

Une surveillance des flux de gaz à effet de serre et incertitudes associées avec un réseau instrument européen ICOS

How to estimate greenhouse gases fluxes and associated uncertainties by using atmospheric measurements of the European ICOS network

Philippe CIAIS*, Jean-Daniel PARIS*, Leonard RIVIER*

ICOS – *Integrated Carbon Observation System* – (www.icos-infrastructure.eu) est une infrastructure de recherche européenne de mesure des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre et des flux sur les écosystèmes et l'océan. L'augmentation des gaz à effet de serre étant la principale cause du changement climatique, l'intérêt d'ICOS est de permettre, à terme, une surveillance de leurs sources et puits. Cette surveillance donnera notamment des éléments de vérification des émissions et des puits indépendants des inventaires d'émissions fossiles et des données sur l'usage des sols. Coordonné par la France et le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) dans sa phase préparatoire européenne, l'infrastructure de recherche ICOS est développée par le CEA, le CNRS, l'UVSQ et l'INRA. ICOS est l'un des 30 projets d'Infrastructure de Recherche qui ont été classés prioritaires à l'échelle européenne par le forum ESFRI en 2006.

L'Union Européenne est le troisième émetteur mondial de CO₂ fossile après la Chine et les États-Unis. En signant le Protocole de Kyoto, L'UE est engagée à réduire ses émissions par rapport à l'année de référence 1990. À terme, le plan climat prévoit une réduction bien plus ambitieuse des émissions. Aux États-Unis, certains États comme la Californie ont aussi pris des engagements volontaires pour réduire fortement leurs émissions de gaz à effet de serre. De nouveaux réseaux de mesure conçus pour la surveillance des puits de carbone et des émissions sont nécessaires dans le cadre de monitoring et vérification des flux naturels et anthropiques de CO₂. De tels réseaux sont en construction aux USA, au Japon, en Chine. Ces réseaux de mesure s'insèrent dans la stratégie globale du groupe intergouvernemental GEO (*Group for Earth observation*).

En parallèle, les agences spatiales Américaine et Japonaise ont développé de nouveaux satellites pour mesurer le CO₂ et le CH₄ en colonne intégrée depuis l'espace. Il s'agit des missions OCO-2 et GOSAT. GOSAT a été lancé avec succès en 2009. Les données de ces satellites, avec une précision moindre mais une couverture globale, compléteront celles des réseaux sol.

L'objectif d'ICOS est d'apporter les observations nécessaires pour estimer les flux de GES sur le continent Européen. Le réseau et la méthodologie développée pourront être étendus à d'autres régions, s'il est possible d'y installer des stations de type ICOS, en particulier en Sibérie et en Afrique.

Le réseau sera construit et optimisé pour l'estimation optimale des flux, par exemple en utilisant des outils de simulation d'un réseau optimal, *network design*). La densification progressive du réseau optimisé permettra, combinée à des systèmes de simulation numérique et d'assimilation de données, de déterminer les flux anthropiques et biogéniques de CO₂, CH₄ à une échelle de 20 à 50 kilomètres en Europe (Figure 1). Ces estimations régulières des flux permettront : 1) de comprendre les processus biogéochimiques qui contrôlent la variabilité du cycle des GES, 2) de détecter un affaiblissement, ou des anomalies des flux de carbone face aux accidents climatiques comme les sécheresses, 3) de connaître la valeur moyenne et de suivre la variabilité et la tendance à long terme des émissions anthropiques du continent (sur les régions les mieux couvertes) et 4) de connaître la valeur moyenne et de suivre la variabilité et la tendance à long terme des flux biogéniques.

* IPSL-LSCE, CEA CNRS UVSQ – Centre d'études ORME des Merisiers – 91191 Gif-sur-Yvette.

