

## Étude de l'évaporation nette du réservoir de l'Eastmain 1

*Une étude inédite de l'évaporation nette d'un aménagement hydroélectrique révèle que celui-ci influe très peu sur la perte d'eau par évaporation par rapport aux données relevées avant la mise en eau.*

**Auteurs :** Alain Tremblay,  
Simon Tardif,  
Ian B. Strachan  
et Christian Turpin

*Alain Tremblay, Ph. D., est conseiller en environnement à Hydro-Québec Production et chargé du programme de recherche sur les gaz à effet de serre de l'entreprise. Simon Tardif, Ph. D., est hydrométéorologue à Hydro-Québec Production. Ian Strachan, Ph. D., est professeur agrégé de micrométéorologie à l'Université McGill. Christian Turpin, M. Sc., est conseiller en environnement à Hydro-Québec.*

Les lacs, les rivières, les milieux humides et les forêts font partie du cycle hydrologique de la Terre. L'eau et l'énergie sont intimement liées et sont deux ressources essentielles de la civilisation moderne. L'accroissement des populations et de leurs besoins en eau et en énergie pose des défis considérables, en particulier dans les régions pauvres en ressources hydriques. Aux États-Unis, le secteur de l'énergie est le plus grand consommateur d'eau, à hauteur de quelque 50 % des prélèvements d'eau annuels[1].

Depuis une décennie, la notion d'empreinte écologique – et surtout d'empreinte hydrique – s'impose comme instrument de mesure de l'impact humain sur l'environnement[2]. Depuis peu, certains s'interrogent sur l'impact éventuel des pertes d'eau par évaporation liées aux aménagements hydroélectriques. L'évaporation et l'évapotranspiration (perte d'eau par l'évaporation de l'eau et par la transpiration des plantes) varient selon le lieu et dépendent de plusieurs paramètres, dont entre autres l'humidité relative de l'air, la température de l'air et de l'eau, l'ensoleillement, la superficie du plan d'eau, la vitesse du vent et le type de végétation.

Les données courantes sur l'empreinte hydrique des aménagements hydroélectriques se fondent, pour l'essentiel, sur l'évaporation brute évaluée selon des techniques traditionnelles[2, 3]. Dans de nombreux cas, on assimile l'évaporation brute d'un réservoir à une consommation d'eau qui, si elle venait à être taxée, augmenterait le coût de la production d'hydroélectricité. Il serait plus approprié de chiffrer plutôt l'évaporation nette, soit la différence entre la perte d'eau liée au réservoir et la perte par évaporation et évapotranspiration du milieu naturel avant la mise en eau. Pour les gouvernements et le secteur de l'énergie, l'évaluation de l'évaporation nette revêt une importance croissante dans le contexte d'une juste comparaison des empreintes hydriques des moyens de production.

Le présent article porte sur l'évaporation nette du réservoir de l'Eastmain 1 établie à partir de relevés

exhaustifs. Ce projet de recherche, qui constitue une première mondiale, révèle que l'évaporation nette du réservoir de l'Eastmain 1 est presque nulle.

### Description et méthode

Le réservoir de l'Eastmain 1 est situé dans la région écologique boréale du Québec, à environ 800 km au nord de Montréal, au Canada. Le bassin versant de la rivière Eastmain est dominé par des peuplements de conifères établis sur des podzols et des terres tourbeuses surmontant une assise de roche ignée et des dépôts du Quaternaire. Les systèmes aquatiques sont oligotrophiques (fortement oxygénés, pauvres en matières nutritives et caractérisés par des populations clairsemées d'algues et d'autres organismes) et produisent globalement peu d'algues et de poissons.

La centrale de l'Eastmain-1, d'une puissance de 460 MW, a été mise en service en 2006. Le réservoir de l'Eastmain 1 est formé par un barrage et 33 digues, et sa superficie est de 603 km<sup>2</sup>. La construction de la centrale de l'Eastmain-1-A a accru la capacité de production de 768 MW en 2012, portant l'énergie totale délivrée par le réservoir de l'Eastmain 1 à 6,3 TWh/an. Dans le cadre de l'aménagement de l'Eastmain-1-A et de la dérivation Rupert, une partie du débit de la rivière Rupert a été dérivée vers le réservoir de l'Eastmain 1.

