

VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement

Volume 2 Numéro 1 (avril 2001)
Les Organismes Génétiquement Modifiés

Eric Duchemin

Hydroélectricité et gaz à effet de serre

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Eric Duchemin, « Hydroélectricité et gaz à effet de serre », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 2 Numéro 1 | avril 2001, mis en ligne le 01 septembre 2001, consulté le 13 juin 2014. URL : <http://vertigo.revues.org/4068> ; DOI : 10.4000/vertigo.4068

Éditeur : Les éditions en environnements VertigO

<http://vertigo.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur :

<http://vertigo.revues.org/4068>

Document généré automatiquement le 13 juin 2014. La pagination ne correspond pas à la pagination de l'édition papier.

© Tous droits réservés

Eric Duchemin

Hydroélectricité et gaz à effet de serre

- 1 Les systèmes de production énergétique sont au cœur de la problématique des changements climatiques. La production d'énergie électrique et l'utilisation de combustibles fossiles (principalement charbon et gaz naturel) représentent 57% de l'augmentation cumulée des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère depuis une centaine d'année (Goldemberg, 1990; IPCC, 1996a). Avec une croissance mondiale annuelle de la demande en énergie électrique de 2 à 3 % (IPCC, 1996a) on doit s'attendre à voir augmenter fortement le poids du secteur énergétique dans le bilan des émissions atmosphériques de GES. Toutefois, l'importance des systèmes énergétiques dans l'augmentation des GES dans l'atmosphère varie d'un continent à l'autre. En Amérique du Nord (sans le Mexique) et dans les autres pays industrialisés, ils représentent près de 90% de l'augmentation (IPCC, 1996a; Neitzert et Boileau, 1997). En ce qui concerne la production d'énergie électrique, excluant l'hydroélectricité, nous estimons à ce jour qu'elle représente 26% des émissions totales de GES au Canada (Neitzert et Boileau, 1997).
- 2 En Amérique du Sud, en Asie et en Afrique les systèmes énergétiques représentent un moindre pourcentage des émissions nationales des GES. Dans ces pays, le déboisement compte pour une large part dans le bilan des émissions de GES (IPCC, 1996a; Houghton, 1991; Crutzen et Andrea, 1990; Mellilo et al., 1996). Cependant, ces pays, en majorité en développement auront un besoin croissant en énergie électrique. La croissance de la production électrique de ces pays est estimée de 6 à 12% par année, tandis qu'elle est de l'ordre de 1% à 2% dans les pays industrialisés (Munasinghe, 1991; Meyers et al., 1990; Baldwin et al., 1992). De ce fait, leurs systèmes énergétiques représenteront un pourcentage croissant dans les bilans nationaux des émissions de GES.

| | | Production énergétique* (TWh) | Superficie inondée (Km ²) | Émissions (MtCO ₂ équ. an ⁻¹ /TWh an ⁻¹) |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------------------|--|--|
| Réservoirs | | | | |
| Boréale | Complexe La Grande | 82 | 13000 | 0.05 (±0.02) |
| | Churchill/Nelson | 14 | 1400 | 0.02 (±0.01) |
| | Complexe Manic | 20 | 2645 | 0.04 (±0.02) |
| | Sainte-Marguerite** | 2.77 | 253 | 0.02 (±0.01) |
| | Churchills falls | 10 | 6705 | 0.2 (±0.1) |
| Centrales thermique au charbon | | | | 0.9 – 1.3 |
| Centrale au gaz | | | | 0.45- 1.2 |

Tableau 1. Émission de GES par unité d'énergie depuis certains réservoirs types. * La production électrique a été estimée: (puissance installée) X 365 jours X 24 heures X (facteur d'utilisation), ** valeur de production énergétique non estimée.

