

## Technique de covariance des turbulences : traitement de données, exemples de résultats et applications

### Bref rappel sur l'utilisation de la covariance des turbulences dans le cadre du projet EM-1 sur les gaz à effet de serre

En août 2006, deux systèmes de covariance des turbulences (eddy covariance) ont été installés dans un écosystème pré-inondation dominant (forêt d'épinettes noires) et dans l'environnement post-inondation (réservoir) dans la région d'EM-1. Un troisième système a été installé en juin 2008 dans une tourbière, laquelle représente le deuxième écosystème terrestre dominant du territoire inondé. La technique de covariance des turbulences fait appel à des instruments spécialisés pour mesurer les échanges nets de CO<sub>2</sub>, de vapeur d'eau et d'énergie émis ou absorbés par un écosystème donné. Cette technique micro météorologique a pour principal avantage l'acquisition de façon continue des mesures à très haute fréquence et de représenter les échanges moyens au-dessus d'une grande surface exposée au vent. En ce qui concerne le CO<sub>2</sub>, le bilan des échanges entre la surface et l'atmosphère exprime l'échange net de l'écosystème (ENE). Un ENE positif représente une émission nette dans l'atmosphère tandis qu'un ENE négatif représente une absorption nette de CO<sub>2</sub> par l'écosystème.

### Traitement des données du système de covariance des turbulences

La technique de covariance des turbulences mesure les concentrations de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau, à l'aide d'un analyseur de gaz à infrarouge (IRGA), et la vitesse du vent dans trois directions, à l'aide d'un anémomètre sonique tridimensionnel. Comme les données produites par ces appareils sont enregistrées à 10 Hz (soit 10 fois par seconde), la quantité de données recueillies sur la durée totale du projet peut être phénoménale. Le traitement des données obtenues par le système de covariance des turbulences est plutôt complexe et exige une programmation importante à l'aide d'un logiciel spécialisé avant que les données de flux puissent être utilisées de manière significative. Les deux principales étapes du traitement des données de covariance des turbulences sont le contrôle de la qualité des données et le traitement des données manquantes.

