



université PARIS-SACLAY

"LE POTENTIEL DES MESURES DU RADIOCARBONE DU CO₂ ATMOSPHERIQUE POUR L'INVERSION DES ÉMISSIONS FOSSILES DE CO₂ À L' ÉCHELLE RÉGIONALE" PAR YILONG WANG

Discipline : météorologie, océanographie, physique de l'environnement /

Laboratoire : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement - LSCE

Résumé :

Dans le contexte du réchauffement climatique, des états et des villes s'engagent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et en particulier celles de CO₂. Une quantification précise des émissions est nécessaire aux scientifiques et aux décideurs politiques. La qualité des inventaires des émissions dues à la consommation des combustibles fossiles, qui reposent sur des données statistiques compilées et rapportées par les émetteurs, reste très variable selon les pays. Les mesures atmosphériques et la modélisation inverse pourraient fournir une information indépendante pour la vérification de ces émissions. Il est cependant difficile de séparer le signal de CO₂ fossile (CO₂CF) du signal des flux naturels dans les mesures atmosphériques fournies par les réseaux

continentaux de mesure au sol. L'objectif de ma thèse est d'améliorer la compréhension du potentiel des données de $^{14}\text{CO}_2$, un des traceurs permettant de séparer le signal de CO_2CF des autres sources de CO_2 , pour l'estimation objective des émissions fossiles aux échelles nationales par inversion atmosphérique. J'ai développé des systèmes d'inversions mondiaux basés sur le modèle de transport atmosphérique LMDz à basse résolution ($2.5^\circ \times 3.75^\circ$), et reposant sur des réseaux de mesure du CO_2 et du $^{14}\text{CO}_2$, résolvant les émissions fossiles à l'échelle subcontinentale / mensuelle en Europe et en Chine. Dans le Chapitre 2, j'ai défini et quantifié les sources d'erreurs de modélisation principales, puis analysé leur impact pour l'estimation des bilans d'émissions fossiles à grande échelle avec un système d'inversion mondial en faisant l'hypothèse que les données de CO_2CF peuvent être directement déduites des données de $^{14}\text{CO}_2$. Les analyses soulignent l'impact de la méconnaissance de la distribution spatiale des émissions de CO_2 et du CO_2CF aux résolutions spatiales plus fines que celle du modèle de transport. Dans le Chapitre 3, j'ai utilisé le système, les hypothèses et les diagnostics d'erreurs de modélisation du Chapitre 2 dans une série d'expériences avec des données synthétiques pour évaluer le potentiel d'un tel système d'inversion et de différents réseaux d'observation virtuels pour l'estimation des bilans régionaux d'émission fossile en Europe. Les résultats indiquent qu'en assimilant des moyennes sur 2 semaines de mesures CO_2CF issues du réseau actuel de 17 sites $^{14}\text{CO}_2$ en Europe, l'inversion réduirait l'incertitude sur les émissions mensuelles pour l'Ouest de l'Allemagne de 30% par rapport à l'incertitude supposée sur les inventaires utilisés comme connaissance a priori dans le cadre du formalisme Bayésien de l'inversion. En utilisant un réseau plus dense en Europe, constitué de 43 futurs sites, des réductions d'incertitude de 47% pourraient être réalisées pour les bilans annuels des émissions pour les régions où le réseau serait le plus dense. Dans le Chapitre 4, j'ai implémenté un système d'inversion global isotopique permettant d'assimiler conjointement des données atmosphériques de CO_2 et de $^{14}\text{CO}_2$ pour résoudre simultanément les émissions fossiles et les flux naturels de CO_2 en Europe et en Chine. L'objectif est de dépasser l'hypothèse que les variations de $^{14}\text{CO}_2$ ne sont liées qu'au CO_2CF , en tenant compte ses flux de $^{14}\text{CO}_2$ non fossiles. Les résultats confirment que les données de $^{14}\text{CO}_2$ sont utiles pour séparer le CO_2CF du signal des flux naturels près des régions fortement émettrices, rendant les données de $^{14}\text{CO}_2$ moyennes sur 2 semaines plus efficaces que les données journalières de CO_2 pour l'estimation des émissions.