- 3 Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que l'hydroélectricité permettrait de répondre à la demande croissante en énergie électrique tout en résolvant, en partie au moins, les problématiques environnementales telles que les changements climatiques (Hoffer et al, 1998; Victor, 1998). Le potentiel hydroélectrique mondial développé est d'environ 20% (IPCC, 1996b), laissant un grand potentiel de développement pour la totalité des continents, entre autre en Asie, en Amérique du Sud et en Afrique où l'exploitation de ces ressources est inférieure à 10%. En revanche, ces auteurs estiment la filière de production hydroélectrique comme une ressource énergétique nullement impliquée dans le bilan mondial des émissions de GES. Ce qui est de plus en plus remis en cause par différentes recherches.

- 4 Les flux d'émission atmosphériques de GES attribuables aux aménagements hydrauliques établis sur les cours d'eau furent, durant le début des années 1990, au cœur d'un débat sur l'utilisation des rivières pour la production d'énergie (Rudd et al., 1993; Svensson et Ericson, 1993; Rosa et Schaeffer, 1994; Fearnside, 1995). Ce débat s'estompe avec une reconnaissance, par la communauté internationale, des réservoirs hydroélectriques comme une source non-négligeable de GES (WCD, 2000). Cette reconnaissance d'une nouvelle source s'effectue dans le prolongement de nombreuses études démontrant l'importance des émissions de GES à partir de trois autres écosystèmes terrestres inondés (plaines inondables, rizières et barrages de castor).
- 5 Depuis le début des recherches sur cette problématique, en 1993, plusieurs chercheurs ont mesuré les émissions de GES depuis les réservoirs hydroélectriques (Kelly et al., 1994; Duchemin et al., 1995; Hellsten et al., 1996; Duchemin, 2000; Galy-Lacaux, 1996; Tavares de Lima et al., 2001; Matvienko et al., 2001; Keller et Stallard, 1994). Les résultats de ces études vont être utilisés afin d'estimer les émissions de GES depuis la filière hydroélectrique. En outre, les incertitudes rattachées à cette estimation vont être soulevées à la fin du texte.

Les émissions de GES depuis la filière hydroélectrique

- 6 Les émissions de gaz à effet de serre s'observent lors des phases de construction et d'exploitation des aménagements hydroélectriques. Cependant, des chercheurs ont mis en évidence que les émissions rejetées dans l'atmosphère lors de la phase de construction étaient non significatives sur un cycle de vie complet des réservoirs hydroélectriques (Peisajovitch et al., 1996; Gagnon et van de Vate, 1997). Ainsi dans le cadre de ce texte, l'analyse se concentrera sur les émissions résultant de l'inondation d'écosystèmes continentaux.

Réservoirs en régions boréale et tempérée

- 7 Deux études ont estimé les émissions de GES depuis les réservoirs boréaux et tempérés. Dans la première publication, St-Louis et al. (2000) estiment que les réservoirs boréaux et tempérés émettraient environ 364 gCO₂équ. m⁻² an⁻¹. Dans la seconde publication, Duchemin (2000) estime que le flux d'émission moyen depuis les réservoirs boréaux serait de 265 gCO₂équ. m⁻² an⁻¹ (±150). Cette dernière estimation, conservée pour le reste de l'évaluation, inclut dans ses calculs l'ensemble des connaissances actuelles sur les flux d'émission de GES depuis les réservoirs.

| Région | Réservoirs | Production énergétique* (TWh) | Superficie inondée (Km ²) | Émissions (MtCO ₂ équ. an ⁻¹ /TWh an ⁻¹) |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| Tropicale | Tucuruí | 18 | 2450 | 0.2 (±0.05) |
| | Sera de Mesa | 10 | 1100 | 0.2 (±0.05) |
| | Petit-Saut | 0.56 | 310 | 2 (±1.25) |
| | Curuá-Una | 0.1 | 72 | 3 (±1.6) |
| | Balbina | 0.97 | 3147 | 14 (±7) |
| Centrales thermique au charbon | | | | 0.9 – 1.3 |
| Centrale au gaz | | | | 0.45- 1.2 |

Tableau 2. Émission de GES par unité d'énergie depuis certains réservoirs types. * La production électrique a été estimée: (puissance installée) X 365 jours X 24 heures X (facteur d'utilisation), ** valeur de production énergétique non estimée. Pour les réservoirs en région tropicale: Tucuruí et Sera de Mesa sont des réservoirs profonds, Petit-Saut; est un réservoir moyennement profond, Curuá-Una et Balbina sont des réservoirs peu profonds.