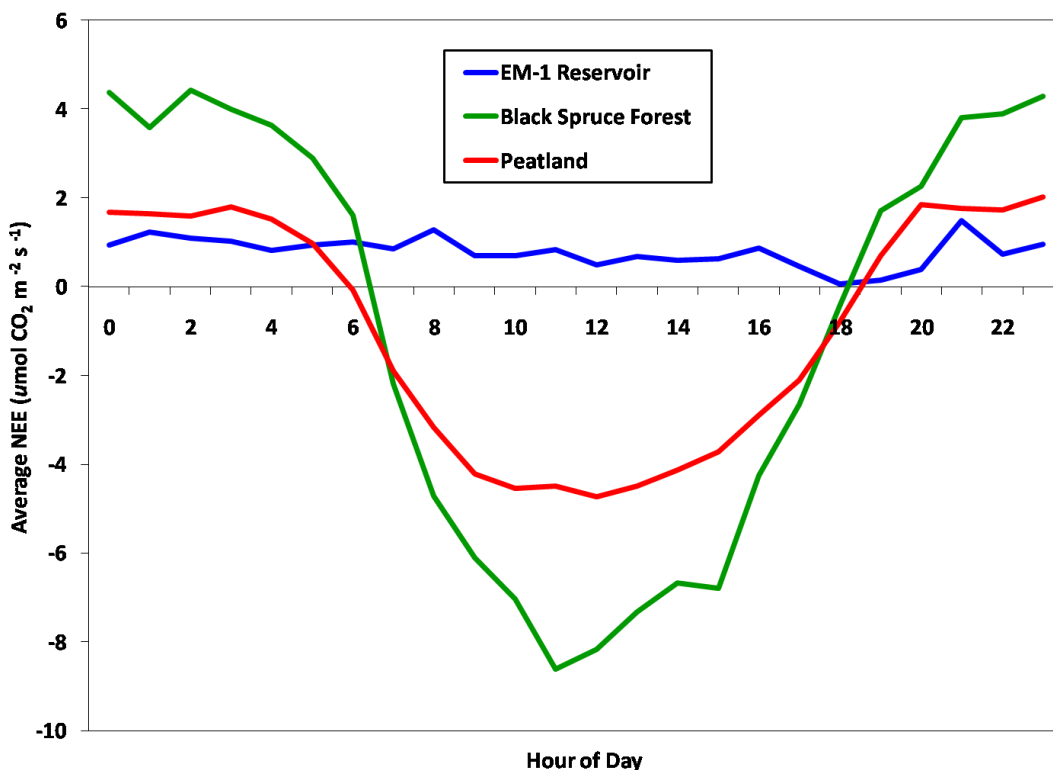
Dans le cadre du contrôle de la qualité des données, des critères préétablis conformes aux protocoles internationaux reconnus sont utilisés pour aider à déterminer la fiabilité des données enregistrées. Les données sont d'abord triées en utilisant le signal diagnostique intégré de l'analyseur de gaz à infrarouge qui indique les périodes pendant lesquelles le trajet optique a été partiellement ou complètement obstrué – ce qui correspond souvent à des épisodes de pluie ou de neige. En outre, lorsque le système indique une absorption (habituellement faible) physiquement improbable de CO<sub>2</sub> pendant la nuit ou pendant l'hiver, les données recueillies sont rejetées. Fondamentalement, la technique de covariance des turbulences fonctionne en présence de turbulences. Pendant les nuits calmes, les conditions atmosphériques peuvent être trop stables pour permettre la cueillette de données fiables. On utilise alors une valeur seuil de la vitesse de frottement – une mesure du degré de turbulence du flux d'air pour identifier ces conditions. Finalement, les valeurs extrêmes instantanées de l'échange net de l'écosystème (ENE) (causées par le bruit de l'instrument) sont éliminées sur la base des moyennes mensuelles et des écarts types des flux de CO<sub>2</sub>. Les données de flux du réservoir subissent une opération additionnelle qui consiste à retirer les données prises lorsque le vent vient du côté de l'île afin de ne retenir que les flux de la surface du réservoir elle-même.

Plusieurs raisons peuvent expliquer les discontinuités dans les séries chronologiques de données de covariance des turbulences (p.ex. une vérification de la qualité, d'une panne d'électricité, l'entretien et la réparation des instruments, etc.). Elles sont habituellement divisées en discontinuités de courte et de longue durée. Les discontinuités de données de moins de quatre demi-heures sont comblées par interpolation linéaire. Dans le cas des écosystèmes terrestres, les discontinuités plus longues sont comblées à l'aide de modèles empiriques spécifiques pour le jour et pour la nuit en fonction des processus physiologiques diurnes et nocturnes dominants. L'ENE est composé des activités biologiques résultant de la respiration de l'écosystème (ER) et de la productivité brute de l'écosystème (GEP). Comme la température est le facteur qui exerce le plus d'influence sur la respiration, on utilise une relation exponentielle entre l'ENE nocturne et la température au sol pour combler les discontinuités dans les données prises la nuit et pendant l'hiver, c.-à-d. quand la productivité brute de l'écosystème est présumée nulle, de sorte que la seule composante du flux est la respiration de l'écosystème. Il s'agit d'une relation dérivée des données recueillies par des nuits venteuses, qui est aussi utilisée pour modéliser la respiration diurne de l'écosystème. Le jour pendant la période de croissance, l'absorption photosynthétique du CO<sub>2</sub> est le facteur dominant et elle est en grande partie dépendante de la lumière (rayonnement photosynthétiquement

actif ou RPA). Pour combler les discontinuités dans l'ENE diurne, on utilise une relation hyperbolique GEP c. RPA. Les discontinuités restantes sont comblées en soustrayant la productivité brute de la respiration de l'écosystème. Dans le cas des discontinuités dans les flux de CO<sub>2</sub> du réservoir, la procédure utilisée est plus complexe, car la source et les processus qui causent les émissions de CO<sub>2</sub> sont spatialement déconnectés de la surface de l'eau et des processus de transport dans l'atmosphère. Des travaux préliminaires suggèrent que les relations entre les flux de CO<sub>2</sub> et la vitesse du vent, et peut-être la température de l'eau ou la concentration de la matière organique dissoute ou les deux, pourraient nous aider à estimer les flux du réservoir pour toute période où les données sont manquantes.

