« MODELISATION INVERSE DES FLUX DE CO2 EN AMAZONIE » PAR LUIS MOLINA CARPIO

Discipline : météorologie, océanographie, physique de l'environnement / Laboratoire de recherche LSCE - Laboratoire des Sciences du Climat et de l Environnement

Résumé :
Une meilleure connaissance des variations saisonnières et interannuelles du cycle du carbone dans en Amazonie est essentielle afin de comprendre le rôle de cet écosystème dans le changement climatique. La modélisation atmosphérique inverse est un outil puissant pour estimer ces variations, en exploitant l'information sur la distribution spatiale et temporelle des flux de CO2 en surface contenue dans des observations de CO2 atmosphériques. Néanmoins, la confiance en les estimations des flux en Amazonie obtenues à partir des systèmes d'inversion mondiale est faible du fait du manque d'observations dans cette région. Dans ce contexte, j'ai d'abord analysé en détail les estimations de l'échange net de CO2 entre la biosphère et l'atmosphère (NEE) générées par deux inversions mondiales pour la période 2002 — 2010. Ces deux inversions ont assimilé des données provenant du réseau mondial d'observation du CO2 atmosphérique hors de l'Amérique du Sud, et une d'elles a assimilé des observations de quatre stations de surface en Amazonie, qui n'ont jamais été exploitées dans les études d'inversion précédentes. J'ai montré que dans une inversion mondiale les observations de stations loin d'Amazonie et les observations locales contrôlaient la NEE. Pourtant, les résultats ont révélé des structures à très grande échelle peu réalistes. L'analyse a confirmé le manque de stations en Amazonie pour fournir des estimations fiables, et les limites des systèmes d'inversion mondiale avec des modèles à très basse résolution. J'ai donc ensuite évalué l'apport de l'utilisation du modèle atmosphérique régional BRAMS,

par rapport à celle du système mondial de prévision météorologique ECMWF, pour le forçage météorologique du modèle de transport atmosphérique CHIMERE simulant le CO2 en Amérique du Sud à haute résolution (~35 km). J'ai simulé le CO2 avec les deux modèles de transportCHIMERE-BRAMS et CHIMERE-ECMWF. J'ai évalué ces simulations avec les profils verticaux de mesures aéroportées, en analysant les mesures individuelles et les gradients horizontaux de CO2 calculés entre paires de stations dans le sens du vent, à différentes altitudes ou intégrés sur la verticale. Les deux modèles de transport ont simulé les observations de CO2 avec une performance similaire, mais j'ai trouvé une importante incertitude sur les modèles de transport. Les mesures individuelles et les gradients horizontaux ont été surtout sensibles à la NEE, mais aussi, pendant la saison sèche, aux émissions des feux de biomasse (EFIRE). J'ai trouvé que l'assimilation des gradients horizontaux était plus approprié pour les inversions que celle des mesures individuelles, étant donné que les premiers ont été moins sensibles au signal associé aux flux hors de l'Amérique du Sud et à l'incertitude sur le modèle de transport en altitude. Finalement, j'ai développé deux systèmes d'inversion régionale pour l'Amérique du Sud tropicale avec les deux modèles de transport, et j'ai lancé des inversions avec quatre types de vecteurs d'observation: de mesures individuelles et gradients horizontaux sur cinq niveaux verticaux, à la surface, ou de gradients horizontaux intégrés sur la verticale. J'ai trouvé une forte dépendance des estimations des bilans régionaux et sub-régionaux de NEE et EFIRE au modèle de transport, ainsi qu'au vecteur d'observation. Les inversions assimilant des gradients horizontaux ont séparé mieux les signaux de NEE et EFIRE. Cependant, les grandes incertitudes sur les flux inversés ont réduit la confiance en ces estimations. Par conséquent, si mon étude n'a pas amélioré la connaissance des variations saisonnières et interannuelles de la NEE en Amazonie, elle a montré les besoins d'amélioration de la modélisation du transport dans la région et de la stratégie de modélisation inverse, du moins à travers une définition du vecteur d'observation appropriée qui prenne en compte les caractéristiques des données disponibles, et les limitations des modèles de transport actuels.