- 8 Dans le tableau 1 des bilans d'émission de GES pour certains aménagements hydroélectriques boréaux et tempérés types ont été dressés. Les données d'émission totale de GES ont été transformées en fonction de l'électricité produite par chacun des aménagements hydroélectriques. La production électrique des aménagements a été calculée à partir de la puissance installée à chacun des aménagements et en considérant un facteur d'utilisation de 0.6. Pour la majorité des aménagements la production d'énergie électrique est tirée de Gagnon

et Van de Vate (1997). Dans ce tableau, on observe que les aménagements hydroélectriques en régions boréale et tempérée présenteraient des émissions par unité d'énergie se situant entre 0.02 et 0.2 MtCO₂équ. TWh-1 an-1. Ces émissions, par unité de production énergétique, sont nettement inférieures aux émissions de GES relâchées par les centrales thermique au charbon et au gaz (tableau 1).

Implication dans les bilans nationaux des émissions de GES

- 9 **Le cas du Canada** À partir de ces estimations, il est possible de suggérer des émissions nationales depuis la production canadienne d'énergie hydroélectrique. Au niveau Canadien, avec une superficie de 70 000 km² attribuée aux aménagements hydroélectriques canadiens (St-Louis et al., 2000), la filière de production hydroélectrique représenterait des émissions de 18 MtCO₂équ. an-1. Avec des émissions nationales de 600 MtCO₂équ. an-1 et de 105 MtCO₂équ. an-1 depuis la production d'énergie canadienne (Neizert et Boileau, 1997), les aménagements hydroélectriques canadiens représentent respectivement 3% et 17% des ces émissions de GES. Ce pourcentage représente environ la moitié du pourcentage de réduction que le Canada doit réaliser d'ici 2010 dans le cadre de l'entente du protocole de Kyoto sur les réductions de GES. Puisque les émissions de GES depuis les réservoirs hydroélectriques ne sont pas comptabilisées dans l'élaboration du bilan national, la prise en compte de ces émissions accroîtra la difficulté d'atteindre les objectifs de ce protocole international.
- 10 En outre, d'ici l'an 2020, le Canada devra satisfaire une augmentation annuelle de la demande intérieure d'électricité estimée à 150 TWh, soit une augmentation approximative de 1% par année (Gouvernement Canadien, 1997). En satisfaisant la totalité de cette augmentation par des développements hydroélectriques, les émissions depuis les aménagements hydroélectriques augmenteront d'un autre 10 MtCO₂équ. Cette estimation considère que les aménagements hydroélectriques futurs auront des caractéristiques moyennes des réservoirs utilisées au tableau 1.
- 11 En comparaison, si les instances canadiennes privilégient le développement de production d'énergie électrique à partir de combustibles fossiles l'augmentation des émissions depuis le secteur de production d'énergie se situerait entre 70 et 185 MtCO₂équ. Cette augmentation représente près d'un doublement des émissions depuis le secteur énergétique. Un avantage favorisant le développement hydroélectrique apparaît clairement. Par contre, les aménagements hydroélectriques boréaux émettent des GES et ne peuvent être comparés avec les méthodes d'efficacité énergétique dans le cadre de la problématique des gaz à effet de serre.