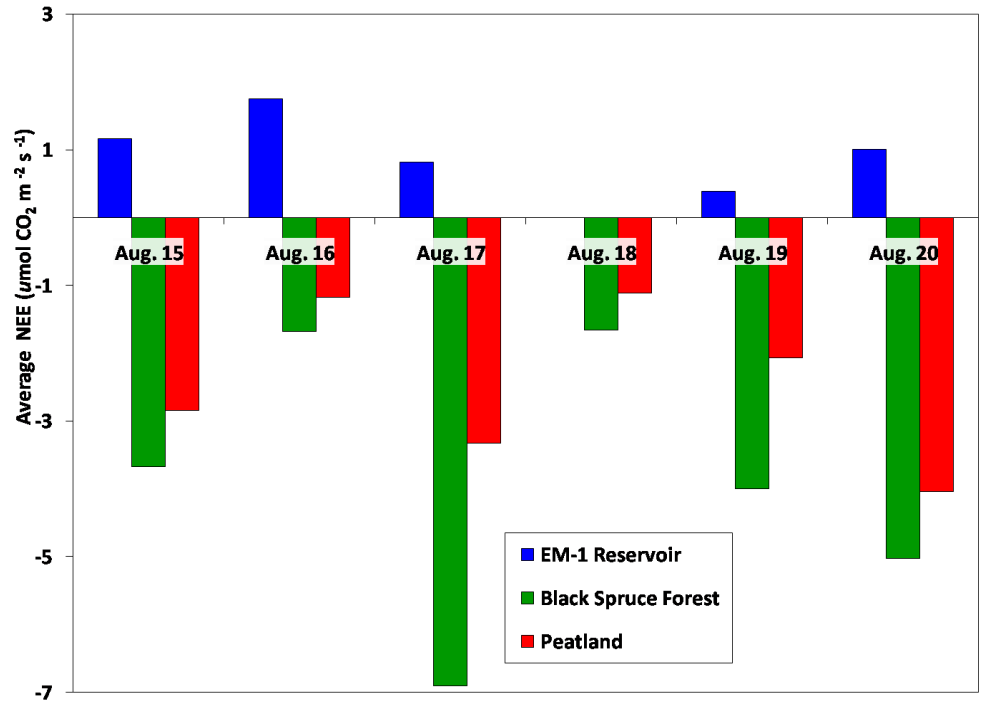
### Exemples de résultats obtenus en utilisant la covariance des turbulences

L'un des principaux avantages de la technique de covariance des turbulences est qu'elle permet aux scientifiques d'étudier les flux de CO<sub>2</sub> sur différentes échelles de temps, allant de quelques minutes à quelques années. Par exemple, ils peuvent facilement observer les tendances d'absorption et d'émission de CO<sub>2</sub> pendant toute une journée. La Figure 1 montre un exemple du flux diurne net moyen de CO<sub>2</sub> en août 2008 dans les trois principaux sites de la région de EM-1 (soit le réservoir, la forêt et la tourbière). Fait intéressant à noter, le réservoir est une source nette, peu importante mais constante, de CO<sub>2</sub> tout au long de la journée, ce qui était attendu puisqu'il n'y a pas de végétation pour absorber le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Par comparaison, la forêt et la tourbière affichent une absorption diurne nette de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère en raison de la photosynthèse des plantes, qui convertit le CO<sub>2</sub> atmosphérique en biomasse végétale. Autre fait intéressant, l'absorption diurne et l'émission nocturne de CO<sub>2</sub> de la forêt sont plus importantes que celles de la tourbière, la végétation forestière étant plus productive que celle des tourbières, principalement colonisées par les mousses. La Figure 2 illustre une autre façon de présenter les résultats de la technique de covariance des turbulences. Dans ce cas-ci, la moyenne des flux quotidiens nets de CO<sub>2</sub> (24 heures) pendant six jours consécutifs en août 2008 (du 15 au 20 août) indiquent que la forêt était un plus grand puits de CO<sub>2</sub> net que la tourbière et que le réservoir était une source net de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. En utilisant ce type d'analyse, nous pouvons examiner la direction et la magnitude de l'ENE de chacun des sites et pendant différents laps de temps. Si on utilise les données recueillies sur de plus longues périodes, comme une année entière, il est possible de déterminer la période de l'année où un écosystème terrestre, comme une forêt, cesse d'être une source nette de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (pendant l'automne et l'hiver, lorsque les jours courts et les températures peu élevées sont peu propices à la photosynthèse) pour devenir un puits de CO<sub>2</sub> (pendant toute la saison de croissance, quand la photosynthèse est supérieure à la respiration). Ce changement survient à des dates différentes d'une année à l'autre et d'un écosystème à l'autre en fonction des propriétés climatiques et biophysiques de chaque écosystème. C'est la raison pour laquelle les mesures en continu de la technique de covariance des turbulences sont une partie essentielle et originale de ce type d'analyse.