Les caractéristiques hydrologiques du bassin versant du réservoir de l'Eastmain 1 (25 857 km<sup>2</sup>) reflètent le climat de la région. Le débit varie nettement selon la saison, culminant en mai et juin et chutant à la fin de l'hiver. Le réservoir est couvert de glace environ 180 jours par an. La décharge du réservoir de l'Eastmain 1 s'écoule dans le réservoir Opinaca, qui alimente la nouvelle centrale de la Sarcelle (138 MW), puis les centrales Robert-Bourassa (5 616 MW) et La Grande-1 (1 436 MW). Des mesures d'atténuation ont été prises pour réduire l'impact de cet aménagement sur les rivières Rupert et Lemare. Huit seuils

aménagés sur la rivière Rupert maintiennent un niveau d'eau approprié aux différentes utilisations du cours d'eau (navigation, frayères, etc.) ainsi qu'un débit réservé écologique adapté au cycle hydrologique naturel des deux rivières.

#### Détermination de l'évaporation

Dans le cadre d'une étude septennale des émissions de gaz à effet de serre (www.eastmain1.org) du réservoir de l'Eastmain 1[4,5], on a mesuré quantité de paramètres, notamment les flux énergétiques. L'évaporation du réservoir et l'évapotranspiration des forêts et des milieux humides ont été déterminées à l'aide de calculs de covariance des turbulences. Les mesures d'échange de vapeur traitent indifféremment l'évaporation et la transpiration[5]. Par souci de simplification on appelle « évapotranspiration » l'échange de vapeur mesuré sachant que, dans le cas d'un système purement aquatique, il s'agit d'évaporation. Pour les calculs de covariance[6], nous nous sommes fondés sur un ouvrage spécialisé[7] et avons utilisé les méthodes normalisées en étude des flux énergétiques.

L'écosystème aquatique naturel comprend trois catégories : les rivières, les lacs et les ruisseaux. Élément dominant de la zone d'étude, la rivière Eastmain occupe 82 km<sup>2</sup>, soit 55 % de la superficie aquatique totale. Le réservoir englobe jusqu'à 827 lacs d'une superficie comprise entre 100 m<sup>2</sup> et 10 km<sup>2</sup> qui totalisent 45 % de la superficie aquatique totale. Plus de 827 ruisseaux de longueur comprise entre 10 m et 5,5 km et d'une superficie totale de 1,3 km<sup>2</sup> représentent, pour leur part, moins de 1 % de l'écosystème aquatique[4].

L'écosystème terrestre se compose de milieux humides 111 km<sup>2</sup>[4], de forêts de conifères (167 km<sup>2</sup>) et de feuillus (16 km<sup>2</sup>), ainsi que de brûlis (114 km<sup>2</sup>) représentant respectivement 18 %, 49 %, 5 % et 33 % de la superficie totale.

L'évapotranspiration a été mesurée dans les milieux forestiers et les tourbières et sur le réservoir de l'Eastmain 1 à l'aide de trois tours de mesure de covariance des turbulences ainsi que de stations météorologiques. Dans le cas des milieux forestiers et du réservoir, on a effectué des relevés de juin 2006 à octobre 2012. Dans le cas de la tourbière, la tour de mesurage de covariance est restée en service de juin 2007 à octobre