Réservoirs en région tropicale

- 12 À l'inverse des études effectuées sur les réservoirs boréaux et tempérés, les études sur des réservoirs tropicaux colligent un faible nombre de mesures. De ce fait, les estimations sont sujettes à une incertitude plus grande. Quoiqu'il en soit, trois études ont tenté d'estimer les émissions depuis les réservoirs situés en région tropicale (St-Louis et al., 2000, Duchemin, 2000, Fearnside, 2001). St-Louis et al. (2000) ont estimé une émission moyenne de GES pour l'ensemble des réservoirs tropicaux tandis que Duchemin (2000) a estimé des émissions pour trois groupes de réservoirs distincts (profonds, moyennement profonds et peu profonds). Par ailleurs, Fearnside (2001) a estimé une émission pour un réservoir tropical type, soit le réservoir Tucuruí (Brésil).
- 13 Dans la première publication, St-Louis et al. (2000) estiment que les réservoirs tropicaux émettraient environ 3 350 gCO₂équ. m⁻² an-1. Dans la seconde publication, Duchemin (2000) estime que les émissions annuelles moyennes depuis les réservoirs tropicaux seraient, selon les trois groupes définis précédemment, de 4300 gCO₂équ m⁻² an-1 (±2300) pour les réservoirs peu profonds (<6m.), de 3820 gCO₂équ m⁻² an-1 (±2450) pour les réservoirs moyennement profonds (entre 6 et 25 m) et de 1700 gCO₂équ m⁻² an-1 (±400) pour les réservoirs profonds (>25 m). Finalement, Fearnside (2001) estime que l'émission moyenne depuis le réservoir Tucuruí (un réservoir profond) serait de 3 114 gCO₂ équ. m⁻² an-1. Cette dernière estimation, réalisée pour un réservoir tropical profond, correspond au double de

l'estimation effectuée par Duchemin (2000). L'écart entre les deux estimations provient de l'intégration de nouveaux facteurs dans le cadre de l'estimation de Fearnside. Pour ce travail, les estimations effectuées par Duchemin (2000) seront retenues. En effet cette estimation à l'avantage de séparer les différents types de réservoirs développés en région tropicale. En revanche, il apparaît à la lueur des travaux de Fearnside (2001) que cette estimation est une évaluation minimale des émissions de GES depuis les réservoirs tropicaux.

- 14 Dans le tableau 2, des bilans d'émission de GES pour des aménagements tropicaux types ont été dressés. Tel qu'effectué dans le tableau 1, les données d'émission totale de GES ont été transformées en fonction de l'électricité produite par chacun des aménagements hydroélectriques. La production électrique des aménagements a été calculée à partir de la puissance installée à chacun des aménagements et en considérant un facteur d'utilisation de 0.6. Dans ce tableau on observe que pour les aménagements hydroélectriques en région tropicale les émissions se situent entre 0.2 et 14 MtCO₂équ. TWh-1 an-1. Dans la majorité des cas, les émissions des aménagements tropicaux sont supérieures aux émissions atmosphériques depuis les aménagements boréaux. En revanche, en comparant les meilleurs aménagements tropicaux (production/superficie inondée élevée) à l'aménagement boréal le moins performant (Churchills Falls) on remarque qu'il n'existe plus d'écart entre les aménagements des deux régions. Ainsi pour le développement futur d'aménagements hydroélectriques, il est tout aussi important de considérer les caractéristiques de l'aménagement que la région de développement.
- 15 En comparaison aux centrales thermiques, on constate que les émissions relâchées, par unité de production énergétique, par les réservoirs hydroélectriques tropicaux sont légèrement inférieures ou supérieures aux émissions de GES relâchées par les centrales thermique au charbon et au gaz naturel. Selon l'estimation les réservoirs peu profonds émettraient de 2 à 10 fois les émissions de GES depuis les centrales thermiques. En utilisant l'estimation de Fearnside (2001) les réservoirs tropicaux profonds émettraient la même quantité de GES que les centrales thermiques les plus performantes.

