

Appendice 2 Approche possible à l'estimation des émissions de CO₂ dues aux terres converties en terres inondées de manière permanente : base d'une future méthodologie à développer

Le temps écoulé depuis l'inondation a une influence significative sur les flux de gaz à effet de serre des terres inondées, mais aussi sur la division entre les gaz. De récentes analyses statistiques sur les réservoirs de par le monde indiquent qu'on a une augmentation rapide des émissions juste après l'inondation, après quoi les émissions retournent à un état relativement stable (Tremblay *et al.*, 2005 ; Therrien *et al.*, 2005 ; Soumis *et al.*, 2005 ; et Huttunen *et al.*, 2002, 2003). Le taux de décroissement des émissions post-inondation peut dépendre de la région dans laquelle se trouve le réservoir, mais semble tourner autour d'une fourchette de 10 ans (Delmas *et al.*, 2005 ; Abril *et al.*, 2005 ; Tremblay *et al.*, 2005).

Les recherches montrent que les émissions de CO₂ pendant les dix premières années environ après l'inondation sont causées par la décomposition d'une partie de la matière organique sur les terres avant l'inondation. Le carbone et les nutriments facilement dégradables sont rendus disponibles aux organismes producteurs au moment de l'inondation, et métabolisés. Après cette période de temps, les émissions CO₂ se maintiennent en raison des entrées de matériau organique transféré à la zone inondée par le bassin-versant (Houel, 2003 ; Hélie, 2004 ; Cole et Caraco, 2001). Pour éviter tout double comptage des émissions de CO₂, qui peuvent déjà avoir été décomptées dans le budget des gaz à effet de serre des terres gérées dans le bassin-versant, et en l'absence de preuves concluantes sur l'impact à plus long terme des inondations sur ces émissions, la méthodologie par défaut ne prend en compte que les 10 premières années suivant l'inondation.

Toute émission causée par des activités relatives à un changement d'affectation des terres (par exemple émissions de CO₂ ou sans CO₂ dues au défrichage des terres avant inondation) devra être estimée à l'aide des méthodologies fournies ailleurs dans le présent volume.

Les terres peuvent être défrichées avant d'être inondées. Le matériau organique peut être brûlé ou récolté (par exemple pour en tirer du bois d'œuvre). Les émissions en résultant devront être estimées à l'aide des méthodologies appropriées du présent volume, permettant d'estimer les variations des stocks de carbone avant inondation. Ces émissions doivent être estimées l'année où elles ont lieu.

Les émissions de dioxyde de carbone des *terres converties en terres inondées* peuvent avoir lieu après inondation ou défrichage des terres, de la manière suivante :

- Émissions de diffusion, dues à la diffusion moléculaire à travers l'interface air-eau ; c'est la principale voie pour les émissions de CO₂ ;
- Émissions par ébullition ou émissions gazeuses provenant du sédiment passant par la colonne d'eau sous forme de bulles ; il s'agit d'une voie très mineure pour les émissions de CO₂ ;
- Émissions de dégazage, ou émissions résultant de modifications soudaines de la pression hydrostatique, et de l'augmentation de la surface d'échange air/eau après que l'eau des réservoirs est passée par une turbine et/ou un déversoir (Duchemin, 2000 ; Hélie, 2004 ; Soumis *et al.*, 2004 ; et Delmas *et al.*, 2005)

Le présent appendice propose une hiérarchie de trois méthodes de sophistication graduelle, nommées niveaux 1, 2 et 3.

Les niveaux 1 et 2 ne permettent d'estimer que les émissions de diffusion. La méthode de niveau 3, basée sur des mesures précises, inclut tous les flux pertinents d'émissions de dioxyde de carbone des terres inondées. Le niveau 3 comprend les émissions de dégazage et prend en compte l'âge, la situation géographique et la température de l'eau du réservoir. La méthode de niveau 3 n'est pas expliquée en détails dans le présent appendice ; toutefois les pays pourront se référer à l'encadré 2a.1 pour savoir comment dériver des facteurs d'émissions spécifiques au pays servant de ressources pour mettre en place le niveau 3. Au niveau 3, toutes les émissions pertinentes des terres inondées devront être estimées pour la durée de vie du réservoir. Le tableau 2a.1 présente un résumé de la portée des trois niveaux quant aux voies d'émissions de CO₂.

