

## Mesures des gaz à effet de serre en milieu aquatique

Les milieux naturels, tels les lacs, rivières, forêts et tourbières émettent des gaz à effet de serre (GES). Lors de la mise en eau d'un réservoir hydroélectrique, on observe en général une augmentation rapide des émissions brutes de gaz créés principalement par la dégradation de la matière organique inondée par les bactéries. Le projet consiste à évaluer les émissions nettes de GES du réservoir Eastmain-1 comparativement aux milieux naturels environnants et à suivre leur évolution dans le temps. Les principaux GES mesurés sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>).

Il est possible d'évaluer les émissions de GES d'un plan d'eau en mesurant soit:

- les **concentrations** de gaz dissous dans l'eau ou
- les **flux** des gaz entre l'atmosphère et l'eau du réservoir.

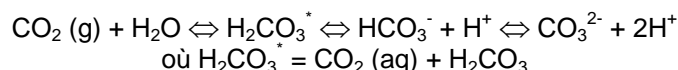
### Comment mesurer la concentration de gaz (CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>) dans la colonne d'eau ?

Il existe trois principales techniques de mesures de la concentration de gaz dissous dans l'eau, i.e. de la quantité de gaz par unité de volume d'eau :

#### 1. Méthode chimique à partir du pH, de l'alcalinité et de la température

Le système du carbone inorganique est constitué de 4 espèces dissoutes : le CO<sub>2</sub> dissous (CO<sub>2</sub> (aq)), l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), le bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et le carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). La concentration de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> est minime (~1/390<sup>ème</sup>) par rapport à celle du CO<sub>2</sub> (aq) et, par convention, leur somme est appelée "CO<sub>2</sub> libre" et symbolisée par H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><sup>\*</sup>.

On peut résumer les trois réactions impliquant les carbonates comme suit :



Le CO<sub>2</sub> gazeux se dissout facilement dans l'eau pour former du CO<sub>2</sub> aqueux. Le CO<sub>2</sub> aqueux réagit avec l'eau (hydrolyse) pour ensuite former de l'acide carbonique. L'acide carbonique est un acide faible qui se dissocie en bicarbonate, qui est à son tour dissocié en carbonate. La proportion relative de chacune des espèces carbonatées est déterminée uniquement par le pH du milieu.

La constante d'équilibre (K) de chacune de ces trois réactions peut être estimée car elle représente le quotient de la concentration des produits sur la concentration des réactifs des réactions respectives. On doit également connaître la température de l'échantillon car la constante d'équilibre varie légèrement en fonction de cette dernière.

Grâce à une courbe de titration, on peut mesurer l'alcalinité de l'eau, i.e. sa capacité à neutraliser les ions H<sup>+</sup> puis, en déduire la concentration totale de carbone inorganique.

En fonction du pH, de la température et de la concentration totale de carbone inorganique, en réorganisant les termes de l'équation, on peut calculer la proportion relative des 3 espèces de carbone ainsi que leur concentration dans un échantillon d'eau.

#### 2. Chromatographie en phase gazeuse (CPG)

Un échantillon d'eau est récolté sur le terrain. Au laboratoire, le gaz dissous dans l'eau est transféré, par brassage mécanique, dans un volume d'air connu. Cet air est ensuite analysé à l'aide d'un chromatographe afin de séparer et quantifier les différents composants de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>). Pour ce faire, l'échantillon d'air est d'abord vaporisé dans une chambre chauffée. Une fois rendus volatils, les différents composés sont véhiculés par le gaz porteur à travers une colonne qui renferme une substance solide appelée phase stationnaire. Chacun des constituants de l'échantillon vont se séparer et sortir de la colonne les uns après les autres en fonction de l'affinité de la phase stationnaire avec ces molécules.

La nature des composants est déterminée par le temps au bout duquel apparaît le pic (temps de rétention) alors que la concentration est représentée par la surface du pic (air sous la courbe).

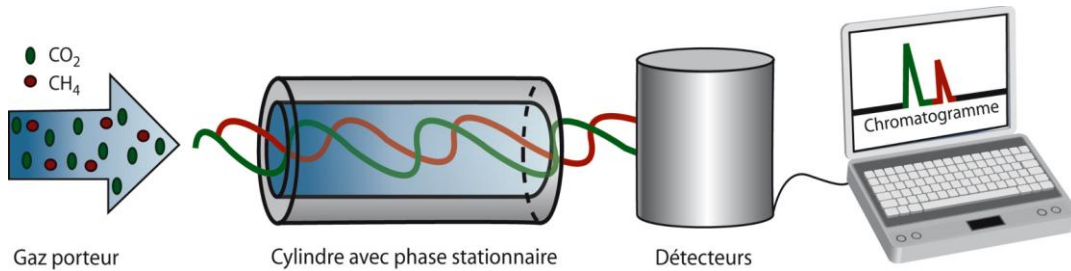


Figure 1: Schéma d'un appareil de chromatographie en phase gazeuse.