**Tableau 1 : Réservoir de l'Eastmain 1 – Pertes mensuelles par évaporation et par évapotranspiration (mm d'eau)**

	2008			2009			2010		
	EM-1	Forêt	Tourbière	EM-1	Forêt	Tourbière	EM-1	Forêt	Tourbière
<b>Janvier</b>	6,2	13,6	0,3	1,9	0,9	-0,2	1,0	5,0	0,6
<b>Février</b>	2,5	19,3	1,2	0,8	6,7	0,5	2,4	11,3	2,2
<b>Mars</b>	4,7	18,3	4,9	5,0	15,2	4,2	5,3	9,3	5,9
<b>Avril</b>	11,7	17,4	23,9	8,4	29,7	10,8	15,8	16,2	42,3
<b>Mai</b>	19,5	40,3	52,0	18,0	40,3	30,6	35,7	49,9	76,3
<b>Juin</b>	38,7	82,8	93,9	32,1	54,3	77,1	77,4	53,4	78,0
<b>Juillet</b>	84,0	99,2	97,7	96,7	61,1	60,5	73,3	89,6	82,5
<b>Août</b>	123,4	109,1	83,1	102,0	79,1	54,2	48,9	76,3	70,1
<b>Septembre</b>	124,2	62,7	53,1	74,1	53,7	35,3	71,8	52,5	44,1
<b>Octobre</b>	93,9	35,3	22,6	98,9	25,4	13,3	62,7	36,3	23,3
<b>Novembre</b>	78,0	18,3	6,9	49,2	21,0	7,4	47,6	16,8	7,2
<b>Décembre</b>	12,7	12,1	1,1	22,6	9,9	1,0	11,4	9,6	1,9
<b>Total</b>	<b>599,5</b>	<b>528,5</b>	<b>440,7</b>	<b>509,7</b>	<b>397,3</b>	<b>294,8</b>	<b>453,3</b>	<b>426,1</b>	<b>434,2</b>

2012. Les données retenues aux fins de l'étude correspondent aux années de 2008 à 2012, soit l'intervalle de relevés continus le plus complet.

À certaines périodes (voir le tableau 1) pour lesquelles les données d'évaporation et d'évapotranspiration quotidiennes étaient manquantes, on a remplacé celles-ci par les moyennes des valeurs notées aux périodes correspondantes des autres années. Les installations de mesure ayant été démantelées en octobre 2012, on a remplacé les données d'octobre à décembre 2012 par les moyennes des valeurs recueillies aux périodes correspondantes de 2008 à 2011. Des calculs similaires ont été faits pour les données de janvier à mai et de décembre 2008 dans la tourbière (voir le tableau 1).

Le bilan régional annuel des pertes par évapotranspiration est la somme pondérée en fonction de la superficie des bilans des écosystèmes à l'étude. Pour les lacs et les rivières, nous avons utilisé l'évaporation mensuelle nette du réservoir. Nous ne disposons pas de données représentatives pour un bilan de longue durée dans le cas des brûlis. Les types de brûlis de la zone d'étude sont variables. Les brûlis des basses terres correspondent souvent à des forêts au sol tourbeux

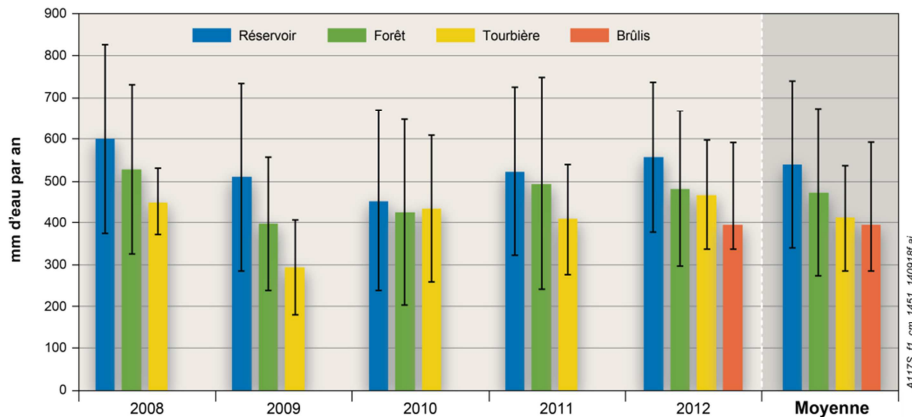
qui ressemblent aujourd'hui à des tourbières peuplées d'arbustes ou d'autres végétaux. En revanche, sur un sol minéral peu profond, le brûlis est souvent plus complet et l'évapotranspiration est moindre. Dans le bilan des pertes par évapotranspiration d'un brûlis, nous imputons à la moitié de la superficie une perte par évapotranspiration équivalant à celle d'une tourbière (voir le tableau 1). Pour l'autre moitié, nous supposons une végétation réduite et un sol plus sec qui correspondent à un taux d'évaporation de 395 mm d'eau par an (voir la figure 1)[8].

