

Soutenance de thèse d'Audrey Marescaux le 11 décembre 2018

Amphithéâtre 45 A - site Jussieu - Sorbonne Université

Le cycle du carbone dans le bassin anthropisé de la Seine : de la modélisation du dioxyde de carbone à l'évaluation des émissions des gaz à effet de serre

Résumé : Des études récentes ont souligné l'importance des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) par les eaux continentales, replaçant ainsi l'hydro-système comme compartiment actif du bilan carbone. Un premier objectif de cette thèse a été de comprendre et quantifier la dynamique du C aquatique le long du continuum aquatique de la Seine, empreint d'une très forte activité anthropique. Pour cela, un module de carbone inorganique (CI) a été développé au sein du modèle de fonctionnement biogéochimique des écosystèmes aquatiques, Riverstrahler, permettant de simuler les variations spatio-temporelles du C. Le second objectif était de quantifier les émissions aquatiques et terrestres afin de proposer une évaluation conjointe des trois principaux gaz à effet de serre (GES: CO₂, méthane – CH₄, protoxyde d'azote- N₂O) à l'échelle du bassin.

Les mesures de la pression partielle de CO₂ (pCO₂) dans des rivières drainant différentes occupations du sol, à différentes saisons, attestent que l'hydro-système Seine est sursaturé et une source d'émission de CO₂ vers l'atmosphère. Le principal facteur de contrôle de pCO₂ est la concentration en carbone organique dissout (COD) (R² = 0,56, p < 0,05), modulée par les conditions hydro-climatiques et les contributions d'eaux souterraines. Dans les rivières amont, les concentrations en COD semblent reliées au stock de CO des sols, alors que sur l'axe principal de la Seine, elles dépendent des effluents de stations d'épuration. Sur le long terme (1970-2015) la pCO₂ a clairement évolué conjointement à l'amélioration du traitement des eaux usées.

Les bilans par modélisation (moyenne 2010-2013) montrent l'importance du CI apporté à l'hydro-système Seine (1134 ktC an⁻¹) et une faible contribution des processus biogéochimiques (27 ktC an⁻¹). Si une grande part du CI est exportée vers l'estuaire (62%), les émissions de CO₂ dépassent 500 ktC an⁻¹ (soit 37%). Les apports d'OC, ne représentent que 104 ktC an⁻¹. La production nette de l'écosystème (NEP) apparaît négative, et indique le caractère hétérotrophe de la Seine. Cette nouvelle version du modèle Riverstrahler a été couplée au modèle estuarien C-GEM afin de proposer une description complète de la cascade du carbone dans le continuum rivière-estuaire. L'estuaire représente 34 % de la surface du drainage de la Seine et contribue à hauteur de 16% des émissions aquatiques de CO₂ du bassin, estimée à 540 kt C (année 2010).

Les émissions de CO₂ complétées par celles de N₂O et CH₄ montrent que émissions aquatiques de GES représentent 3.7% des émissions totales du bassin de la Seine (2,276 kt CO₂ équivalent an⁻¹ dont 95,3% de CO₂). Les émissions agricoles (14,295 ktCO₂ équivalent an⁻¹) et urbaines (44,713 ktCO₂ équivalent an⁻¹) contribuent respectivement pour 23.3 et 73.0%. Une reconstruction historique des émissions agricoles en France montre une augmentation par 4 de 1850 à 2014), soit 114,000 kt CO₂ équivalent an⁻¹ actuellement (CO₂:22%, CH₄:49%, N₂O: 29%). Un scénario prolongeant tendance actuelle à la spécialisation et l'intensification à l'horizon 2040, prédit une augmentation par 1.5 des émissions agricoles, alors qu'un second proposant un changement profond de l'agriculture française réduirait les émissions actuelles de 50%.

Mots-clefs : cycle du carbone, CO₂, CH₄, N₂O, GES émissions, modélisation des écosystèmes aquatiques, bassin de la Seine, impacts humains, continuum aquatique

Carbon cycling across the human-impacted Seine River basin: from the modeling of carbon dioxide outgassing to the assessment of greenhouse gas emissions

Abstract: Several recent studies have highlighted significant fluxes of carbon dioxide (CO₂) from inland waters in the global carbon cycling. The first main objective of this thesis was to quantify and understand carbon dynamics in the Seine River basin, which is deeply impacted by human activities. For this purpose a new inorganic carbon (IC) module was implemented in the biogeochemical Riverstrahler model, to simulate spatial and temporal variations in carbon forms in the drainage work. A second major objective was to size both aquatic and terrestrial emissions as a part of a joint assessment of three main GHGs (CO₂, methane – CH₄, and nitrous oxide – N₂O).

Field campaigns in rivers draining various land uses in different hydrological seasons, showed a supersaturation in CO₂ of the Seine hydrosystem leading to CO₂ emissions to the atmosphere. The main factor controlling the CO₂ partial pressure (pCO₂) was the concentration of dissolved organic carbon (DOC) (R²=0.56, n=119, p<0.05), modulated by hydro-climatic conditions and groundwater contribution. In small streams, DOC concentrations were dependent on the soil organic carbon stock. For the main stem, a long-term analysis (1970-2015) showed that pCO₂ tracked urban pollution, decreasing from the 2000s after improvement of wastewater treatment.

The validation of the IC module newly implemented in Riverstrahler showed that IC inputs to the Seine River dominated the overall carbon budget (1134 ktC yr⁻¹ on average for the period 2010-2013) of which less than 2% was produced from biogeochemical processes (27 ktC yr⁻¹). In addition, CO₂ outgassing represented 37% of IC outputs while exports to the estuary represented 62% of IC outputs. OC inputs were comparatively lower, accounting for only 104 ktC yr⁻¹. Analysis of the biogeochemical processes of the Seine River showed a negative net ecosystem production (NEP), the river being mostly heterotrophic.

In order to complete the modeling of the fate of carbon in the Seine River, the Riverstrahler model was combined with the estuarine C-GEM model, towards an integrated approach to the Land-to-Ocean Aquatic continuum. Representing less than 1% of cumulated length of the river, the estuary thus contributes ~16% of the CO₂ emitted from the whole estuary-river aquatic continuum (estimated at 540 kt C for the year 2010).

In addition, analyses of available institutional databases and measurements of other GHGs (CH₄ and N₂O) enabled estimation of aquatic emissions at 3.7% of the Seine basin total emissions (2,276 ktCO₂ equivalent yr⁻¹), dominated by CO₂ (95.3%), while agricultural (14,295 ktCO₂ equivalent yr⁻¹) and urban emissions (44,713 ktCO₂ equivalent yr⁻¹) accounted for 23.3% and 73.0%, respectively. A historical reconstruction of agricultural emissions for the whole of France (1850-2014) estimated that, among the 114,000 ktCO₂ equivalent yr⁻¹ emitted by the agricultural sector, 22% were represented by CO₂, 49% by CH₄ and 29% by N₂O. Finally, two contrasting scenarios were explored (horizon 2040). The first, characterized by the current trend towards specialization and intensification, predicted an almost 1.5-fold increase in agricultural emissions. While the second, characterized by a transition to organic agriculture and dietary change, would reduce current emissions by about 50%.

Keywords: carbon cycling, CO₂, GHG emissions, aquatic ecosystem modeling, Seine River basin