

## التذييل 3 انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة: أساس للتطورات المنهجية في المستقبل

يعد هذا المقترح أساساً للتطوير المنهجي في المستقبل ولا يقصد منه أن يمثل إرشادات وافية.

قد ينبعث الميثان من الأراضي المغمورة بكميات كبيرة، استناداً إلى مجموعة متنوعة من الخصائص مثل عمر وعمق الخزان نوع الاستخدام قبل الغمر والمناخ وممارسات الإدارة. وعلى النقيض من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، تُعد انبعاثات الميثان عالية التباين من الناحية المكانية والزمنية. ولا تعتبر القياسات الحالية لتدفقات الميثان من الأراضي المغمورة شاملة بما يكفي لدعم وضع معاملات انبعاث دقيقة (وبالأخص بالنسبة فيما يتصل بالانبعاثات الفقاعية والانبعاثات الناشئة عن إزالة الغاز). أضف إلى ذلك، عدم وجود بيانات للبلدان التي تغطي الخزانات مساحة كبيرة منها، مثل الهند والصين وروسيا.

ولا تشير الدراسات المعنية بالقياسات إلى أن الوقت المنقضي منذ الغمر يؤثر على نحو هام في تدفقات الميثان من الخزانات في المناطق الشمالية والمعتدلة. ويكون العكس هو الصحيح عندما يتعلق الأمر بالمناطق الاستوائية حيث قد يكون للوقت المنقضي منذ الغمر الأخير تأثير هام في كل من انبعاثات الميثان الانتشارية والفقاعية والانبعاثات الناشئة عن إزالة الغاز. وهذا الاتجاه تمت ملاحظته فقط في خزان Petit-Saut في غويانا الفرنسية (Abril et al., 2005)، ومع ذلك فإن بعض الخزانات القديمة في المنطقة الاستوائية ينتج عنها انبعاثات فقاعية مرتفعة (Duchemin et al., 1994; Stallard and Keller, 2000). وقد مكن النموذج الذي تم وضعه لخزان Petit-Saut من التنبؤ على نحو جيد للغاية بتركيزات الميثان الذاتية في أحد خزانات ساحل العاج (Galy-Lacaux et al., 1998).

وتشير الأدلة إلى أنه في المناطق المغمورة ينتج الميثان بصفة عامة حصرياً من أنواع التربة المغمورة، وأن إنتاج هذا الغاز يمكنه أن يدعم التدفقات المقاسة عند واجهة الماء-الهواء (Houel, 2003; Duchemin, 2000; Abril et al., 2005).

### 1-3 الأراضي المغمورة التي تظل أراضي مغمورة

يقدم هذا القسم معلومات حول كيفية تقدير انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة التي تظل أراضي مغمورة. وتجدر الإشارة إلى أن المعلومات الواردة هنا مستمدة من الدراسات المتاحة وتهدف إلى إفادة البلدان التي ترغب في وضع تقديرات أولية لانبعاثات الميثان من هذا المصدر. وينبغي على البلدان التي يحتمل أن تشهد مقداراً مؤثراً من انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة وترغب في الإبلاغ عن هذه الانبعاثات دراسة إمكانية وضع معاملات انبعاث خاصة بالبلد للحد من عدم التيقن العام. ويمكن الحصول على الإرشادات المعنية بوضع مثل هذه المعاملات من الإطار 1-2 في التذييل 2.

### 1-1-3 انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة التي تظل أراضي مغمورة

#### قضايا منهجية

قد تحدث انبعاثات الميثان اللاحقة للغمر عبر المسارات التالية:

- الانبعاثات الانتشارية، نتيجة الانتشار الجزيئي عبر واجهة الهواء-الماء؛
- الانبعاثات الفقاعية، أو الانبعاثات الغازية من الرواسب عبر عمود الماء عن طريق الفقاعات. ويعد هذا المسار هاماً للغاية بالنسبة لانبعاثات الميثان، وبالأخص في المناطق المعتدلة والاستوائية؛
- الانبعاثات الناشئة عن إزالة الغاز أو الناجمة عن التغيير المفاجئ في الضغط الهيدروستاتيكي، وكذلك عن سطح تبادل الهواء/الماء المتزايد بعد تدفق مياه الخزانات عبر محطة توربينية و/أو قناة تصريف (Hélie, 2004; Soumis et al., 2004; Delmas et al., 2005). ويعد هذا المسار ذا أهمية بالغة بالنسبة لانبعاثات الميثان من الخزانات صغيرة العمر في المناطق الاستوائية.