**Figure 1 :** Tendances diurnes de l'ENE des trois sites de la région EM-1 en août 2008. Les ENE négatifs indiquent une absorption nette de CO<sub>2</sub> par les écosystèmes et les ENE positifs, une émission nette de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Ce graphique a été créé avec des données préliminaires dont la qualité n'a pas été vérifiée et les discontinuités n'ont pas été comblées.

**Figure 2 :** Moyennes de l'ENE diurne de trois sites d'étude sur plus de six jours en août 2008. Les ENE négatifs indiquent une absorption nette de CO<sub>2</sub> par les écosystèmes et les ENE positifs, une émission nette de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Ce graphique a été créé avec des données préliminaires dont la qualité n'a pas été vérifiée et les discontinuités n'ont pas été comblées.



### Applications de la technique de covariance des turbulences à d'autres composantes du projet EM-1 sur les GES

La technique de covariance des turbulences permet d'obtenir les bilans annuels de CO<sub>2</sub> des écosystèmes pré-inondation (forêt et tourbière) et du réservoir EM-1. En caractérisant les échanges de CO<sub>2</sub> au dessus de différents écosystèmes et en intégrant les résultats pour toute la région perturbée à partir de la couverture relative de chaque écosystème pour lequel nous avons des mesure de flux, nous serons mieux en mesure d'estimer l'impact net de la création du réservoir EM-1 sur les émissions de gaz à effet de serre. Si les systèmes de covariance des turbulences continuent à fonctionner pendant plusieurs années, nous pourrions poursuivre l'étude de la variabilité interannuelle de l'ENE et des bilans de carbone. De plus, les liens entre les variables biophysiques et les flux de CO<sub>2</sub> mesurés peuvent aussi faciliter notre compréhension des facteurs majeurs qui contrôlent les flux de CO<sub>2</sub> des réservoirs et des écosystèmes terrestres. Le projet visait en outre à comparer les diverses techniques de mesure de gaz à l'état de trace au dessus de différents écosystèmes. On peut comparer les mesures des flux gazeux obtenues avec la technique de covariance des turbulences, qui fournit des données continues et moyennées dans l'espace sur une surface relativement grande exposée aux vents, à celles des chambres statiques, qui permettent de faire des mesures de flux ponctuelles et localisées.

Finalement, comme elle fournit des enregistrements continus des flux sur différentes surfaces, la technique de covariance des turbulences est un outil essentiel à la validation des modèles de GES (l'un des principaux objectifs du présent projet). Les chercheurs utiliseront les résultats de la covariance des turbulences dans le cadre d'une approche de modélisation multidisciplinaire afin d'évaluer la contribution présente et future des réservoirs hydroélectriques en gaz à effets de serre. En outre, on peut utiliser les données obtenues des systèmes de covariance des turbulences en combinaison avec les mesures d'émission de méthane (CH<sub>4</sub>) pour obtenir une évaluation plus complète des flux nets de carbone du réservoir EM-1.

**Marie-Claude Bonneville**

marie-claude.bonneville@mcgill.ca

et

**Ian Strachan**

ian.strachan@mcgill.ca