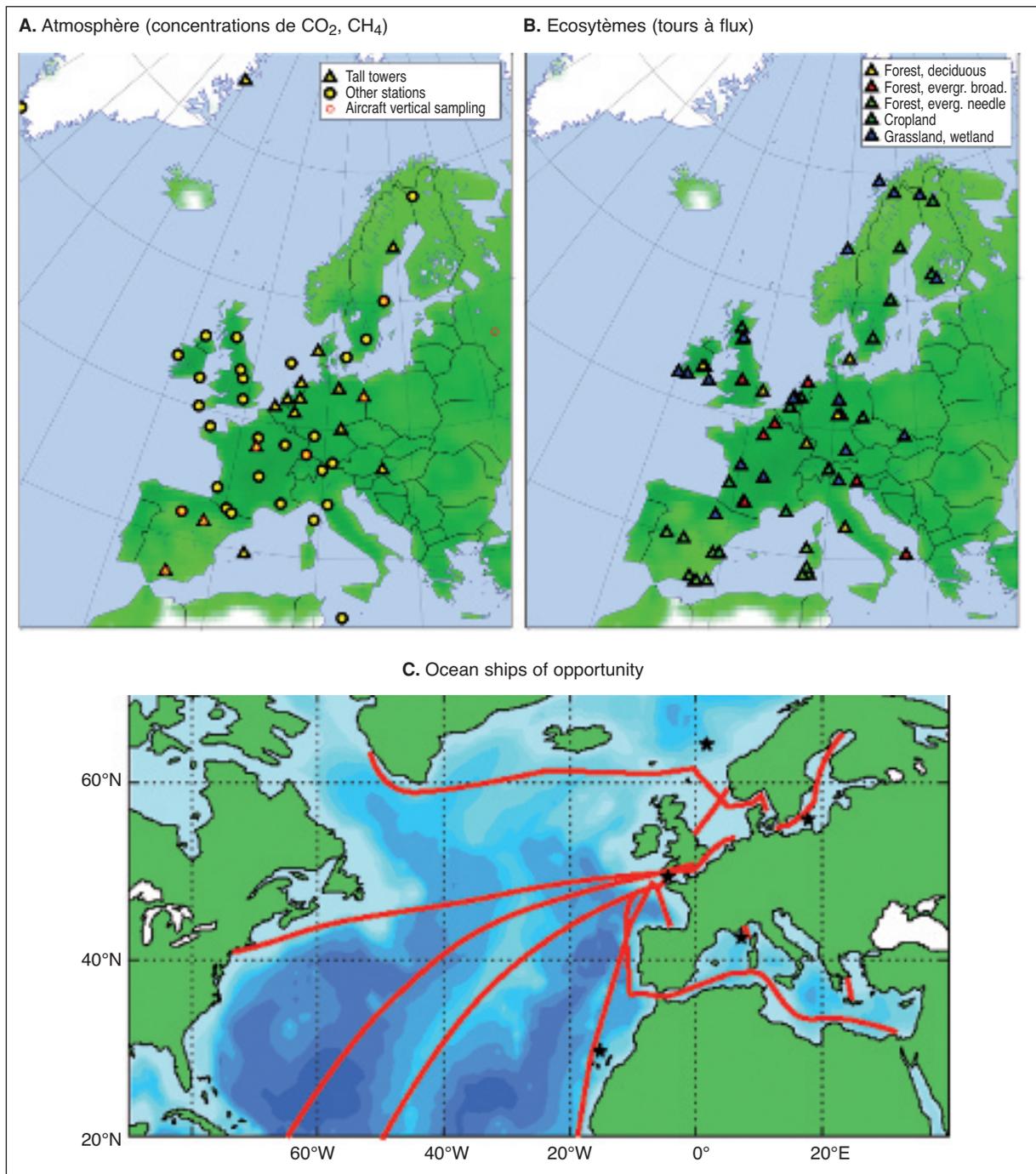


Figure 1.
Réseaux ICOS de stations atmosphériques (A), de tours à flux sur différents écosystèmes (B) de suivi des flux sur l'Atlantique Nord (C), lignes commerciales de navigation et séries temporelles.

Pour le suivi à long terme des flux de gaz à effet de serre, ICOS s'appuie sur la coordination et le fonctionnement opérationnel de trois réseaux de mesure complémentaires (Figure 1). Les méthodes de collecte de données et les instruments de mesure sont standardisés pour toutes les stations du réseau. Ces observations sont compatibles avec les standards internationaux de météorologie WMO et FLUXNET, et de distribution des données INSPIRE et GEOSS. Le réseau ICOS est constitué à l'échelle européenne par :

- 50 stations atmosphériques de suivi en continu des concentrations du CO₂, du CH₄, du N₂O et autres GES pour quantifier les bilans régionaux et les réductions d'émission ;
- 40 sites de tours de flux pour le suivi à petite échelle des échanges de CO₂, de vapeur d'eau et d'énergie des principaux écosystèmes ;
- des mesures automatiques des flux sur des navires océanographiques et commerciaux pour la caractérisation des flux air-mer de CO₂.