ويغطي مقترح المستوى 1 الانبعاثات الانتشارية فقط. فيما يتضمن المستوى 2 مكوناً لتقدير انبعاثات الميثان الفقاعية، كما يميز بين الفترات التي تكون فيها الخزانات خالية من الجليد والفترات التي تكون فيها مغطاة بالجليد، حال تطبيق ذلك. وتشير طرق المستوى 3 إلى أي مقترح مفصل قائم على القياسات يتضمن تقديراً لكافة تدفقات الميثان ذات الصلة من الأراضي المغمورة، وهو ما يتضمن كذلك الانبعاثات الناشئة عن إزالة الغاز، وبراغي العمق والموقع الجغرافي ودرجة حرارة المياه في الخزان طوال فترة حياته. وتجدر الإشارة إلى أن هذا الفصل لا يحاول تفصيل طرق المستوى 3، غير أنه ينبغي للبلدان الرجوع إلى الإطار 1-2 في التذييل 2 فيما يتصل باشتقاق معاملات الانبعاث الخاصة بالبلد كمورد لتطبيق مقترح من المستوى 3. ويلخص الجدول 1-3 تغطية المستويات الثلاثة ومسار انبعاث الميثان.

الجدول 1-أ3 موجز بالطرق وتغطية الانبعاثات	
الميثان	
الانبعاثات الانتشارية	المستوى 1
الانبعاثات الانتشارية الانبعاثات الفقاعية	المستوى 2
كافة الانبعاثات	المستوى 3

ويصف القسم التالي المستويين 1 و2 لتقدير انبعاثات الميثان.

### اختيار الطريقة

قد ينبعث الميثان من الأراضي المغمورة عبر تحرر الفقاعات عن طريق الانتشار أو إزالة الغاز. وترشد شجرة القرار في الشكل 1-أ3 القائمين بالحصر عبر عمليات اختيار مستوى مناسب لتقدير انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة. ويعتمد اختيار المستوى، وكذلك مستوى التجزيء المكاني والزمني الذي تستخدمه هيئات الحصر، على مدى توافر معاملات الانبعاث وبيانات الأنشطة، وكذلك على أهمية الخزانات كمصادر إسهام في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري على المستوى الوطني. وتُفضل البيانات والأدلة العملية الخاصة بالبلد على البيانات الافتراضية المستخدمة في المستوى 1.

### المستوى 1

تتضمن طريقة المستوى 1 لتقدير انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة فقط الانبعاثات الانتشارية خلال الفترة الخالية من الجليد. ويفترض هذا المستوى 1 أن الانبعاثات خلال الفترة التي تكون فيها الخزانات مغطاة بالجليد تساوي الصفر. ويمكن استخدام المعادلة 1-أ3 مع الانبعاثات المقاسة المقدمة في الجدول 1-أ3 وبيانات المساحة الإجمالية الخاصة بالبلد للأراضي المغمورة:

<p><b>المعادلة 1-أ3</b> <b>انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة (المستوى 1)</b></p> $CH_4 Emission_{WWflood} = P \cdot E(CH_4)_{diff} \cdot A_{flood\_total\_surface} \cdot 10^{-6}$
--

حيث:

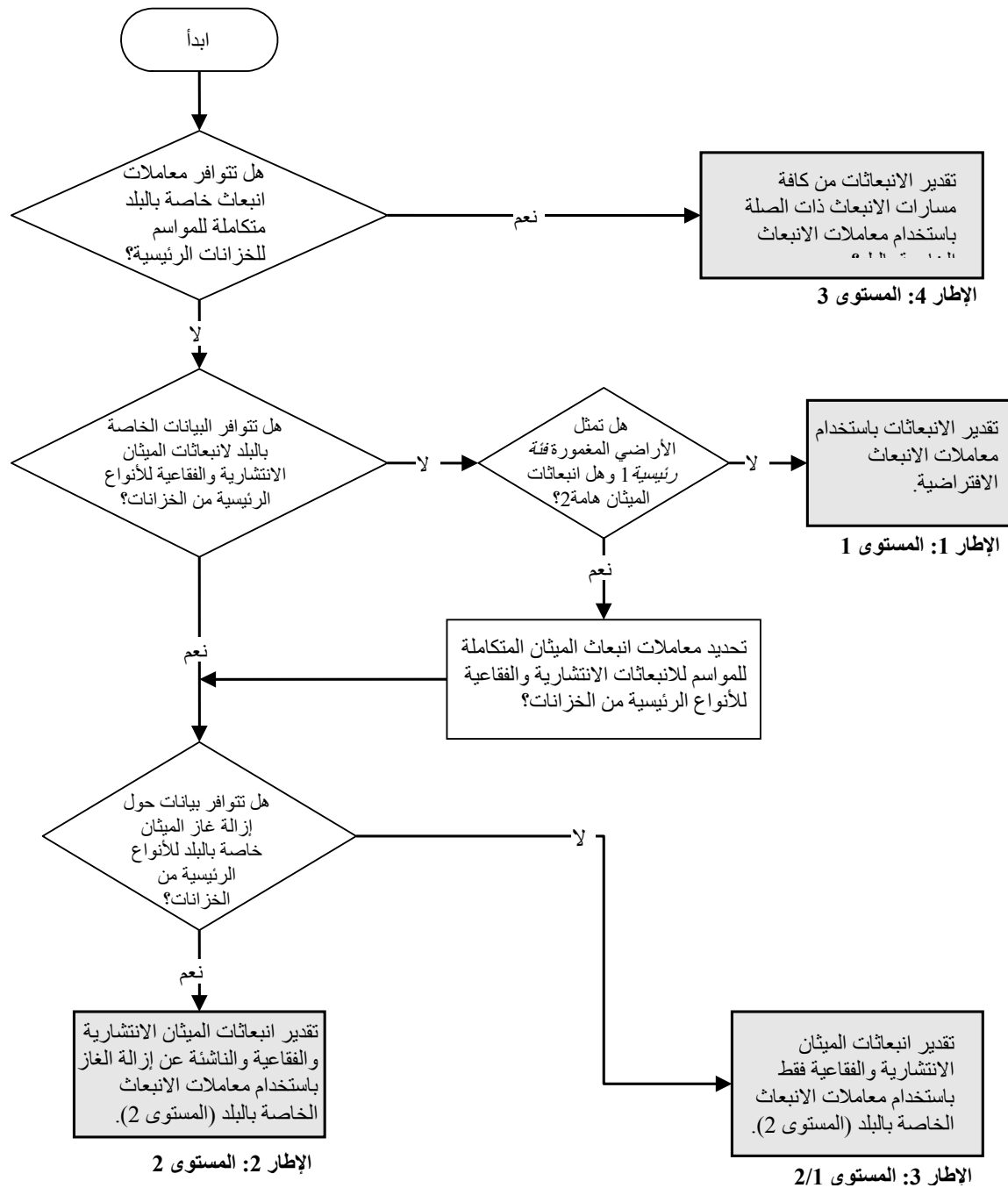
$CH_4 emissions_{WW flood}$  = انبعاثات الميثان الإجمالية من الأراضي المغمورة، جيجا جرام ميثان في العام

$P$  = الفترة الخالية من الجليد، أيام في العام (عادة 365 يوماً في تقديرات الحصر السنوية، أو أقل في البلدان التي تغطي بالجليد لفترة محددة)

$E(CH_4)_{diff}$  = متوسط الانبعاثات الانتشارية اليومية، كجم ميثان لكل هكتار في اليوم

$A_{flood, total surface}$  = المساحة الإجمالية المغمورة من سطح الخزان، بما في ذلك الأراضي المغمورة والبحيرات والأنهار، هكتار

## شجرة قرار لانبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة التي تظل أراضي مغمورة



ملاحظة:

1: راجع الفصل 4 من المجلد 1 "الاختيار المنهجي وتحديد الفئات الرئيسية" (مع ملاحظة القسم 4-12 حول المصادر المحدودة) للحصول على مناقشة حول الفئات الرئيسية واستخدام شجرات القرار.