#### Résultats et observations

Nos résultats s'appuient sur plus de 25 000 relevés effectués sur une période de cinq ans. La perte annuelle par évapotranspiration est de 397 à 528 mm pour les forêts, de 295 à 468 mm pour les tourbières et de 453 à 599 mm pour le réservoir de l'Eastmain 1 (voir la figure 1). L'évapotranspiration est plus forte en période de croissance et à la saison chaude, soit de mai à septembre, et plus faible à la saison froide, soit d'octobre à avril.

On observe dans le centre du Canada des pertes par évapotranspiration similaires

**Figure 1 — Évaporation et évapotranspiration annuelles**



**Illustration des fluctuations de l'évaporation du réservoir de l'Eastmain 1 et de l'évapotranspiration des forêts et des tourbières de l'écosystème naturel entre 2008 et 2012 (synthèse de 25 000 mesures)**

en milieu forestier[9], soit de 1,5 à 2,0 mm d'eau par jour en période de croissance, et de 399 mm pour les mois de mai à octobre dans les forêts de conifères[10]. Les pertes estivales dans les tourbières sont, elles aussi, similaires[11]. Les pertes par évaporation du réservoir de l'Eastmain 1 s'approchent des données recueillies dans le sud de la Suède (500-650 mm/an)[12] et en Finlande (500-700 mm/an)[13].

Selon les données hydrologiques d'Hydro-Québec et d'Environnement Canada, la région du réservoir de l'Eastmain 1 reçoit de 850 à 950 mm de précipitations par an. Le taux d'évaporation est de 350 à 400 mm d'eau par an, ce qui correspond à 30 à 40 % des précipitations annuelles.

On recense peu d'études fondées sur les calculs de covariance des turbulences pour une étendue d'eau libre. Ces calculs donnent un résultat optimal en présence de turbulences atmosphériques et se prête surtout aux relevés effectués pendant le jour, lorsque les vents sont plus forts. Dans le cas des écosystèmes terrestres, les données manquantes sont compensées à l'aide d'algorithmes éprouvés qui réduisent les disparités au minimum. Pour les systèmes aquatiques, l'absence d'algorithmes correctifs appropriés fait que les pertes quotidiennes par évapotranspiration sont probablement surestimées de 20 à 30 %.

Le taux d'évapotranspiration commence normalement à augmenter entre avril et mai dans les écosystèmes terrestres (voir le tableau 1). Pour un réservoir, cette augmentation est différée d'environ un mois, soit au milieu ou à la fin de mai (voir le tableau 1). Ce décalage serait attribuable à l'effet de masse thermique du réservoir qui

retarde la fonte des glaces et, par conséquent, l'accélération de l'évaporation. De septembre à novembre, la masse thermique du réservoir amplifie le taux d'évaporation par rapport à celui des écosystèmes terrestres. L'évaporation mesurée en période automnale (de septembre à novembre) représente environ 50 % des pertes annuelles du réservoir et de 22 à 35 % de celles des écosystèmes terrestres. Outre la masse thermique du réservoir, sa grande superficie et la présence de vents forts pourraient contribuer au taux d'évaporation accru. Il est à noter que la période de transition printanière est plus courte que celle de l'automne.