Abstract :
A better knowledge of the seasonal and inter-annual variations of the Amazon carbon cycle is critical to understand the influence of this terrestrial ecosystem on climate change. Atmospheric inverse modeling is a powerful tool to estimate these variations by extracting the information on the spatio-temporal patterns of surface CO2 fluxes contained in observations of atmospheric CO2. However, the confidence in the Amazon flux estimates obtained from global inversion frameworks is low, given the scarcity of observations in this region. In this context, I started by analyzing in detail the Amazon net ecosystem exchange (NEE) inferred with two global inversions over the period 2002 —

2010. Both inversions assimilated data from the global observation network outside Amazonia, and one of them also assimilated data from four stations in Amazonia that had not been used in previous inversion efforts. I demonstrated that in a global inversion the observations from sites distant from Amazonia, as well as local observations, controlled the NEE inferred through the inversion. The inferred fluxes revealed large-scale structures likely not consistent with the actual NEE in Amazonia. This analysis confirmed the lack of observation sites in Amazonia to provide reliable flux estimates, and exposed the limitations of global frameworks, using low-resolution models to quantify regional fluxes. This limitations justified developing a regional approach. Then I evaluated the benefit of the regional atmospheric model BRAMS, relative to the global forecast system ECMWF, when both models provided the meteorological fields to drive the atmospheric transport model CHIMERE to simulate CO2 transport in tropical South America at high resolution (~35 km). I simulated the CO2 distribution with both transport models CHIMERE-BRAMS and CHIMERE-ECMWF. I evaluated the model simulations with aircraft measurements in vertical profiles, analyzing the concentrations associated to the individual measurements, but also with horizontal gradients along wind direction between pairs of sites at different altitudes, or vertically integrated. Both transport models simulated the CO2 observations with similar performance, but I found a strong impact of the uncertainty in the transport models. Both individual measurements and horizontal gradients were most sensitive to NEE, but also to biomass burning CO2 emissions (EFIRE) in the dry season. I found that horizontal gradients were more suitable for inversions than individual measurements, since the former were less sensitive fluxes outside South America and further decreased the impact of the transport model uncertainty in altitude. Finally, I developed two analytical regional inversion systems for tropical South America, driven with CHIMERE-BRAMS and CHIMERE-ECMWF, and made inversions with four observation vectors: individual concentration measurements and horizontal gradients at five vertical levels, close to the surface, or horizontal gradients vertically integrated. I found a strong dependency of the inverted regional and sub-regional NEE and EFIRE emissions budgets on both the transport model and the observation vector. Inversions with gradients yielded a better separation of NEE and EFIRE signals. However, the large uncertainties in the inverted fluxes, did not yield high confidence in the estimates. Therefore, even though my study did not improve the knowledge of seasonal and year-to-year variations of the NEE in Amazonia, it demonstrated need of further efforts to improve transport modeling in the region and the inverse modeling strategy, at least through a careful definition of the observation vector that accounts for the characteristics of the available data, and the limitations of the current transport models.

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

M. Philippe CIAIS, MCF, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement - Directeur de these
M. Grégoire BROQUET, Professeur, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement - CoDirecteur de these
M. Emanuel GLOOR, Directeur de recherche, University of Leeds, School of Geography - Rapporteur
M. Wouter PETERS, Directeur de recherche, Wageningen University - Rapporteur
Mme Karla LONGO, Professeur, USRA/GESTAR, ETATS-UNIS - Examinateur
M. Matthieu ROY-BARMAN, Professeur, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement - Examinateur
M. Bruno GUILLAUME, Ingénieur de recherche, ARIA TECHOLOGIES - Examinateur

Contact : DSR - Service FED : theses@uvsq.fr