2: كقاعدة عامة، تكون الفئة الفرعية هامة إذا كانت تسهم بنسبة 25-30% أو أكثر من الانبعاثات/عمليات الإزالة للفئة الكلية.

## المستوى 2

يتطلب مقرب المستوى 2 لتقدير انبعاثات الميثان معاملات انبعاث خاصة بالبلد لكل من الانبعاثات الانتشارية والفقاعية، وإذا كان مطبقاً، تراعي الاختلاف في معدلات الانبعاثات الانتشارية والفقاعية خلال الفترات الخالية من الجليد والفترات المغطاة به. وفي هذا المستوى، قد تُجزئ مساحة الأراضي المغمورة حسب المنطقة المناخية أو حسب أي من البارامترات ذات الصلة المدرجة في الإطار 1-أ2 في التذييل 2. وتصف المعادلة 2-أ3 هذا المقرب.

$$\text{المعادلة 2-أ3}$$

$$\text{انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة (المستوى 2)}$$

$$CH_4 \text{ Emissions}_{\text{WW flood}} = \left[ \begin{array}{l} (P_f \cdot E_f(CH_4)_{\text{diff}} \cdot A_{\text{flood, surface}}) + \\ (P_f \cdot E_f(CH_4)_{\text{bubble}} \cdot A_{\text{flood, surface}}) + \\ P_i \cdot (E_i(CH_4)_{\text{diff}} + E_i(CH_4)_{\text{bubble}}) \cdot A_{\text{flood, surface}} \end{array} \right]$$

حيث:

$CH_4 \text{ emissions}_{\text{WW flood}}$  = انبعاثات الميثان الإجمالية من الأراضي المغمورة لكل عام، جيجا جرام ميثان في العام

$P_f$  = الفترة الخالية من الجليد، أيام في العام

$P_i$  = الفترة المغطاة بالجليد، أيام في العام

$E_i(CH_4)_{\text{diff}}$  = متوسط الانبعاثات الانتشارية اليومية من واجهة الهواء- الماء أثناء الفترة الخالية من الجليد، كجم ميثان لكل هكتار في اليوم

$E_f(CH_4)_{\text{bubble}}$  = متوسط الانبعاثات الفقاعية اليومية من واجهة الهواء - الماء أثناء الفترة الخالية من الجليد، كجم ميثان لكل هكتار في اليوم

$E_i(CH_4)_{\text{diff}}$  = الانبعاثات الانتشارية المرتبطة بالفترة المغطاة بالجليد، كجم ميثان لكل هكتار في اليوم

$E_i(CH_4)_{\text{bubble}}$  = الانبعاثات الفقاعية المرتبطة بالفترة المغطاة بالجليد، كجم ميثان لكل هكتار في اليوم

$A_{\text{flood, surface}}$  = المساحة الإجمالية المغمورة من سطح الخزان، بما في ذلك الأراضي المغمورة والبحيرات والأنهار، هكتار

## اختيار معاملات الانبعاثات

## المستوى 1

تتمثل القيم الافتراضية الرئيسية المطلوبة للمستوى 1 في معاملات انبعاث الميثان عبر المسار الانتشاري. ويقدم الجدول 2-أ3 الانبعاثات المقاسة للمناطق المناخية المختلفة. وإلى الحد الممكن في ضوء الأبحاث المتاحة، تراعي هذه الانبعاثات المقاسة التباينات المكانية (بين الخزانات والتباينات الإقليمية) والزمنية (جافة/مطيرة والتباينات الموسمية الأخرى، التباينات بين السنوات) المعروفة في الانبعاثات من الخزانات. وينبغي استخدام معاملات الانبعاث الافتراضية في المستوى 1 مع الفترة الخالية من الجليد فقط. ويفترض المستوى 1 أن انبعاثات الميثان خلال الفترة التي تكون فيها الخزانات مغطاة بالجليد تساوي الصفر. وفي حالة عدم توافر البيانات الافتراضية، ينبغي على البلدان استخدام قيمة معاملات الانبعاث الافتراضية الأقرب (انبعاثات المنطقة المناخية الأكثر تشابهاً بالمنطقة المعنية).