ENCADRE 2A.1**DERIVATION DE FACTEURS D'ÉMISSIONS SPÉCIFIQUES AU PAYS**

Les programmes permettant de dériver des facteurs d'émissions spécifiques au pays devront faire particulièrement attention aux possibles superpositions avec d'autres secteurs et à bien attribuer les émissions. Par exemple, les émissions de N₂O dues à l'application d'engrais ou au traitement des eaux d'égouts dans le bassin-versant ne devront pas être incluses à la catégorie *Terres inondées*.

En général, le calcul de facteurs d'émissions spécifiques au pays requiert des mesures réelles des flux de gaz à effet de serre des surfaces des réservoirs. Il faudra développer des facteurs d'émissions séparés pour les principaux types de réservoirs du territoire national. Pour rendre la tâche plus facile, les réservoirs devront tout d'abord être groupés en catégories prenant en compte les principaux facteurs de variabilité dans les réservoirs, notamment la zone climatique et le socle géologique (qui affecte beaucoup le pH). Pour ce faire, il pourra être utile de disposer de cartes et d'une stratification écologique du pays.

Il faudra concevoir une stratégie de mesure pour chaque catégorie de réservoir, afin d'obtenir des valeurs représentatives des flux en fonction de l'âge du réservoir, de sa morphologie, du régime de gestion, de son statut en matière de nutriments et d'autres facteurs pertinents, le cas échéant. Il faudra ensuite mettre en place un programme d'échantillonnage des flux rigoureusement conçu, pour chaque réservoir, afin de prendre en compte la variabilité spatiale causée par les variations relatives à la profondeur et au courant de fond, à la proximité du rivage et à la présence de végétation aquatique ; ainsi que la variabilité temporelle due aux cycles diurnes et saisonniers. Les mesures des flux devront couvrir une année entière, voire, de préférence, plusieurs années.

Les références suivantes contiennent des informations utiles : Therrien *et al.*, 2005 ; Duchemin *et al.*, 2006 ; Delmas *et al.*, 2005 ; Abril *et al.*, 2005 ; Rosa *et al.*, 2004 ; Soumis *et al.*, 2004 ; Tavares de Lima, 2002 ; Huttunen *et al.*, 2002 ; Duchemin, 2000 ; Duchemin *et al.*, 1999 ; Rosa *et al.*, 1996 ; et Duchemin *et al.*, 1995.

Le développement de facteurs d'émissions devra prendre en compte les principaux types d'émissions : émissions de diffusion, ébullition, dégazage. Il faudra faire des mesures des concentrations aqueuses de CH₄ et de CO₂ à différents lieux en amont et en aval du réservoir, pour estimer les émissions de dégazage.

| TABEAU 2A.1 | |
|---|--------------------------|
| NIVEAUX ET VOIES D'ÉMISSIONS DE CO₂ POUR LES TERRES CONVERTIES EN TERRES INONDEES | |
| | CO₂ |
| Niveau 1 | • Émissions de diffusion |
| Niveau 2 | • Émissions de diffusion |
| Niveau 3 | • Toutes émissions |

CHOIX DE LA METHODE

Le diagramme décisionnel de la figure 2a.1 permet aux compilateurs d'inventaires de choisir le niveau approprié. Le niveau choisi et le niveau de désagrégation spatiale et temporelle employé par l'agence d'inventaire dépendra de la disponibilité des données sur les activités et sur les facteurs d'émissions, mais aussi de l'importance des réservoirs dans les émissions de gaz à effet de serre du pays.

Niveau 1

Le niveau 1 fournit une approche simplifiée d'estimation des émissions de CO₂ des réservoirs à l'aide de facteurs d'émissions par défaut et de données sur les superficies très agrégées. La seule voie d'émissions de CO₂ prise en compte au niveau 1 est la diffusion pendant la période sans couverture de glace. On suppose que les émissions de diffusion du CO₂ pendant la période de couverture de glace sont nulles. On suppose par défaut que les émissions de CO₂ se limitent aux 10 premières années après inondation, et que toute émission de CO₂ suivante provient du carbone pénétrant dans le réservoir à partir d'autres superficies de terres (par exemple,

agriculture en amont). L'équation 2.16 du chapitre 2 peut être utilisée pour estimer les variations des stocks de carbone de la biomasse aérienne vivante dues aux conversions de terres en terres inondées si la biomasse aérienne est défrichée avant l'inondation. Si la biomasse aérienne est brûlée, il faudra utiliser l'équation 2.14 ou 2.27 du chapitre 2 (*Émissions dues au brûlage de biomasse*). Par ailleurs, l'équation de flux décrite ci-dessous devra être utilisée dans tous les cas pour estimer les émissions de CO₂ du carbone non défriché.