Abstract:

Climate change has prompted nations, provinces, and cities to take actions to reduce anthropogenic sources of CO_2 and other greenhouse gases. Accurate and consistent quantification of the emissions is required for both scientists and policymakers.

Inventories of the CO₂ emissions due to fossil fuel combustion are based on statistical data collected and reported by the emitters themselves and their quality is highly variable between countries. In principle, atmospheric measurements and inverse modeling could provide independent information to verify and evaluate these emissions. However, there are difficulties to separate the fossil fuel CO₂ signal (FFCO₂) from the signal of natural CO₂ fluxes, in the atmospheric CO₂ measurements from ground based continental networks. In this thesis, I aimed to improve the understanding of the potential of atmospheric ¹⁴CO₂ measurements, one of the few tracers helping to separate FFCO₂ from the signal of other CO₂ sources, for the objective estimate of the fossil fuel emissions at national or provincial scales based on atmospheric inversion. I developed global inversion systems based on the global coarse-resolution (2.5°×3.75°) LMDZ atmospheric transport model, and on continental networks of atmospheric observations of CO₂ and ¹⁴CO₂, solving for the fossil fuel emissions at sub-continental / monthly scales in Europe and in China. In Chapter 2, I defined and quantified critical sources of modeling errors and their impact on the inversion of large-scale budget of the fossil fuel emissions when using a global inversion system and assuming FFCO₂ data can be directly derived from ¹⁴CO₂ measurements. The analysis highlighted the impact of ignoring the spatial distribution of the emissions and FFCO₂ at a resolution higher than that of the transport model. In Chapter 3, I applied inversions with the system, assumptions and diagnostics of the modeling error from Chapter 2 in a series of Observing System Simulation Experiments to evaluate the skill of such an inversion system and of different virtual observation networks for estimating regional budgets of fossil fuel emissions in Europe. Results indicate that if assimilating continuous 2-week mean FFCO₂ data from 17 existing ¹⁴CO₂ European sites, the inversion would reduce the uncertainties in monthly fossil fuel emissions of western Germany by 30% compared to the assumed uncertainty in the inventories used as a prior knowledge in the Bayesian framework of the inversion. Using a larger network of 43 European sites that may be available in the future, up to 47% uncertainty reduction could be achieved for annual budgets of fossil fuel emissions for regions where the network would be the densest. In Chapter 4, I implemented a global isotopic inversion system that jointly assimilates atmospheric observations of CO₂ and ¹⁴CO₂ to simultaneously solve for fossil fuel emissions and natural CO₂ fluxes over Europe and China. The purpose is to move beyond the assumption that variations in ¹⁴CO₂ relate only to FFCO₂ by accounting for non-fossil ¹⁴CO₂ fluxes. The results confirm that ¹⁴CO₂ data are useful to separate FFCO₂ from the signal of natural fluxes at sites close to large emission regions, making 2-week mean ¹⁴CO₂ data more efficient than daily CO₂ data for estimating the emissions.

M. Philippe CIAIS, Directeur de recherche, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines - Laboratoire LSCE - Directeur de these

M. Grégoire BROQUET, Directeur de recherche, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines - Laboratoire LSCE - CoDirecteur de these

Mme Heather GRAVEN, Maître de conférences, Imperial College London - Rapporteur

M. John MILLER, Directeur de recherche, NOAA/Earth System Research Laboratory /Global Monitoring Division, and Cooperative Institute for Research in Environmental Science (CIRES), University of Colorado - Rapporteur

Mme Ingeborg LEVIN, Professeur des universités, Institut fuer Umweltphysik, Universitaet Heidelberg - Examineur

M. Philippe BOUSQUET, Professeur des universités, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines - Laboratoire LSCE - Examineur

Contact : DREDVAL - Service SFED : theses@uvsq.fr