Nos calculs se basent sur une superficie fixe de 603 km<sup>2</sup> correspondant à l'étendue maximale du réservoir. Ainsi, nous surestimons le taux d'évaporation par unité de surface puisque la superficie effective varie selon la saison et la consommation d'eau consacrée à la production hydroélectrique. Cette disparité est accentuée en été, saison où le taux d'évaporation culmine alors que la superficie aquatique est au minimum. L'amplitude annuelle de marnage du réservoir est de 6 à 9 m. Lorsque le niveau de l'eau est au minimum (marnage de 9 m), la superficie du réservoir est d'environ 330 km<sup>2</sup>, soit 55 % de sa superficie maximale. Du fait de l'érosion liée aux vagues et aux glaces, la zone de marnage contient peu de biomasse végétale, ce qui limite les sources additionnelles d'évapotranspiration. Au Québec, les conditions climatiques hivernales entraînent une demande accrue d'électricité qui se traduit par une baisse du niveau d'eau et de la superficie aquatique du réservoir entre janvier et mai. De mai à la mi-décembre, le réservoir se remplit et sa superficie aquatique

augmente graduellement en conséquence. Étant donné que la superficie du réservoir est réduite à 80 % l'été, il serait normal que le taux d'évaporation soit inférieur à celui des écosystèmes naturels.

Le rapport spécial sur les énergies renouvelables du GIEC[14] consacre un chapitre au volume d'eau nécessaire pour produire de l'énergie. Cet important outil d'évaluation du potentiel des énergies renouvelables en remplacement des combustibles fossiles ne cite que quatre études comparatives de sources d'énergie et de leur consommation d'eau en 2011. Une revue[3] des autres études parues depuis indique que la consommation d'eau des centrales hydroélectriques varie de 0,04 à 6 250 m<sup>3</sup> par MWh. Toutefois, la plupart de ces études calculent l'évaporation brute et non l'évaporation nette.

Équation 1

*Évaporation brute = Évaporation du réservoir + Production annuelle d'énergie*

L'évaporation brute du réservoir de l'Eastmain 1 serait d'environ 49 m<sup>3</sup>·MWh<sup>-1</sup>. En nous basant sur le taux d'évaporation mesuré au réservoir de l'Eastmain 1, nous calculons une évaporation brute de 32 m<sup>3</sup>·MWh<sup>-1</sup> au réservoir Robert-Bourassa à la puissance installée et pour un facteur d'utilisation de 65 %. Ces valeurs s'approchent des moyennes des réservoirs canadiens, autrichiens et norvégiens (14-33 m<sup>3</sup>·MWh<sup>-1</sup>) et américains (34 m<sup>3</sup>·MWh<sup>-1</sup>)[15]. Le taux d'évaporation brute moyen calculé pour l'ensemble des aménagements hydroélectriques aux États-Unis est de 68 m<sup>3</sup>·MWh<sup>-1</sup>[16]. Ces valeurs sont très inférieures aux moyennes observées dans les régions tempérées, tropicales et arides chaudes, qui sont de 152, 498 et 1 658 m<sup>3</sup>·MWh<sup>-1</sup> respectivement[3].