La décomposition de la biomasse aérienne laissée sur le site et la matière organique des sols contribuent toutes deux aux émissions. L'équation 2a.1 présente la méthode de niveau 1 relative à ces émissions de CO₂.

ÉQUATION 2A.1
ÉMISSIONS DE CO₂ DES TERRES CONVERTIES EN TERRES INONDEES (NIVEAU 1)

$$CO_2 \text{ Emissions}_{TH \text{ Inondées}} = P \cdot E(CO_2)_{diff} \cdot S_{inondées, surface_totale} \cdot f_s \cdot 10^{-6}$$

Où :

CO₂ Émissions_{TH Inondées} = émissions totales de CO₂ dues aux *terres converties en terres inondées*, Gg CO₂ an⁻¹

P = nombre de jours sans couverture de glace par an, jours an⁻¹

E(CO₂)_{diff} = émissions de diffusion quotidiennes moyennes, kg CO₂ ha⁻¹ jour⁻¹

S_{inondées, surface totale} = superficie totale de surface du réservoir, y compris terres inondées, lacs et rivières, ha

f_s = fraction de la superficie totale du réservoir inondée au cours des 10 dernières années

Les émissions de CO₂ estimées par l'équation 2a.1 sont très incertaines car le facteur d'émissions par défaut ne comptabilise ni les différences relatives aux conditions spécifiques au site ni le temps écoulé depuis l'inondation. L'utilisation de l'équation 2a.1 pourrait aussi entraîner une surestimation des émissions si l'on s'en sert en parallèle aux équations 2.14, 2.16 ou 2.27 du chapitre 2. Les pays ayant choisi une méthode de niveau 2 pourront représenter le profil temporel des émissions de CO₂ suite à une inondation de manière plus exacte. Les recommandations relatives au niveau 2 sont présentées ci-dessous.

Niveau 2

Au niveau 2, on emploie des facteurs d'émissions spécifiques au pays pour estimer les émissions de diffusion de CO₂. Au niveau 2, on peut estimer les émissions de CO₂ des réservoirs en suivant l'approche présentée par l'équation 2a.2. Comme au niveau 1, au niveau 2 les émissions de CO₂ des terres converties en terres inondées doivent uniquement être estimées pour la période de dix années après l'inondation, sauf si l'on dispose de recherches spécifiques au pays qui donnent des indications autres.

L'estimation des émissions de diffusion peut être étendue pour autoriser une distinction entre les périodes dénuées de couverture de glace sur les réservoirs celles pendant lesquelles ils sont couverts de glace (Duchemin *et al.*, 2006). On pourra ainsi obtenir une amélioration significative de l'exactitude pour les pays situés dans des zones climatiques froides. Les superficies de terres inondées pourront encore être désagrégées par zones climatiques, socle géologique ou tout autre paramètre pertinent dont la liste est dressée à l'encadré 2a.1.

ÉQUATION 2A.2
ÉMISSIONS DE CO₂ DES TERRES CONVERTIES EN TERRES INONDEES (NIVEAU 2)

$$CO_2 \text{ Emissions}_{TH_Inondées} = \left[\left((P_f \cdot E_f(CO_2)_{diff}) + (P_i \cdot E_i(CO_2)_{diff}) \right) \cdot \left(S_{Inondées, surface} \cdot f_s \cdot 10^{-6} \right) \right]$$

Où :

CO₂ émissions_{TH Inondées} = émissions totales de CO₂ dues aux *terres converties en terres inondées*, Gg CO₂ an⁻¹