### 3. Analyseur de gaz à infrarouge EGM

Un dégazeur (Liqui-Cel® MiniModule) est utilisé pour extraire le CO<sub>2</sub> de l'eau. L'eau circule dans une chambre remplie de capillaires dont les parois sont faites d'une membrane hydrophobe laissant passer le gaz mais pas l'eau. Un vide est créé permettant au CO<sub>2</sub> de quitter la phase liquide pour prendre la phase gazeuse.

Les concentrations de CO<sub>2</sub> sont ensuite mesurées de façon instantanée et précise par un analyseur à infrarouge EGM-4 (environmental gas monitor for CO<sub>2</sub>, PPSystems). Les gaz formés de molécules à deux atomes, tels que le CO<sub>2</sub>, absorbent fortement les photons dans le spectre infrarouge. La quantité de photons de cette longueur d'onde mesurée par l'EGM est donc inversement proportionnelle à la quantité de CO<sub>2</sub>.

En plus de données statiques (à un endroit précis), il est possible d'obtenir des données géo-référencées enregistrées en continue permettant de cartographier les concentrations de CO<sub>2</sub> pour un milieu entier.

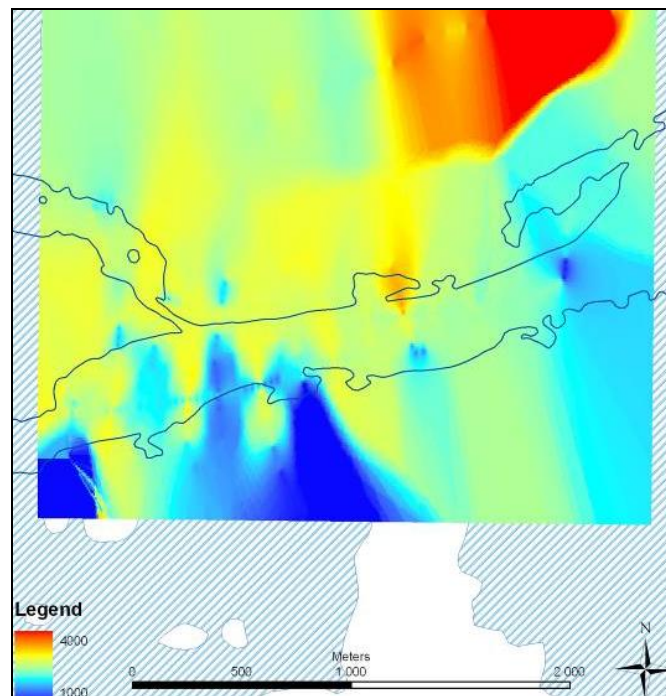


Figure 2: Exemple d'un carte géo-référencée des concentrations de CO<sub>2</sub> pour une portion du réservoir Eastmain-1.

## Comment calculer les échanges de gaz avec l'atmosphère (flux) ?

La théorie des échanges gazeux formule qu'ils sont régis par deux phénomènes : la différence de pression partielle entre l'eau et l'atmosphère et le coefficient  $k$  qui est la vitesse des échanges gazeux. Plusieurs facteurs peuvent influencer  $k$  tels que : la vitesse du vent, les vagues, la température, la pluie ou la présence de surfactant. Il existe quatre méthodes pour mesurer les échanges de gaz à effet de serre entre le milieu aquatique et l'atmosphère.

### 1. Calcul à partir de la concentration de $\text{CO}_2$ mesurée dans l'eau

Les échanges gazeux par diffusion entre l'eau et l'atmosphère peuvent être modélisés selon la première loi de Fick, où le flux d'échange est proportionnel au gradient de concentrations (pressions partielles) à une interface. Premièrement, le flux est dirigé dans le sens du gradient de pression partielle du gaz, de la plus grande pression partielle vers la plus faible. Ensuite, la vitesse de l'échange est décrite par le coefficient d'échange gazeux,  $k$  par la relation suivante :

$$F = k \cdot Kh (p\text{CO}_2_{\text{eau}} - p\text{CO}_2_{\text{air}})$$

Le flux ( $F$ ) d'un gaz donné représente la quantité de gaz émise par unité de surface et par unité de temps. La constante de Henry ( $Kh$ ) permet de convertir la pression partielle du gaz ( $p\text{CO}_2$ ) en concentration en fonction de la température et de la salinité de l'eau. Le coefficient  $k$  représente la vitesse d'échange gazeux qui est influencée par les conditions météorologiques ainsi que les conditions biologiques et physicochimiques de l'eau.

### 2. Traceur gazeux inerte (hexafluorure de soufre, $\text{SF}_6$ )

Cette méthode utilise la mesure d'évasion d'un traceur gazeux biologiquement inactif tel que le  $\text{SF}_6$ . Ainsi, il suffit de suivre, dans le temps, une quantité connue de gaz ( $\text{SF}_6$ ) ajoutée au système pour ensuite calculer, par bilan de masse, le taux d'évasion du gaz. Cette méthode permet d'obtenir des données de vitesse de transfert gazeux sur une échelle de temps d'une journée à quelques semaines, dépendamment de l'épaisseur de la couche d'eau qui est mélangée et du taux de transfert des gaz, et sur une échelle spatiale allant d'un petit plan d'eau à un très grand (environ 450 km<sup>2</sup>).

