentrations de CO₂. Ainsi, un scénario plus pessimiste (3 X CO₂) pourrait alors s'avérer davantage réaliste, avec des effets plus grands.

Répercussions attendues

La ressource « eau » : moins abondante et de moins bonne qualité

Une diminution du volume d'eau et une modification de sa répartition nuirait à l'approvisionnement en eau souterraine et de surface. Dans de nombreuses régions, en particulier à l'intérieur du continent, les réserves en eau pourraient être restreintes. La réduction des glaciers et de la couverture de neige toucherait les cours d'eau alimentés en montagne. En d'autres endroits, comme au nord du Québec, les modèles prévoient davantage de précipitations.

D'ici 15 ans, le tiers de la population mondiale risque de manquer d'eau. En Amérique du Nord, le niveau d'eau des Grands Lacs pourrait baisser en moyenne de 0,5 m à 1,0 m ou plus (Hengeveld, 1995). Quatre années sur cinq, le niveau des lacs pourrait être très bas, tel qu'observé en 1963-1965 (tableau 2).

**Tableau 2 -
Fréquence des basses
eaux dans les Grands Lacs
exprimée en pourcentage
d'années où le niveau
de l'eau était égal
ou inférieur à celui
extrêmement bas de
1963-1965**

Lac	Historique (1900-1979)	Climat à double teneur en CO ₂ (2 X CO ₂)	Doublement du CO ₂ + utilisation accrue de l'eau
Supérieur	10 %	61 %	79 %
Michigan	8 %	57 %	77 %
Érié	5 %	38 %	77 %

Source : Hengeveld, 1995.

En mars 2000, les niveaux d'eau dans les Grands Lacs étaient jusqu'à 46 cm en dessous des moyennes annuelles pour le mois de mars et se trouvaient jusqu'à 30 cm en deçà des niveaux extrêmes de 1963-1965. Le niveau des lacs Huron et Michigan était de 33 cm plus bas que celui de mars 1999, tandis que celui du lac Érié est descendu de 28 cm depuis l'an dernier (CMI, 2000).

Des pertes importantes d'habitats fauniques

La modification du niveau des eaux, du couvert forestier, du couvert nival et des températures de l'eau dans les lacs et les cours d'eau causerait des pertes d'habitats, ce qui engendrerait une augmentation du risque de déplacement ou d'extinction des populations.

On estime que pour chaque hausse de 1 °C de la température moyenne, les zones thermiques du Canada se déplaceraient d'environ 100 km vers le nord. La superficie de la forêt boréale serait réduite puisque, à sa limite nord, sa progression vers le cercle polaire serait moins rapide que la vitesse de déplacement des zones thermiques (Strzepek et Smith, 1995). La forêt boréale se trouverait à remplacer la toundra (MRN, 2000). Plus au sud, cependant, le recul de la forêt boréale se ferait au même rythme que le réchauffement anticipé (Strzepek et Smith, 1995). La limite sud de la forêt boréale pourrait ainsi se trouver de 250 km à 900 km plus au nord (MRN, 2000).

Pour les îlots d'habitats naturels des zones alpines, une hausse de 3 °C engendrerait une perte d'espèces variant

de 9 % à 62 % sur chaque sommet de montagne (Environnement Canada, 1997).

Les écosystèmes subarctiques constitués de la toundra et de la taïga, qui couvrent près de cinq millions de km² au Canada, seraient réduits de près des deux tiers de leur superficie actuelle et pourraient se trouver confinés aux îles de l'Arctique situées au nord du continent (Environnement Canada, 1997).

La toundra devrait virtuellement disparaître de tout le continent nord-américain. Cette écozone englobe aujourd'hui les aires d'estivage et de mise bas des plus grands troupeaux de caribous du Canada, et constitue un habitat de l'ours, du loup, de l'orignal, du spermophile arctique et du lemming.