P_f = période sans couverture de glace, jours an⁻¹

P_i = période avec couverture de glace, jours an⁻¹

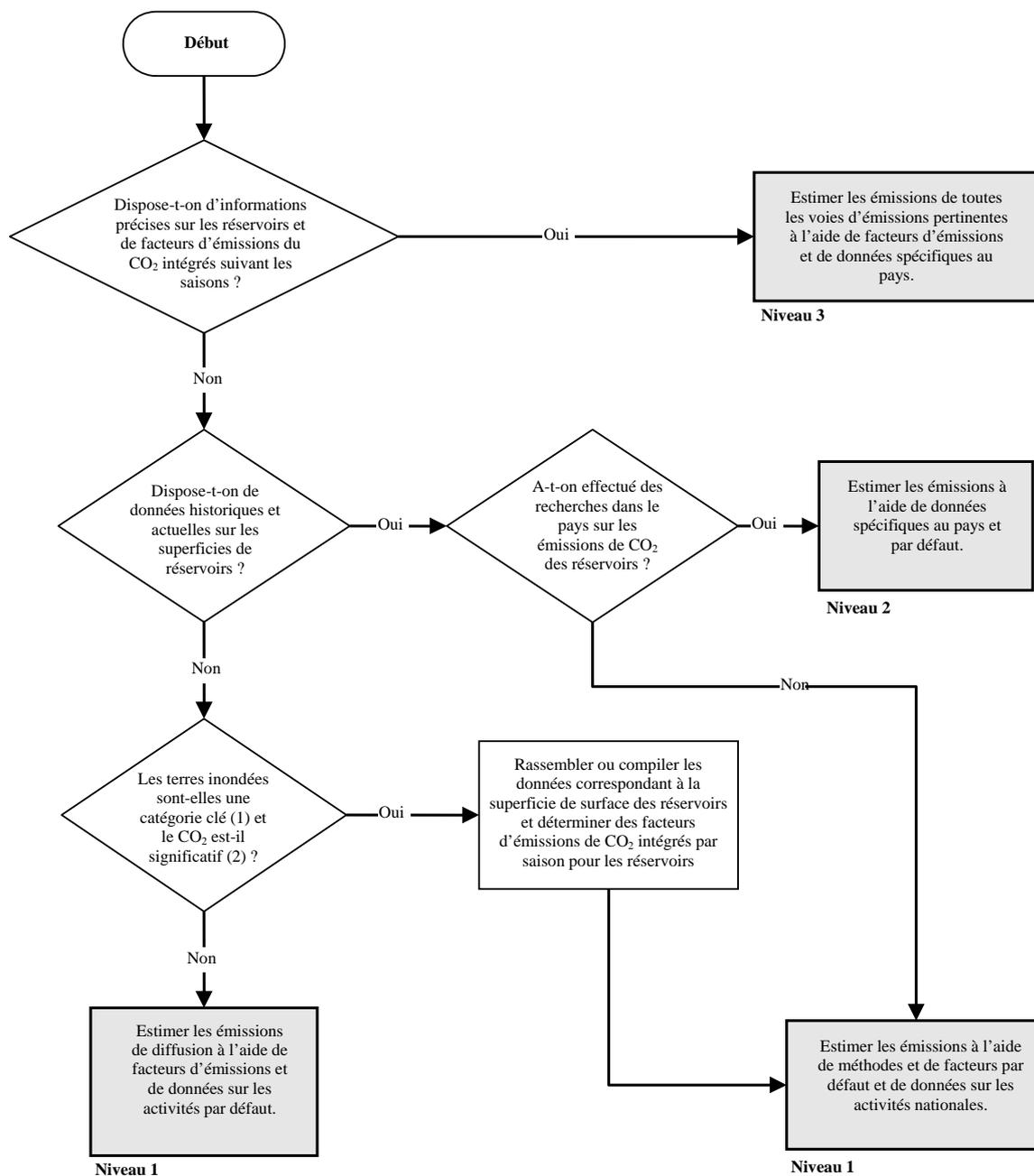
$E_f(\text{CO}_2)_{\text{diff}}$ = émissions de diffusion quotidiennes moyennes dues à l'interface air-eau pendant la période sans glace, $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ jour}^{-1}$

$E_i(\text{CO}_2)_{\text{diff}}$ = émissions de diffusion liées à la période de couverture de glace, $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ jour}^{-1}$

$S_{\text{inondées, surface}}$ = superficie totale de surface du réservoir, y compris terres inondées, lacs et rivières, ha

f_S = fraction de la superficie totale inondée au cours des 10 dernières années, adimensionnel

Figure 2a.1 Diagramme décisionnel de sélection du niveau approprié



Note :

(1) Lire le chapitre 4 du volume 1 (*Choix méthodologique – Identification des catégories clés*) et particulièrement la section 4.1.2 traitant des ressources limitées, pour une discussion des *catégories clés* et de l'emploi des diagrammes décisionnels

(2) Une sous-catégorie est significative si elle représente 25 à 30 % des émissions de la catégorie entière.