Implication dans les bilans nationaux des émissions de GES

Le cas du Brésil

- 16 Selon les estimations effectuées ci-dessus il apparaît, qu'en région tropicale, le choix du développement hydroélectrique a un impact direct sur le bilan des émissions de GES nationaux. Au Brésil, la demande en énergie devrait passer de 219 TWh à 826 TWh entre 1992 et 2015, soit une augmentation d'environ 5% par année (Ventura Filho et al., 1995). Pour satisfaire cette augmentation, le gouvernement brésilien prévoit utiliser les ressources hydroélectriques se trouvant en Amazonie (Di Lascio et Di Lascio, 1995). Cette région regroupe environ 42% des ressources hydroélectriques du pays. Un tel développement aura un impact significatif sur le bilan national des émissions de GES. Le plan de développement hydroélectrique de l'Amazonie prévoit une inondation de 100 000 Km² pour une puissance installée de 86 GW, soit environ une production installée de 450 TWh (Fearnside, 1995). Cette puissance installée représente 65% du potentiel hydroélectrique total de la région (Cadman, 1995). Cette inondation aura des impacts très différents selon le type d'aménagements qui sera construit. Comme nous l'avons vu au tableau 2, les émissions de GES depuis les aménagements hydroélectriques en région tropicale sont très variables.
- 17 Pour évaluer l'impact de l'inondation sur les émission de GES, les valeurs moyennes établies pour les réservoirs profonds et peu profonds seront utilisées. Les résultats du réservoir Balbina sont écartés car ce réservoir représente un extrême ayant peu de chance de se reproduire (impacts environnementaux importants pour une production énergétique infime). Par ailleurs, l'évaluation se basera sur les données du plan de développement hydroélectrique de l'Amazonie. Cette méthode permet d'obtenir des estimations minimale et maximale de 90 MtCO₂équ. an-1 et de 1350 MtCO₂équ. m-2 an-1. Si l'on se base sur les émissions nationales brésiliennes de GES évaluées entre 550-800 MtCO₂équ. an-1 pour 1990 (La Rovere et al., 1996), les émissions consécutives au développement représenteraient entre 25% et 200% des

émissions nationales brésiliennes. En utilisant la production d'énergie électrique à partir de combustibles fossiles pour combler les besoins énergétiques, les émissions se situeraient entre 200 MtCO₂équ. et 550 MtCO₂équ. De ces faits, le développement de grands réservoirs en région tropicale, soit des réservoirs avec une production énergétique élevée et une profondeur moyenne supérieure à 25 mètres, pourrait être avantageux au niveau des émissions de GES. Si nous ne considérons pas les émissions indirectes reliées au déboisement le long des voies d'accès créées lors de la phase de construction. En revanche, un développement favorisant les petits réservoirs serait aussi ou plus néfaste que l'utilisation de centrales thermiques conventionnelles. Enfin, les émissions estimées dans cette étude pour les aménagements situés en Amazonie à partir du projet de développement hydroélectrique représentent jusqu'à 30% des 1000 MtCO₂équ. an-1 émis par le déboisement de cette région (Fearnside, 1995). De ce fait, la construction d'aménagements hydroélectriques représenteront un changement d'utilisation des sols ("land-use change") ayant des implications non-négligeables dont nous devons tenir compte au niveau des analyses régionales des émissions de GES en milieu tropical.