Les modèles prévoient que l'augmentation du niveau de la mer de 50 cm, qui se produirait au siècle prochain, inonderait 50 % des marais côtiers de l'Amérique du Nord. De nouveaux marais seraient créés, mais pas suffisamment pour compenser tous ceux qui disparaîtraient. La perte nette prévue se situe entre 17 % et 43 % (IPCC, 1998).

Une menace pour la biodiversité

Le réchauffement des températures entraînerait un déplacement des aires de distribution des espèces vers le nord (figure 2). Des extinctions massives seraient observées au sud pendant que, plus au nord, d'autres espèces verraient leur aire de distribution s'étendre.

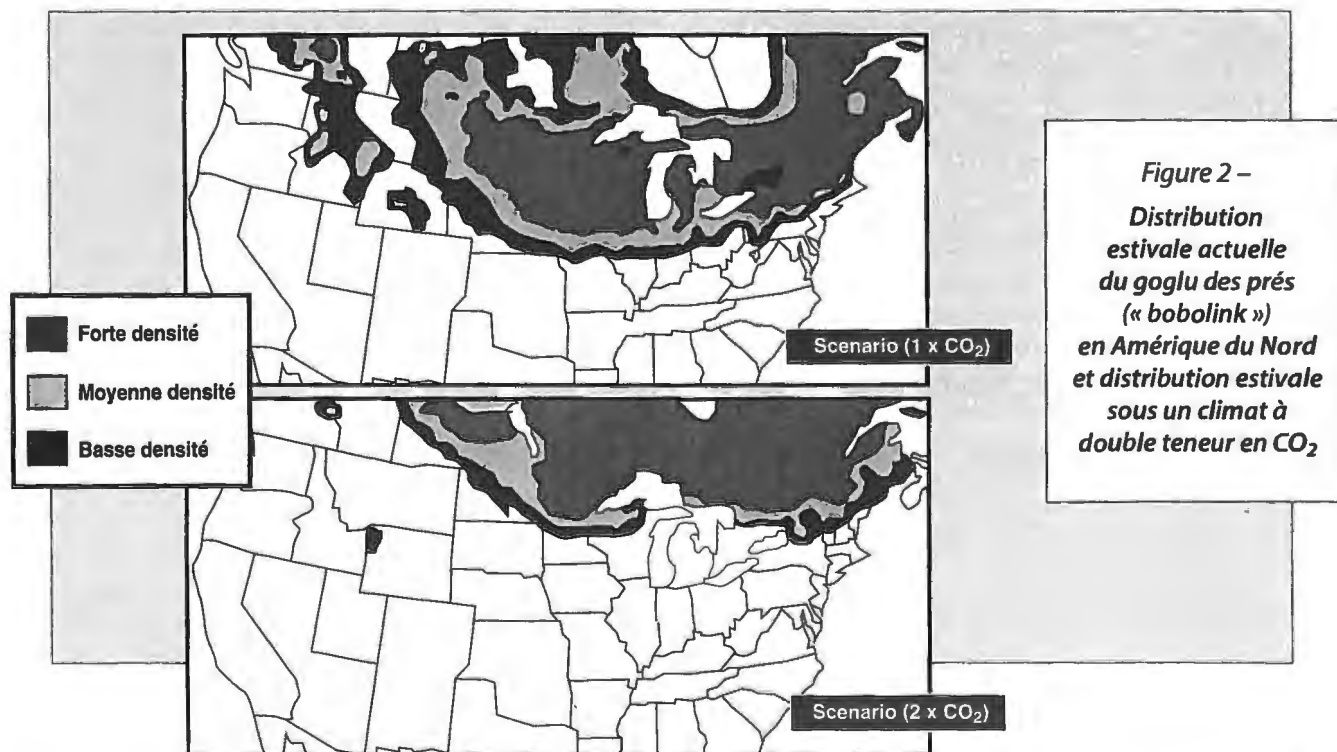


Figure 2 –
Distribution
estivale actuelle
du goglu des prés
(« bobolink »)
en Amérique du Nord
et distribution estivale
sous un climat à
double teneur en CO₂