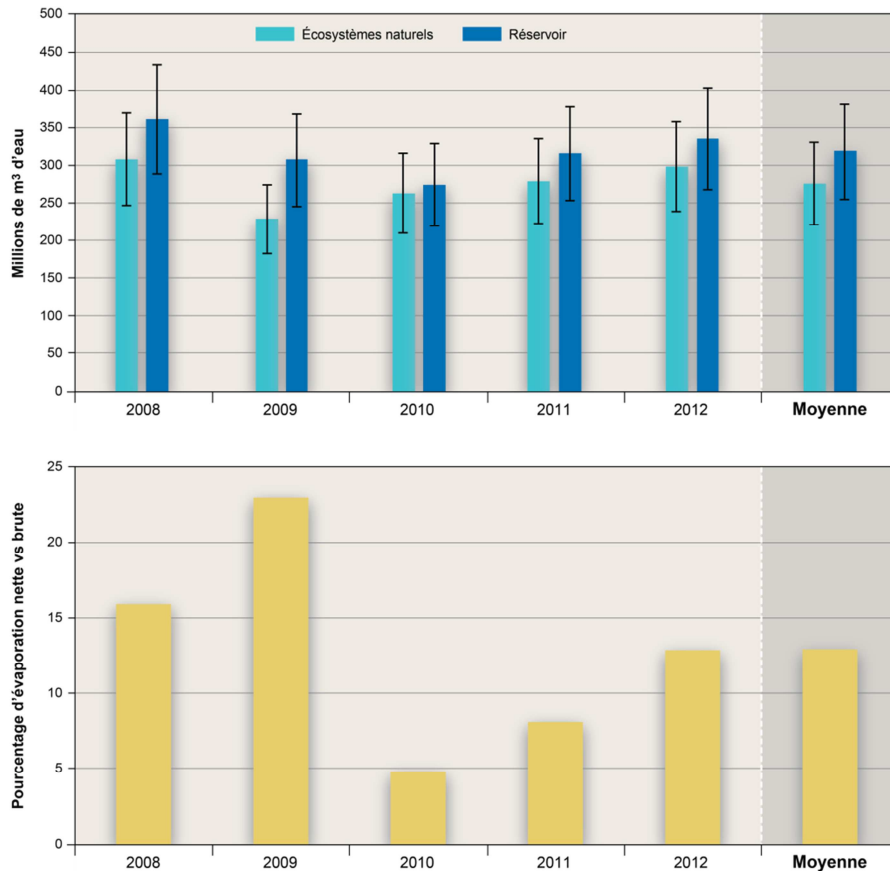
Le taux d'évaporation brute ne rend pas compte des pertes par évaporation naturelles antérieures à la construction des aménagements hydroélectriques et à la mise en eau du réservoir. Pour une représentation plus juste, on a plutôt recours à l'évaporation nette.

Équation 2

*Évaporation nette = (Évaporation du réservoir - Évapotranspiration de l'écosystème avant la mise en eau) + Production annuelle d'énergie*

Comme la création d'un réservoir modifie l'utilisation du sol et remplace l'évapotranspiration du milieu végétal par

**Figure 2 — Évaporation nette du réservoir de l'Eastmain 1**

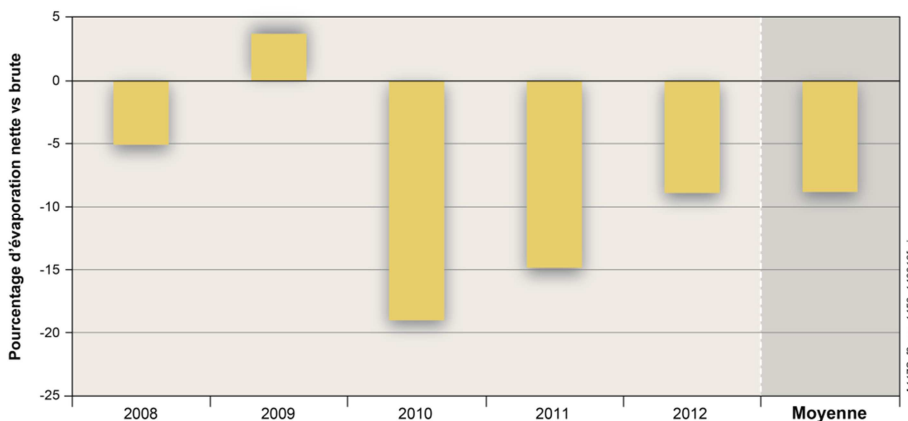


La figure du haut montre l'évaporation annuelle des écosystèmes naturels et du réservoir de l'Eastmain 1 (603 km<sup>2</sup>). La figure du bas présente l'évaporation nette calculée, comprise entre 5 et 23 % de l'évaporation brute.

l'évaporation de l'étendue d'eau libre du réservoir, le calcul de l'évaporation nette est plus approprié[2, 3]. Notre étude calcule l'évaporation nette sur une période de cinq ans.