## المستوى 2

في هذا المستوى ينبغي استخدام معاملات الانبعاث الخاصة بالبلد بدلاً من المعاملات الافتراضية إلى الحد الممكن. كما يلزم توافر تقديرات إضافية للانبعاثات في فترة الشتاء والانبعاثات الفقاعية، وهو ما يتطلب وضع معاملات انبعاث خاصة بالبلد. ويُتوقع في هذا المستوى استخدام مزيج من القيم الافتراضية ومعاملات الانبعاث الخاصة بالبلد، وذلك إذا كانت المعاملات الخاصة بالبلد لا تغطي النطاق الكامل للظروف البيئية والإدارية. وقد سبق تقديم مناقشة فيما يتصل بوضع معاملات الانبعاث الخاصة بالبلد في الإطار 1-أ2 في التذييل 2. وينبغي توثيق اشتقاق المعاملات الخاصة بالبلد على نحو واضح، ونشرها في دراسات يتم مراجعتها من قبل النظراء.

## اختيار بيانات الأنشطة

قد يلزم توافر أنواع مختلفة عديدة من بيانات الأنشطة لتقدير الانبعاثات من الأراضي المغمورة، استناداً إلى المستوى الذي يجري تطبيقه والمصادر المعروفة للتغيرية المكانية والزمنية داخل المنطقة الوطنية. وتتطابق أنواع بيانات الأنشطة هذه مع البيانات المطلوبة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون والموضحة في القسم 2-3-7.

## مساحة الأراضي المغمورة

يلزم توافر بيانات البلد حول مساحة الأراضي المغمورة لكافة المستويات لتقدير الانبعاثات الانتشارية والفقاعية. ويمكن للبلدان الحصول على مساحة الأراضي المغمورة من تحليل غطاء حوض التصريف بها، أو من إحدى قواعد البيانات الوطنية الخاصة بالسود، أو من اللجنة الدولية المعنية بالسود الكبرى (ICOLD, 1998)، أو من تقرير اللجنة العالمية المعنية بالسود (WCD, 2000). ونظراً لأن المساحة المغمورة تتغير بسرعة، فإن على البلدان استخدام البيانات المحدثة والحديثة. ويُفضل لمقتربات المستويين 2 و3 أن تعتمد على قاعدة بيانات وطنية لتعقب مساحة سطح الخزانات. وينبغي أن تشمل هذه القاعدة إضافة لذلك البارامترات الأخرى مثل عمق الخزان، وعم الغمر وموقع الخزان (راجع الإطار 1-أ2 في التذييل 2).

### الفترة الخالية من الجليد/الفترة المغطاة بالجليد

يحتاج المستويان 2 و 3 إلى بيانات الفترات التي تكون فيها الخزانات خالية من الجليد أو مغطاة تماماً بالجليد من أجل تقدير انبعاثات الميثان. ويمكن الحصول على هذه المعلومات من الهيئات الوطنية المعنية بالأحوال الجوية.

### حجم التدفق الخارج/الفائض المصرف

يحتاج المستوى 3 إلى حجم التدفق الخارج للمياه وكذلك حجم المياه الفائضة المصرفة عبر القنوات من أجل تقدير انبعاثات الميثان من مسار إزالة الغاز.

### تركيزات الميثان قبل السدود وبعدها

يتطلب المستوى 3 بيانات حول تركيزات الميثان قبل السدود وبعدها من أجل تقدير الانبعاثات من إزالة الغاز. ويمكن الحصول على المعلومات الخاصة بكيفية قياس هذه البيانات من المراجع الواردة في الإطار 2-1 في التذييل 2.