Avec des hausses de la température estivale de 2°C à 6°C, on envisage une réduction de l'ordre de 50 % des habitats aquatiques pour les espèces d'eau froide, d'eau tempérée et même d'eau chaude dans les cours d'eau des 48 États les plus au sud des États-Unis. L'élimination complète des habitats pour les espèces d'eau froide est à prévoir dans 5 à 10 États tandis qu'entre 11 et 15 autres États verraient de sévères réductions de ces habitats (IPCC, 1998).

Une augmentation de la température de l'air de l'ordre de 3,8°C engendrerait la disparition de plus de 50 % des habitats pour l'omble de fontaine et causera une fragmentation de sa distribution dans le sud des Appalaches et dans le sud-est des États-Unis. Dans tout le sud-est des États-Unis, la hausse de la température de l'eau pourrait réduire les taux d'oxygène dissous en dessous des niveaux requis pour la survie des poissons dans la plupart des rivières.

Le changement climatique résultant d'un doublement des concentrations atmosphériques de CO₂ pourrait presque éliminer l'habitat du saumon dans l'océan Pacifique (Ressources Naturelles Canada, 2000).

Selon un rapport préparé par la World Wildlife Fund :
« Le réchauffement climatique que provoqueraient des émissions de CO₂ deux fois supérieures au niveau actuel, pourrait entraîner la destruction de 35 % des habitats terrestres existants ».

Enfin, la survie de nombreuses espèces rares, menacées ou en danger de disparition serait compromise par la réduction des milieux humides. Des chercheurs de l'Université du Michigan et de Canards Illimités ont estimé qu'une augmentation de température de 1°C pourrait diminuer de 25 % la population de sauvagine des Prairies si aucune augmentation des précipitations ne se produisait (U.S. EPA, 2000).

Pour en savoir plus

Commission Mixte Internationale (CMI). 2000. Sites Internet : <http://www.islrbc.org> et <http://www.ijc.org/ijcweb-f.html>

Conseil du programme climatologique canadien. 1998. *Comprendre les changements climatiques et s'y adapter – Une perspective canadienne*. Science du climat, impacts et adaptation. Novembre 1998, 36 pages.

Environnement Canada. 1997. L'étude pan-canadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique. Site Internet : <http://www.ec.gc.ca/climate/css>

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC). 1995. *Seconde évaluation du GIEC : Changement de climat*.

Hengeveld. 1995. *Comprendre l'atmosphère en évolution : Revue de la science de base et des implications d'un changement du climat et d'un appauvrissement de la couche d'ozone*. Rapport sur l'état de l'environnement no. 95-2, Environnement Canada, Ottawa, 71 pages.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1998. *The Regional Impacts of Climate Change : An Assessment of Vulnerability*.

Ministère des ressources naturelles du Québec (MRN). 2000. Site Internet : <http://www.mrn.gouv.qc.ca>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2000. Site Internet : <http://www.noaa.gov>

Ressources Naturelles Canada (RNC). 2000. Site Internet : <http://www.nrcan.gc.ca>

Strzepek, K.M., et J.B. Smith. 1995. *As Climate Changes : International Impacts and Implications*. Cambridge University Press. UK.

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2000. Site Internet : <http://www.epa.gov/globalwarming>

WWF. 2000. *Global Warming and Terrestrial Biodiversity Decline*. 34 pages.

Auteurs : Luc Gagnon, gagnon.luc@hydro.qc.ca
Martin Pérusse, perusse.martin@hydro.qc.ca

En collaboration avec GDG conseil inc.

© Hydro-Québec, direction – Environnement

Juillet 2000
2000G061-9

www.hydroquebec.com/environnement
La reproduction de cette fiche est autorisée.
This publication is also available in english.