L'évaporation annuelle nette (voir la figure 2) subit les mêmes influences que l'évaporation brute, soit la température et les précipitations. Selon nos calculs, l'évaporation nette du réservoir de l'Eastmain 1 se situe entre 5 et 23 % de l'évaporation brute

**Figure 3 — Évaporation nette en fonction de la superficie effective du réservoir**



Si on fait les calculs en fonction de la superficie effective du réservoir (80 % de la superficie maximale de 603 km<sup>2</sup>), l'évaporation nette du réservoir de l'Eastmain 1 se situe entre -19 et 4 % de l'évaporation brute, ce qui indique que les pertes d'eau par évaporation du réservoir pourraient être inférieures à celles des écosystèmes naturels antérieurs à la mise en eau.

(voir la figure 2). Ce constat concorde avec les résultats des rares études qui prennent en compte l'évaporation nette, dans lesquelles ce rapport est chiffré à 12 à 60 %[3].

Dans notre étude, nous calculons l'évaporation en fonction de la superficie aquatique maximale du réservoir. Toutefois, compte tenu du marnage annuel, la superficie effective s'établit à environ 80 % de la superficie maximale, de sorte que l'évaporation nette du réservoir de l'Eastmain 1 se situerait plutôt entre -19 et 4 % de l'évaporation brute (voir la figure 3). Une évaporation nette négative indique que le taux d'évaporation du réservoir est inférieur à celui des écosystèmes naturels antérieurs à la mise en eau. Au vu de la variabilité inhérente à l'estimation de l'évaporation (voir les figures 2 et 3), l'évaporation nette du réservoir de l'Eastmain 1 est probablement de près de zéro.

Il serait normal que tant l'évaporation d'un réservoir que l'évapotranspiration de la végétation en région chaude (Panama, Brésil, etc.) soient nettement supérieures à celles qu'on observe en région boréale ou tempérée, mais l'évaporation nette devrait être inférieure à l'évaporation brute et, dans bien des cas, quasi nulle. En revanche, pour les réservoirs aménagés en région aride, comme le barrage d'Assouan, en Égypte et les barrages Hoover et de Glen Canyon, aux États-Unis, l'évaporation nette devrait être presque identique à l'évaporation brute. Cette exception tient au fait que la biomasse végétale et la superficie aquatique réduites se traduisent par un écosystème naturel au taux d'évaporation très faible (moins de 4 %) par rapport à celui du réservoir[16].

Globalement, l'évaporation liée aux réservoirs n'est pas une perte et elle ne déséquilibre pas le cycle hydrologique de la Terre. La notion de consommation d'eau suppose par définition un impact local ou régional sur la disponibilité des ressources hydriques[3, 14]. Étant donné son taux d'évaporation nette de près de zéro, le réservoir de l'Eastmain 1 ne devrait avoir qu'un impact minime sur les ressources hydriques locales et régionales.

## Conclusions

Les écosystèmes naturels présents avant la mise en eau produisaient manifestement des quantités considérables d'eau atmosphérique par évapotranspiration, d'où le bilan d'évaporation net presque nul du

réservoir de l'Eastmain 1. Dans l'ensemble, le réservoir de l'Eastmain 1 se caractérise par une faible perte nette d'eau par évaporation et par de faibles émissions de GES[4, 5]. Qui plus est, les mesures d'atténuation – notamment les huit seuils aménagés sur la rivière Rupert et un débit réservé écologique adapté au cycle hydrologique naturel des deux rivières touchées par le projet de l'Eastmain-1-A–Sarcelle–Rupert – montrent bien qu'il est possible de limiter considérablement l'impact d'un aménagement sur les ressources hydriques.

## Références bibliographiques

<sup>1</sup>Kenny, J.F. et coll. 2009. *Estimated Use of Water in the United States in 2005*. U.S. Geological Survey Circular 1344. 2009.