الجدول 2-13 انبعاثات الميثان المقاسة للأراضي المغمورة						
المراجع	الانبعاثات الانتشارية (الفترة الخالية من الجليد) $E_{\text{diff}}(\text{CH}_4)$ (كجم ميثان لكل هكتار في اليوم)					المناخ
	$N_{\text{res}}$	$mN$	حد أقصى	حد أدنى	متوسط	
Blais 2005; Tremblay <i>et al.</i> 2005; Therrien, 2004; Therrien, 2005; Huttunen <i>et al.</i> , 2002; Lambert, 2002; Duchemin, 2000	13	253	0.3	0.011	0.086	قطبية / شمالية، مطيرة
Tremblay <i>et al.</i> , 2005; Therrien, 2004; Blais, 2005; Lambert, 2002; Duchemin <i>et al.</i> , 1999	10	233	0.2	0.001	0.061	معتدلة باردة، رطبة
Tremblay <i>et al.</i> , 2005; Soumis <i>et al.</i> , 2004; Duchemin, 2000; Smith and Lewis, 1992	16	416	1.1	0.05 -	0.150	معتدلة دافئة، رطبة
Therrien <i>et al.</i> , 2005; Therrien, 2004; Soumis <i>et al.</i> , 2004	5	135	0.09	0.032	0.044	معتدلة دافئة، جافة
Tavares de lima, 2005; Abril <i>et al.</i> , 2005; Therrien, 2004; Rosa <i>et al.</i> , 2002; Tavares de lima <i>et al.</i> , 2002; Duchemin <i>et al.</i> , 2000; Galy-Lacaux <i>et al.</i> , 1997; Galy-Lacaux, 1996; Keller and Stallard, 1994	6	303	1.3	0.067	0.630	استوائية، مطيرة
Rosa <i>et al.</i> , 2002; Dos Santos, 2000	5	230	1.1	0.070	0.295	استوائية، جافة
تمثل القيم الواردة في العمود الثاني قيم متوسطة لانبعاثات الميثان التي تم الإبلاغ عنها في المؤلفات المنشورة، والتي تمثل نفسها متوسطات حسابية للتدفق المقاس لخزانات فردية. وتستخدم المتوسطات نظراً لأن توزيعات التكرار لقياسات التدفق الأساسية غير طبيعية، وتعاني متوسطاتها الحسابية بالفعل من الانحراف بقيم متطرفة. تعتبر القيم الدنيا والقصى، على التوالي، الأقل والأعلى بين كافة القياسات الفردية في منطقة مناخية معينة، وهي مقدمة هنا كدليل على التخيرية فقط. $N_m =$ عدد القياسات، $N_{\text{res}} =$ عدد الخزانات التي خضعت للمعاينة. قد تشمل هذه القياسات انبعاثات غير بشرية (مثل، الانبعاثات من الكربون في الحوض أعلى النهر) واحتمال بالازدواج في حساب الانبعاثات البشرية (على سبيل المثال مياه الصرف من المناطق الحضرية في منطقة الخزان) ولذا فقد تؤدي إلى التقدير المرتفع للانبعاثات.						

## تقدير عدم التيقن

هناك مصدران أساسيان لعدم التيقن في تقدير انبعاثات الميثان من الأراضي المغمورة، هما جودة معاملات الانبعاث الخاصة بالمسارات المتعددة (الانتشارية والفقاعية والناشئة من إزالة الغاز)، وتقديرات مساحات الأراضي المغمورة.

## معاملات الانبعاثات

كما هو موضح في الجدول 2-3، تتباين متوسطات انبعاثات الميثان الانتشارية برتبة كمية واحدة في المناطق الشمالية والمعتدلة، وبرتبة واحدة إلى ثلاثة في المناطق الاستوائية. ويلاحظ وجود نفس التغييرية في الانبعاثات الفقاعية في كافة المناطق (حوالي رتبة كمية واحدة). ولذا، فإن استخدام أي معامل انبعاث افتراضي من شأنه أن يؤدي إلى مستوى مرتفع من عدم التيقن.

وتعتبر انبعاثات الميثان من إزالة الغاز مصدراً هاماً لعدم التيقن. وتعد الانبعاثات الناشئة عن إزالة الغاز مكوناً هاماً من انبعاثات غاز الاحتباس الحراري من المناطق الاستوائية المغمورة (Galy-lacaux et al., 1997)، وتسهم بما يزيد عن 40% من الانبعاثات الإجمالية لغاز الاحتباس الحراري من خزان يبلغ عمره تسع سنوات (Delmas et al., 2005). ورغم ذلك، فإن الانبعاثات الناشئة من إزالة الغاز تعتبر بالنسبة للكثير من الخزانات صغيرة أو ضئيلة للغاية (Duchemin, 2000; Soumis et al., 2004). ولذا، فإلى أن تتوفر معلومات جديدة حول ديناميكيات انبعاثات الميثان من إزالة الغاز، ينبغي إجراء التقدير على أساس الحالة الفردية.