Niveau 3

Les méthodes de niveau 3 d'estimation des émissions de CO₂ sont exhaustives ; elles doivent inclure les données spécifiques au pays correspondant à toutes les voies d'émissions pertinentes de CO₂, comme les émissions de dégazage. Les facteurs d'émissions sont désagrégés afin de refléter toutes les sources pertinentes de variabilité temporelle et spatiale (voir encadré 2a.1). Pour éviter tout double comptage, il faudra aussi, au niveau 3, diviser les émissions entre celles résultant de la dégradation de matière organique inondée et celles provenant de la décomposition de la matière organique à partir du bassin-versant.

CHOIX DES FACTEURS D'EMISSIONS

Les principales valeurs par défaut nécessaires à la méthode de niveau 1 correspondent aux facteurs d'émissions du CO₂ par voie de diffusion. Le tableau 2a.2 présente les émissions mesurées pour différentes zones climatiques. Ces émissions mesurées intègrent les variations spatiales (intra-réservoir et régionales) et temporelles (sec/pluvieux et autres variations saisonnières, variations interannuelles) connues pour les émissions des réservoirs, ainsi que les flux à l'interface air-eau des réservoirs. Le niveau 1 n'est applicable qu'à la période hors glace. Pendant la période où la couverture de glace est complète, on suppose qu'il n'y a pas d'émissions de CO₂, alors qu'en réalité il y en a. Toutes les données sont obtenues de mesures dans des réservoirs hydroélectriques ou dans des bassins de rétention.

Au niveau 2, il faudra utiliser autant que faire se peut des facteurs d'émissions spécifiques au pays, et inclure les émissions ayant lieu pendant la période hivernale (couverture de glace). L'encadré 2a.1 présente le développement de facteurs d'émissions spécifiques au pays. Le calcul de facteurs spécifiques au pays devra être documenté clairement, et dans l'idéal publié dans des publications révisées par des spécialistes. Les recommandations de l'encadré 2a.1 sont également applicables au calcul des facteurs d'émissions de niveau 3.

CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

On pourra avoir besoin de différents types de données sur les activités pour estimer les émissions des terres inondées, en fonction du niveau mis en place et des sources potentielles de variabilité spatiale et temporelle sur le territoire national.

Superficie de terres inondées

Au niveau 1, il faudra disposer de la superficie totale couverte par les réservoirs, et de la proportion inondée au cours des dix dernières années (f_s). Aux niveaux plus élevés, l'emploi de profils d'émissions plus précis dans le temps signifie qu'on devra disposer d'informations correspondant à l'âge des terres inondées. Les pays peuvent obtenir leur superficie de terres inondées à partir d'analyses de la couverture des bassins-versants, de bases de données nationales sur les barrages, des données de la Commission internationale des grands barrages (ICOLD, 1998) ou du rapport de la Commission mondiale des grands barrages (WCD, 2000). Puisque la superficie de terres inondées peut changer rapidement, et en raison de la limite de dix ans, les pays devront utiliser des données mises à jour et récentes sur la superficie de surface des réservoirs. Au niveau 2, ces données sur les activités devront être désagrégées par catégories pertinentes (voir encadré 2a.1). Aux niveaux 2 et 3, les pays devront créer une base de données nationale sur leurs réservoirs incluant des données ou informations pertinentes sur le nom des réservoirs, leurs types, leurs coordonnées géographiques, l'année de leur création, la superficie de surface, la profondeur, le taux d'écoulement et autres paramètres pertinents, décrits à l'encadré 2a.1.

Période sans couverture de glace/période de couverture de glace

À tous les niveaux, il faudra connaître les périodes pendant lesquelles les réservoirs ne sont pas couverts de glace ou sont complètement couverts de glace, afin d'estimer les émissions de CO₂. On pourra obtenir ces informations auprès des services météorologiques nationaux.

Volume d'écoulements/déversements

Au niveau 3, le volume d'écoulements/déversements des terres inondées devra être connu afin d'estimer les émissions de dégazage de CO₂.