Poursuite des recherches

- 18 Bien qu'il faut reconnaître que de nombreuses incertitudes sont encore rattachées aux émissions moyennes de GES depuis les réservoirs hydroélectriques, les résultats présentés ici démontre le caractère primordial des premières estimations comparatives des émissions de GES depuis l'hydroélectricité. Ces évaluations permettront de fixer une base de discussion pour l'inclusion de cette nouvelle source de GES dans les politiques gouvernementales au niveau national et international. Elles permettront aussi d'alimenter les discussions, telles celles touchant les mécanismes de développement propre, dans les négociations de la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatique.
- 19 En revanche, de nombreuses études restent à être réalisées afin d'obtenir une estimation plus juste. Ces études devront considérer la distribution spatiale (latitudinale et longitudinale) des réservoirs. Pour l'instant, en ce qui concerne la région boréale, les émissions mesurées reflètent un nombre restreint de réservoirs, localisés principalement dans le moyen-nord québécois (Canada) et en Finlande. Pour les émissions depuis les réservoirs tropicaux, elles illustrent la réalité du bassin amazonien. Les nouvelles études devront aussi considérer que l'analyse des émissions de GES depuis les aménagements hydroélectriques de toutes les régions géographiques s'inscrit dans la problématique complexe du cycle du carbone continental. Dans le cadre des estimations nationales des GES, les émissions de GES pré-inondation de la superficie inondée devront aussi être considérées dans un avenir rapproché. Avec cette vision plus globale de la problématique, il ne s'agira pas uniquement de mesurer et d'additionner une certaine quantité de flux d'émission mesurés à l'interface eau-air. Nous devons intégrer à l'analyse des émissions mesurées les connaissances sur le cycle du carbone dans les réservoirs, l'évaluation des émissions avant inondation et la rétention du carbone par les aménagements hydroélectriques.

Bibliographie

- Baldwin, S.F., S. Burke, J. Dunkerley et P. Komor. 1992. Energy technologies for developing countries: US policies and program for trade and Investment, *Annu. Rev. Energy Environ.*, 17, 326-358.
- Ball, B.C., G.W. Horgan, H. Clayton et J. P. Parker. 1997. Spatial variability of nitrous oxide fluxes and controlling soil and topographic properties, *J. Env. Qual.*, 26, 1399-1409.
- Bogner, J.E., K.A. Spokas et E.A. Burton. 1999. Temporal variations in greenhouse gas emissions at a midlatitude landfill, *J. Environ Qual.*, 28: 278-288.
- Cadman, J.D. 1995. Energy and Environment in the Brazilian Amazon region, In *Energy policy for the sustainable development of the Amazon region*, Eds. Di Lascio et al., Editée par Energy Planning Group/ Brasilia University, Brasilia, 177-180.
- Crutzen, P.J. et M.O. Andrea. 1990. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles, *Science*, 250, 1669-1678.