### 3. Technique de covariance des turbulences

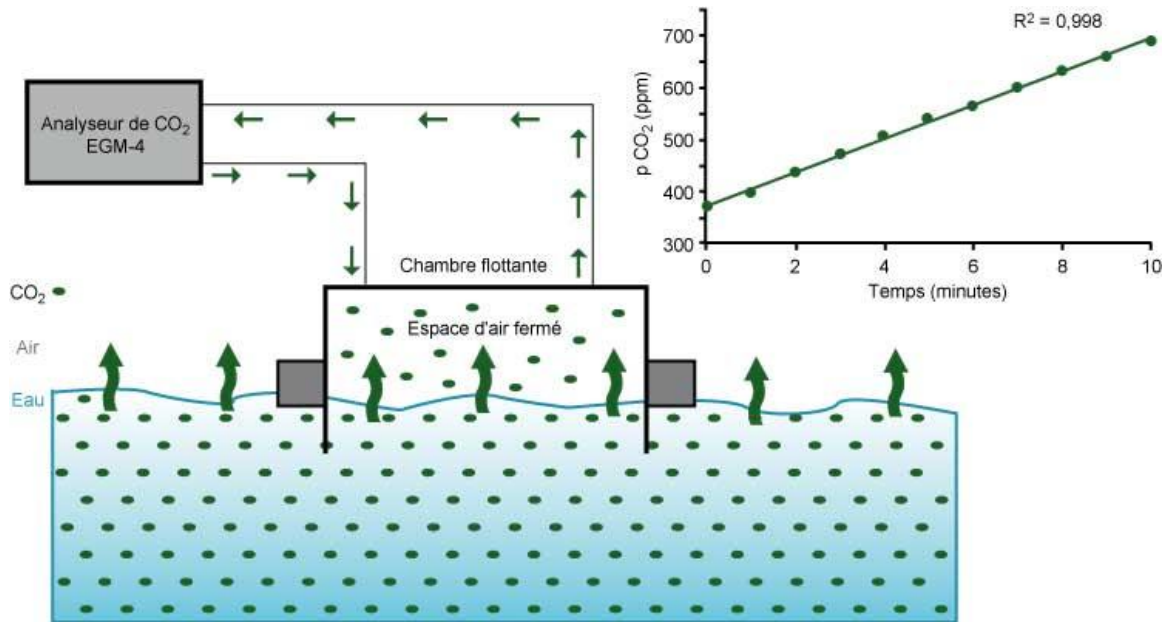
Cette méthode utilise des instruments complexes, installés au sommet d'une tour, qui permettent de mesurer précisément et en continu la pression partielle de  $\text{CO}_2$  dans l'air (analyseur de gaz à infrarouge IRGA) en même temps que la turbulence en trois dimensions (anémomètre sonique tridimensionnel). Le principe est simple : lorsque les vecteurs de vitesse de vent allant vers le haut (de l'eau vers le ciel) sont couplés avec une concentration plus élevée en  $\text{CO}_2$  que celle couplée avec les vecteurs de vent qui descendent (ciel vers l'eau), on peut en déduire que le milieu aquatique agit comme une source de  $\text{CO}_2$  et calculer le flux ascendant de gaz mesuré par le signal. La quantité de  $\text{CO}_2$  émise par la surface observée résulte donc de la covariance entre la vitesse verticale du vent et la concentration des gaz. Cette méthode a pour avantage de permettre de couvrir un large territoire avec une échelle temporelle relativement courte (1/2 heure).



**Figure 3:** Photo de la tour de covariance des turbulences située sur une île du réservoir Eastmain-1.

#### 4. Chambre flottante

La chambre flottante, est une méthode économique et demandant peu d'effort logistique (facilement transportable), qui permet de faire des mesures de flux ponctuelles et localisées. Cette méthode mesure le taux d'accumulation du gaz dans un compartiment fermé (chambre) flottant à la surface de l'eau et relié à un analyseur de gaz à infrarouge EGM-4 au cours d'un laps de temps donné. Généralement, le déploiement de la chambre sur la surface du plan d'eau pendant dix minutes est suffisant pour obtenir un taux d'accumulation avec un coefficient de détermination ( $R^2$ ) souvent supérieur à 0,95.



**Figure 4:** Schématisation de la méthode de la chambre flottante avec un exemple de régression typique de l'accumulation de la pCO<sub>2</sub> dans la chambre en fonction du temps.

Chacune des méthodes de mesure des émissions de gaz à effet de serre du réservoir Eastmain-1 décrites ci-haut comporte ses avantages et ses limites. Un des objectifs de l'équipe aquatique dans ce projet est de comparer les résultats obtenus grâce à ces diverses techniques. L'étape finale consistera à développer des modèles empiriques, à partir de l'intégration de ces résultats, sur lesquels seront basés des extrapolations pour l'ensemble du réservoir Eastmain-1.

**Annick St-Pierre**  
st-pierre.annick@uqam.ca