Concentrations de CO₂ en amont et en aval des barrages

Au niveau 3, il faudra disposer des données relatives aux concentrations de CO₂ en amont et en aval des barrages, afin d'estimer les émissions de dégazage. Les informations relatives aux techniques de mesures pourront être obtenues en lisant les références citées à l'encadré 2a.1.

| TABLEAU 2A.2 ÉMISSIONS MESUREES DE CO ₂ DES TERRES INONDEES | | | | | | |
|---|---|--------|------|----------------|------------------|--|
| Climat | Émissions de diffusion (période sans couverture de glace) $E_f(\text{CO}_2)_{\text{diff}}$ (kg CO ₂ ha ⁻¹ jour ⁻¹) | | | | | Références |
| | Valeur médiane | Min | Max | N _m | N _{res} | |
| Polaire/boréal pluvieux | 11,8 | 0,8 | 34,5 | 1011 | 20 | Bergström <i>et al.</i> , 2004 ; Åberg <i>et al.</i> , 2004 ; Huttunen <i>et al.</i> , 2002 |
| Froid tempéré, humide | 15,2 | 4,5 | 86,3 | 633 | 20 | Duchemin, 2000; Schellhase <i>et al.</i> , 1994 ; Duchemin <i>et al.</i> , 1999 ; Duchemin <i>et al.</i> , 1995 ; Tremblay <i>et al.</i> , 2005 |
| Chaud, tempéré, humide | 8,1 | - 10,3 | 57,5 | 507 | 33 | Duchemin, 2000 ; Duchemin, 2002a ; St-Louis <i>et al.</i> , 2000 ; Smith et Lewis, 1992 ; Tremblay <i>et al.</i> , 2005 |
| Chaud tempéré, sec | 5,2 | - 12,0 | 31,0 | 390 | 43 | Soumis <i>et al.</i> , 2004 ; Therrien <i>et al.</i> , 2005 |
| Tropical, pluvieux | 44,9 | 11,5 | 90,9 | 642 | 7 | Keller et Stallard, 1994 ; Galy-Lacaux <i>et al.</i> , 1997 ; Galy-Lacaux, 1996 ; Duchemin <i>et al.</i> , 2000 ; Pinguelli Rosa <i>et al.</i> , 2002 ; Tavares de Lima <i>et al.</i> , 2002 ; Tavares de Lima, 2005 |
| Tropical, sec | 39,1 | 11,7 | 58,7 | 197 | 5 | Pinguelli Rosa <i>et al.</i> , 2002 ; Dos Santos, 2000 |

Les valeurs de la deuxième colonne représentent la valeur médiane des émissions de CO₂ indiquées dans les études publiées, qui sont elles-mêmes des moyennes arithmétiques de flux mesurés au dessus de réservoirs individuels. On utilise les valeurs moyennes parce que les distributions de fréquence des mesures des flux sous-jacents ne sont pas normales, et que leur moyenne arithmétique est déjà faussée par des valeurs extrêmes. Les valeurs min et max sont respectivement les mesures les moins et les plus élevées de toutes les mesures individuelles d'une région climatique donnée ; elles sont fournies uniquement comme indication de la variabilité. N_m = nombre de mesures ; N_{res} = nombre de réservoirs échantillonnés.

Ces mesures peuvent inclure des émissions non anthropiques (par exemple, des émissions du carbone dans le bassin en amont) et donc un double comptage des émissions anthropiques est possible (par exemple pour l'eau d'égouts de zones urbaines dans la région du réservoir), entraînant par suite une surestimation des émissions.

ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Les deux principales sources d'incertitude pour l'estimation des émissions de gaz à effet de serre des réservoirs sont les facteurs d'émissions de diverses voies (de diffusion, ébullition et dégazage) et les estimations des superficies de surface des réservoirs.

Facteurs d'émissions

Les émissions de diffusion de CO₂ présentées au tableau 2a.2 varient selon un à deux ordres de grandeur dans les régions boréales et tempérées, et de un à trois dans les régions tropicales. L'utilisation des facteurs d'émissions calculés à partir du tableau 2a.2 présente donc des incertitudes élevées. Puisque l'âge des réservoirs a une

influence significative sur les flux de CO₂ au cours des 10 premières années, la méthode pourra entraîner une sous-estimation des émissions de CO₂.