<sup>2</sup>Herath, I. et coll. 2011. « The Water Footprint of Hydroelectricity: A Methodological Comparison from a Case Study in New Zealand ». *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2011.05.007.

<sup>3</sup>Bakken, T.H. et coll. 2013. « Water Consumption from Hydropower Plants – Review of Published Estimates and an Assessment of the Concept ». *Hydrology and Earth System Sciences*, volume 17, pages 3983-4000, doi:10.5194/hess-17-3983-2013.

<sup>4</sup>Teodoru, C.R. et coll. 2012. « The Net Carbon Footprint of a Newly created

Boreal Hydroelectric Reservoir ». *Global Geochemical Cycles*, volume 26, doi:10.1029/2011GB004187.

<sup>5</sup>Tremblay, A. et coll. 2011. « Measuring Net Emissions from Eastmain-1 Reservoir ». *Hydro Review*, juillet 2011, pages 90-99.

<sup>6</sup>Barr, A.G. et coll. 2004. « Inter-annual Variability in the Leaf Area Index of a Boreal Aspen-hazelnut Forest in Relation to Net Ecosystem Production ». *Agricultural and Forest Meteorology*, volume 126, pages 237-255.

<sup>7</sup>Bonneville, M.-C., I.B. Strachan, E. Humphreys et N.T. Roulet. 2008. « Net Ecosystem CO<sub>2</sub> Exchange in a Temperate Cattail Marsh in Relation to Biophysical Properties ». *Agricultural and Forest Meteorology*, doi:10.1016/j.agrformet.20017.09.004.

<sup>8</sup>Nugent, K.A. 2013. « Carbon Dioxide, Water Vapour and Energy Fluxes of a Recently Burned Boreal Jack Pine Stand in North-western Québec, Canada ». Mémoire de maîtrise, Université McGill.

<sup>9</sup>Bond-Lamberty, B., S.D. Peckham, S.T. Gower et B.E. Ewers. 2009. « Effect of Fire on Regional Evapotranspiration in the Central Canadian Boreal Forest ». *Global Change Biology*, volume 15, n° 5, pages 1242-1254.

<sup>10</sup>Kelliber, F.M., R. Leuning et E.D. Schulze. 1993. « Evaporation and Canopy Characteristic of Coniferous Forest and Grasslands ». *Oecologia*, volume 95, n° 2, pages 153-163.

<sup>11</sup>Lafleur, P.M., R.A. Hember, S.W. Admiral et N.T. Roulet. 2005. « Annual and Seasonal Variability in Evapotranspiration and Water Table at a Shrub-covered Bog in southern Ontario, Canada ». *Hydrological Processes*, volume 19, n° 18, pages 3533-3550.

<sup>12</sup>Van der Velde, Y., S.W. Lyon et G. Destouni. 2013. « Data-driven Regionalization of River Discharges and Emergent Land Cover-evapotranspiration Relationship across Sweden ». *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, volume 118, pages 2576-2587, doi:10.1002/jgrd.50224, 2013.

<sup>13</sup>Soladie, R.K. et P.J. Joukola. 2001. « Evapotranspiration 1961–1990 in Finland as Function of Meteorological and Land-type Factors ». *Boreal Environment Research*, volume 6, pages 261-273.

<sup>14</sup>IPCC. 2012. *Special Report on Renewable Energy Source and Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge (R.-U.) et New York, 2012.

<sup>15</sup>Wilson, W., T. Leipzig et B. Griffiths-Sattenspiel. 2012. *Burning our Rivers: The Water Footprint of Electricity*. River Network, 2012.

<sup>16</sup>Torcellini, P., N. Long et R. Judkoff. 2003. *Consumption Water Use for U.S. Power Production*. NREL/TP-550-33905, National Renewable Energy Laboratory, 2003.

Cet article est une adaptation de la version originale publiée en anglais.  
Hydro-Québec a obtenu les droits d'afficher sur le web et de distribuer le fichier électronique auprès d'*Hydro Review*,  
Juin 2014 © PennWell Corporation.