وللحد من أوجه عدم التيقن في معاملات الانبعاث، ينبغي على البلد وضع استراتيجيات معاينة مناسبة وصالحة إحصائياً تراعي العوامل المؤثرة بشكل أساسي في التغييرية الزمنية والمكانية للنظام الحيوي موضع الدراسة (راجع الإطار 2-1 في التذييل 2). وقد يمثل الفصل بين الفترات الخالية من الجليد والفترات المغطاة بالجليد، حال تطبيقه، إجراءً هاماً لتحسين الدقة (Duchemin et al., 2005). وينبغي أن تشمل استراتيجيات المعاينة هذه على محطات معاينة كافية لكل خزان وعلى عدد كاف من الخزانات وفترات المعاينة. وينبغي تحديد عدد محطات المعاينة باستخدام مقترح إحصائي متعارف عليه. إضافة لذلك، فإن على البلدان مراعاة المعاملات المضمنة في الإطار 2-1 في التذييل 2.

## مساحة سطح الأراضي المغمورة

ينبغي توفير المعلومات حول المساحة المغمورة الموجودة خلف السدود الكبرى (< 100 كم مربع) ويحتمل أن تكون صحيحة ضمن نطاق 10 بالمائة وبالأخص في البلدان التي توجد بها سدود كبرى وخزانات كهرومائية. وفيما يتعلق بالبلدان التي يوجد بها الكثير من الأراضي المغمورة وفي الحالات التي لا تتوفر فيها قواعد البيانات الوطنية، فإنه يرجح أن تكون المساحة المغمورة الموجودة خلف السدود ذات نطاق عدم تيقن يزيد عن 50%. كذلك، قد يصعب الحصول على معلومات مفصلة فيما يتعلق بمواقع وأنواع ووظائف السدود الأصغر، رغم أنه قد يكون الاستنتاج الإحصائي ممكناً استناداً إلى توزيع الحجم للخزانات التي تتوفر لها البيانات. وتجدر الإشارة إلى أنه يتم إنشاء الخزانات لمجموعة متنوعة من الأسباب تؤثر على توفر البيانات وبالتالي يكون عدم التيقن فيما يتعلق بمساحة السطح متوقفاً على الظروف الخاصة بالبلد.

## 2-3-2 الأراضي المحولة إلى أراض مغمورة

في وجود المعرفة الفعلية، بالنسبة للأراضي المحولة إلى أراض مغمورة، يوصى باستخدام الانبعاثات المقاسة في الجدول 2-3. وينبغي على القائمين بالحصص استخدام طرق المستوى 1 و2 و3 الموضحة في القسم 1-3 لتقدير انبعاثات الميثان من الأراضي المحولة إلى أراض مغمورة.

## المراجع

- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A. 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*, 19, doi:10292005GB002457.
- Blais, A.-M. (2005). Étude des gaz à effet de serre en milieux aquatiques Relevés de terrain 2005. Rapport d'Environnement Illimité à Hydro-Québec Production. 30 p. and annexes.
- 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 CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> 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 CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> 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.
- 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.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Kouadio, G., Richard, S. and Gosse, P. (1998). Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions, *Global Biogeochemical Cycles*, 13, 2, 503-517.
- 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., 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 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O 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.
- Lambert, M. (2002). Campagne d'échantillonnage sur les émissions de gaz à effet de serre des réservoirs et des lacs environnants - Rapport de terrain 2001. Rapport présenté à la Direction Barrage et environnement par la Direction Environnement, Hydro-Québec, 108 p and appendix.
- Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., and 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 gases de efeito de estufa, Ministério da Ciência e tecnologia, Brazil, 199p.
- 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., 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.
- 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 hidrelétrico amazônico 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. (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). CO<sub>2</sub> 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.