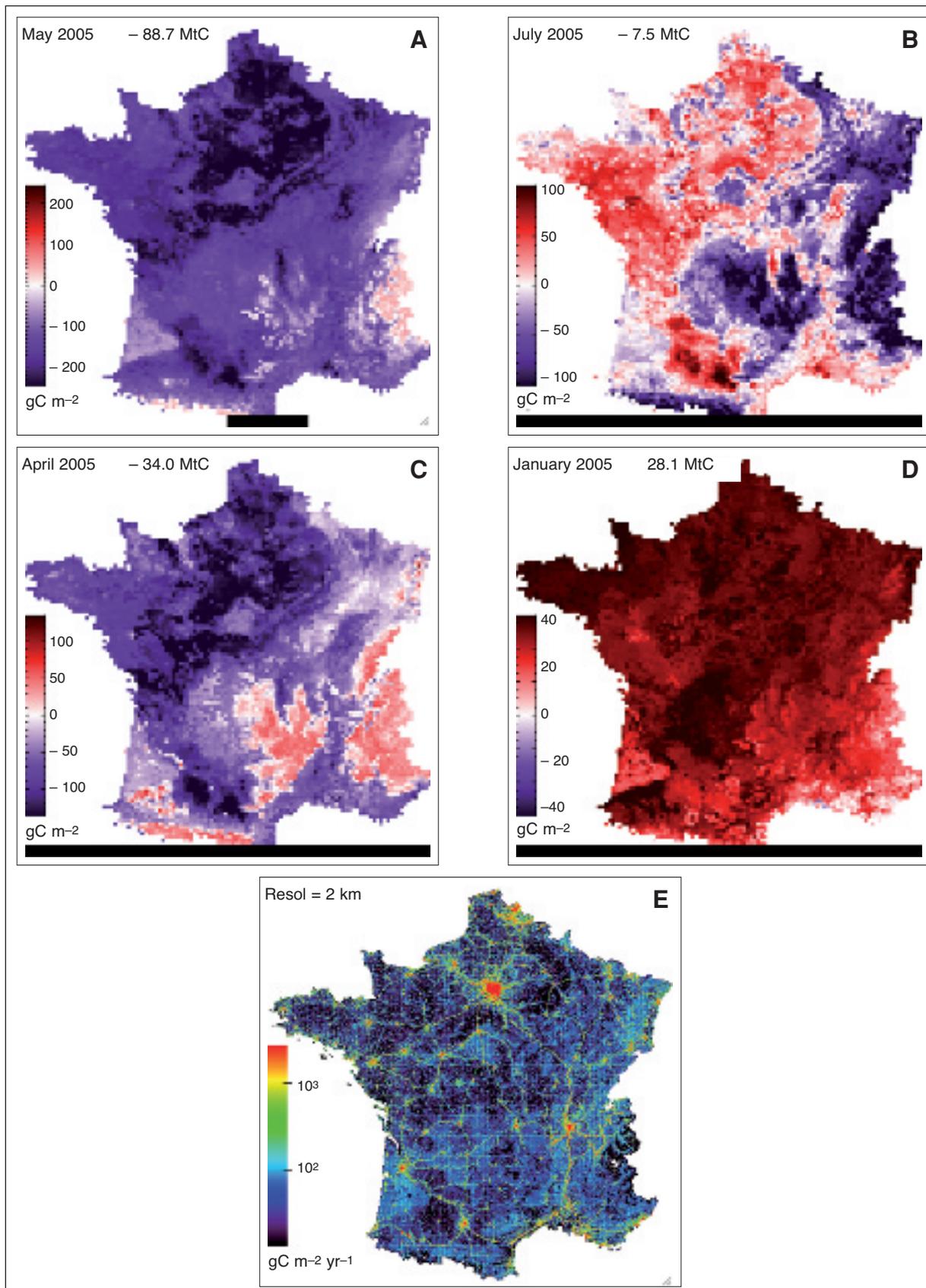


Figure 2.