Les émissions de dégazage de CO₂, qui sont généralement significatives dans les régions tropicales et tempérées, sont une source d'incertitude importante au niveau 3. Les recherches ont montré que ces émissions de CO₂ formaient la totalité des émissions de gaz à effet de serre d'un réservoir d'une région tempérée, et jusqu'à 30 % des émissions dans les régions tempérées humides (Soumis *et al.*, 2004). Dans les régions tempérées froides, les émissions de dégazage de CO₂ forment moins de 5 % du total des émissions de gaz à effet de serre des réservoirs (Duchemin, 2000 ; Hélie, 2003).

Pour réduire les incertitudes des facteurs d'émissions, les pays devront développer des stratégies d'échantillonnage appropriées et statistiquement valides, prenant en compte les facteurs sous-jacents à la variabilité temporelle et spatiale de l'écosystème étudié (voir encadré 2a.1).

Superficie de surface des terres inondées

Des informations statistiques nationales devraient exister sur les superficies inondées et retenues par de grands barrages (> 100 km²) ; celles-ci seront probablement exactes dans une plage de 10 %. Lorsqu'on ne dispose pas d'une base de données nationale sur les barrages, et qu'on utilise d'autres informations, la superficie de terres inondées retenue par des barrages présentera probablement une incertitude de plus de 50 %, surtout pour les pays ayant de grandes superficies de terres inondées. Il pourra aussi être difficile d'obtenir des informations précises sur l'emplacement, le type et la fonction de barrages plus petits ; néanmoins on pourra effectuer des déductions statistiques en fonction de la distribution des tailles des réservoirs pour lesquels on dispose d'informations. Les réservoirs sont créés à diverses fins, qui influencent la disponibilité des données ; en conséquence l'incertitude relative à la superficie de surface dépendra des conditions spécifiques du pays.

Références

- Åberg, J., Bergström, A.K., Algesten, G., Söderback, K. and Jansson, M. (2004). A comparison of the carbon balances of a natural lake (L. Östrasket) and a hydroelectric reservoir (L. Skinnmuddsetlet) in northern Sweden, *Water Research*, **28**, 531-538.
- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, A.M. and Matvienko, B. (2005). Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycle* (in press).
- Bergström, A.K., Algesten, G., Sobek, S., Tranvik, L. and Jansson, M. (2004). Emission of CO₂ from hydroelectric reservoirs in northern Sweden, *Arch. Hydrobiol.*, **159**, 1, 25-42.
- Cole, J.J. and Caraco, N.F. (2001). Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism. *Marine and Freshwater Research*, **52**:101-110
- Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C. and Grégoire, A. (2005). Long Term Greenhouse Gas Emissions from the Hydroelectric Reservoir of Petit Saut (French Guiana) and Potential Impacts. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). *Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 293-312.
- dos Santos, M.A. (2000). Inventário emissões de gases de efeito estufa derivadas de Hidrelétricas, PhD. Dissertation, University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 154p.
- Duchemin, E., Lucotte, M., Canuel, R. and Soumis, N. (2006). First assessment of CH₄ and CO₂ emissions from shallow and deep zones of boreal reservoirs upon ice break-up, *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, **11**:9-19.
- Duchemin É. (2000). Hydroelectricity and greenhouse gases: Emission evaluation and identification of biogeochemical processes responsible for their production, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 321 p (available on CD-ROM).
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R. and Chamberland, A. (1995). Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of the boreal region, *Global Biogeochemical Cycles*, **9**, 4, 529-540.
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Almeida Cruz, D., Pereira, H.C., Dezincourt, J. and Queiroz, A.G. (2000). Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir and from other reservoirs worldwide, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **27**, 3, 1391-1395.