- Czepiel, P.M., B. Mosher, R.C. Harris, J.H. Shorter, J.B. McManus, C.E. Kolb, E. Allwine et B.K. Lamb. 1996. Landfill methane emissions measured by enclosure and atmospheric tracer methods, *J. Geophys. Res.*, 101, 16 711-16 719.
- Dean, W.E. et E. Gorham. 1998. Magnitude and significance of carbon burial in lakes, reservoirs, and peatlands, *Geology*, 26,6, 535-538.
- Di Lascio, M.A. et V.L. Di Lascio. 1995. Energy Planning for sustainable development of the Amazon, In *Energy policy for the sustainable development of the amazon region*, Eds. Di lascio et al., Editée par Energy Plannin Grou/Brasilia University, Brasilia, 123-141.
- Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler et J. Wisniewski. 1994. Carbon Pools and flux of global forest ecosystems, *Science*, 263,185-190.
- Downing, J.P., M. Meybeck, J.C. Orr, R.R. Twilley et H.-W. Scharpenseel. 1993. Land and water interface zones, *Water Air Soil Pollut.*, 70, 123-137.
- Duchemin, É., M. Lucotte, R. Canuel et A. Chamberland. 1995. Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of the boreal region, *Global Biogeochem. Cycles*, 9 (4), 529-540.
- Duchemin, É. 1999. Emissões de dióxido de carbono e de metano de um velho reservatório tropical na amazonia: reservatório de Curuá-Una, *Rapport Environnemental pour la Compania de Eletricidade do Pará (CELPA)*, 17 p.
- Duchemin, 2000, *Hydroélectricité et gaz à effet de serre:évaluation des émissions des différents gaz et identification de processus biogéochimiques de leur production*, Université du Québec à Montréal, Thèse, 308 p.
- Fearnside, P.M.. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of Greenhouse gases. *Env. Conserv.*: (22) 7-19.
- Fearnside, P.M., 2001, Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications, *Water, Air, and Soil Pollution*, 00, 1-27.
- Gagnon, L. et J.F. van de Vate. 1997. Greenhouse gas emissions from hydropower, the state of research in 1996, *Energy Policy*, 25, 1, 7-13.
- Goldemberg, J. 1990. Policy response to global warming, Dans *Global Warming; the Greenpeace report*, Ed. J. Legget, Oxford University Press, Oxford, 166-184.
- Gouvernement Canadien, (Ressources naturelles). 1997. *Perspectives énergétiques du Canada 1996-2020*, 85 p.
- Hoffer, M.I. 1998. Energy implications of future stabilization of atmospheric CO₂ content, *Nature*, 395: 881-884.
- Houghton, R. A. 1991. Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide, *Climatic Change*, 19, 99-118.
- IPCC. 1996a. The science of climate change; contribution of working group I, Editeurs J.J. Houghton, L.G. Meiro Filho, B.A. Callender, N. Harris, A. Kattenberg et K. Maskell, Press Syndicate of the University of Cambridge, New York, 572 p.
- IPCC. 1996b. Impacts adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, Eds R.T Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss, et D.J. Dokken, Cambridge university press, 877 pp.
- Keller, M. et R.F. Stallard. 1994. Methane emission by bubbling from Gatun lake, Panama, *J. Geophys. Res.*, 99, D4, 8307-8319.
- Kelly, C.A., J.W.M. Rudd, V. L. St-Louis et T. Moore. 1994. Turning attention to reservoir surfaces, a neglected area in greenhouse studies, *EOS*, 75, 331-335.
- La Rovere, E.L., L.F.L. Legey et J.D.G. Miguez. 1996. Alternative energy strategies for abatement of carbon emission in Brazil: A cost-benefit analysis, In *Carbon dioxide and Methane emissions: a developing country perspective*, eds Pinguelli Rosa et al., Rio de Janeiro, COPPE/UFJR, 45-67.
- Matvienko, B., E. Sikar, L. Pinguelli Rosa, M.A. dos Santos, R. De Filippo et A.C.P. Cimbliris. 2001. Gas release from a reservoir in the filling stage, *Verh. International Ver. Limnol.*, sous presse.
- Melillo, J.M., R.A. Houghton, D.W. Kicklighter et A.D. McGuire. 1996. Tropical deforestation and the global carbon budget, *Annu. Rev. Energy Environ.*, 21, 293-310.
- Meyers, S.; S. Tyler; H. Geller; J. Sathaye et L. Schipper. 1990. Energy efficiency and household electric appliances in developing and newly industrialized countries., LBL-29678. Lawrence Berkeley Lab. Draft.

Munasinghe, M. 1991. Electricity and the environment in developing countries with special reference to Asia, In *Energy and the environment in the 21st century*, Ed. Tester, Wood, Ferrari, MIT Press, London, 601-610.

Neitzert, J. et P. Boileau. 1997. Tendances des émissions de gaz à effet de serre au Canada (1990-1995), 82p.

Pour citer cet article

Référence électronique

Eric Duchemin, « Hydroélectricité et gaz à effet de serre », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 2 Numéro 1 | avril 2001, mis en ligne le 01 septembre 2001, consulté le 13 juin 2014. URL : <http://vertigo.revues.org/4068> ; DOI : 10.4000/vertigo.4068

À propos de l'auteur

Eric Duchemin

Ph. D, Consultant en sciences de l'environnement

Droits d'auteur

© Tous droits réservés