- Duchemin, É., Canuel, R., Ferland, P. and Lucotte, M. (1999). Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques d'Hydro-Québec et des lacs naturels (Volet 2), Scientific report, Direction principal Planification Stratégique - Hydro-Québec, 21046-99027c, 48p.
- Fearnside, P.M. (2002). Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications, *Water Air and Soil Pollution* **133**, 1-4, 69-96.
- Galy-Lacaux, C. (1996). Modifications des échanges de constituants mineurs atmosphériques liées à la création d'une retenue hydroélectrique. Impact des barrages sur le bilan du méthane dans l'atmosphère, PhD dissertation, Université Paul Sabatier, Toulouse (France), 200 p.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labroue, L., Richard, S. and Gosse, P. (1997). Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana, *Global Biogeochemical Cycles*, **11**, 4, 471-483.
- Hélie, J.F. (2004). Geochemistry and fluxes of organic and inorganic in aquatic systems of eastern Canada: examples of the St-Lawrence River and Robert-Bourassa reservoir: Isotopic approach, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 205p.
- Houel, S. (2003). Dynamique de la matière organique terrigène dans les réservoirs boréaux, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 121p.
- Huttunen, J.T., Alm, J., Liikanen, A., Juutinen, S., Larmola, T., Hammar, T., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (2003). Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions, *Chemosphere*, **52**, 609-621
- Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Hellsten, S.K., Heikkinen, M., Nykänen, H., Jungner, H., Niskanen, A., Virtanen, M.O., Lindqvist, O.V., Nenonen, O.S. and Martikainen, P.J. (2002). Fluxes of CH₄, CO₂, and N₂O in hydroelectric reservoir Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland, *Global Biogeochemical Cycles*, **16**, 1, doi:10.1029/2000GB001316.
- International Commission on Large Dams (ICOLD) (1998). World register of Dams 1998. Paris. International Committee on large Dams (Ed.). Metadatabase.
- Keller, M. and Stallard, R.F. (1994). Methane emission by bubbling from Gatun lake, Panama, *J. Geophys. Res.*, **99**, D4, 8307-8319.
- Rosa, L.P., Schaeffer, R. and Santos, M.A. (1996). Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of greenhouse gases? *Environmental Conservation*, **66**, No. 1: 2-6. Cambridge University Press.
- Rosa, L.P., Santos, M.A., Matvienko, B., Santos, E.O. and Sisar, E. (2004). Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical Regions, *Climatic Change*, **66**: 9-21.
- Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., Matvienko Sikar, E. (2002). Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidroelétricos brasileiros, Relatório de referência – Inventário brasileiro de emissões antropicas de gás de efeito de estufa, Ministério da Ciência e tecnologia, Brazil, 199p.
- Schlellhase, H.U. (1994). B.C. Hydro Strategic R&D; Carbon project - Reservoir case study, Powertech Labs inc., Final Report, 1-57.
- Smith, L.K. and Lewis, W.M. (1992). Seasonality of methane emissions from five lakes and associated wetlands of the Colorado Rockies, *Global Biogeochemical Cycles*, **6**, 4, 323-338
- Soumis, N., Lucotte, M., Duchemin, É., Canuel, R., Weissenberger, S., Houel, S. and Larose, C. (2005). Hydroelectric reservoirs as anthropogenic sources of greenhouse gases. In *Water Encyclopedia*. Volume 3: Surface and agricultural water, sous la dir. de J. H. Lehr et J. Keeley. p. 203-210. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Soumis, N., Duchemin, É., Canuel, R. and Lucotte, M. (2004). Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States, *Global Biogeochem. Cycles*, **18**, GB3022, doi:10.1029/2003GB002197.
- St-Louis, V., Kelly, C.A., Duchemin, E., Rudd, J.W.M. and Rosenberg, D.M. (2000). Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases: A global estimate, *Bioscience*, **50**, 9, 766-775.
- Tavares de Lima, I. (2005). Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs, *Chemosphere*, In Press
- Tavares de Lima, I. (2002). Emissão de metano em reservatório hidroelétricos amazônicos através de leis de potência (Methane emission from Amazonian hydroelectric reservoirs through power laws), PhD Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil, 119 p.

- Therrien, J. (2005). Aménagement hydroélectrique de l'Eastmain-1 – Étude des gaz à effet de serre en milieux aquatiques 2003-2004. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. à la Société d'énergie de la Baie James. 48 p. et annexes.
- Therrien, J. (2004). Flux de gaz à effet de serre en milieux aquatiques - Suivi 2003. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. présenté à Hydro-Québec. 52 p. et annexes.
- Therrien, J., Tremblay, A. and Jacques, R. (2005). CO₂ Emissions from Semi-arid Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. *In* Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm et M. Garneau (Eds.). Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 233-250.
- Tremblay, A., Therrien, J., Hamlin, B., Wichmann, E. and LeDrew, L. (2005). GHG Emissions from Boreal Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. *In* Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 209-231.
- WCD (2000). Dams and Development a New Framework for Decision-Making, The Report of the World Commission on Dams, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 356 p.