Quelques images des flux de CO₂ sur la France. A-D : flux de CO₂ entre végétation et atmosphère pour les mois de mai, juillet, avril, janvier. En bleu, la végétation et les sols absorbent du CO₂ atmosphérique. En rouge, les sols et la végétation émettent du CO₂ atmosphérique (simulations du modèle ORCHIDEE à 8 km de résolution par Yan Zhao, LSCE). E : émissions de CO₂ fossile (carte d'émission produite par le laboratoire IER-Stuttgart).

Chacun de ces trois réseaux est coordonné par un centre thématique qui assurera le traitement opérationnel continu, le contrôle qualité, la distribution et l'archivage des données, ainsi que la coordination des développements technologiques dans le domaine des nouveaux capteurs, en particulier les nouvelles technologies et nouveaux composés mesurés.

L'intégration des données pour calculer des flux de CO₂, CH₄ sur le continent Européen se fait avec des systèmes d'assimilation de données. Plusieurs systèmes existent en Europe en mode recherche. Le LSCE développe un système complet d'assimilation global du cycle du carbone qui pourra être adapté pour fonctionner à différentes échelles, sur le Globe, l'Europe, et la France. Les activités d'assimilation des flux de gaz à effet de serre à partir des observations atmosphériques font aussi partie du programme Européen GMES.

Il est prévu que les mesures d'ICOS soient distribuées en accès ouvert dans le cadre de la directive Européenne INSPIRE. Plusieurs grands centres opérationnels et plus d'une centaine de groupes de recherche dans le monde ont été identifiés comme utilisateurs des données ICOS lors d'un recensement des utilisateurs. Le réseau ICOS devrait être construit en 2012 dans une majorité de pays. 10 pays ont un engagement de financement de leur réseau sur 16 pays participants. On estime que le réseau sera complet avant 2014, sous réserve de l'engagement financier des pays restants.

Une contribution Française préexistante est constituée par le réseau atmosphérique RAMCES de l'INSU développé par des laboratoires français. Le réseau atmosphérique français est largement construit sur l'expérience et les sites développés par le Service d'Observation RAMCES du LSCE. Dans le cadre d'ICOS la composante française du réseau ICOS comprendra 15 sites dont 11 sites principaux avec un équipement maximum. Parmi ces sites, 8 sont localisés à l'outre-mer (Ile Amsterdam dans les TAAF, Guyane, Réunion) ou à l'étranger (Côte d'Ivoire, Inde, Irlande). Ce réseau atmosphérique français représente une contribution majeure au réseau européen. Le réseau atmosphérique est la partie distribuée de la composante atmosphère de l'infrastructure ICOS. En ce qui concerne la France, le réseau atmosphérique est basé principalement sur l'existant du LSCE ainsi que l'installation de nouvelles stations, parfois en collaboration étroite avec d'autres organismes.

Pour que l'infrastructure de recherche ICOS atteigne des objectifs opérationnels compatibles avec un suivi régulier et la production d'estimations continues des flux en Europe, il a été prévu de créer

autour du réseau de stations, quatre installations centrales : un siège européen de la Coordination, un Centre Thématique Atmosphérique, un Centre Thématique Écosystèmes, un Centre Thématique Océan et un Laboratoire d'Étalonnage et de fabrication de standards. La France est candidate pour la construction du centre atmosphérique Européen de l'infrastructure ICOS.

Au-delà des flux Européens, l'enjeu est de pouvoir densifier le réseau dans l'objectif de disposer de suffisamment de mesures pour contraindre des bilans régionaux. La Figure 2 montre une simulation des flux de CO₂ de la France, avec d'une part une simulation des flux des écosystèmes (modèle ORCIDEE de IPSL/LSCE), et un inventaire des émissions anthropiques (IER-Stuttgart). Pour les flux à l'échelle nationale, la composante d'échange avec la végétation est similaire aux émissions fossiles pour un mois donné, mais elle varie dans le temps avec un puits de CO₂ en été et au printemps et une source de CO₂ pour l'atmosphère en hiver et en automne. Il faudra donc un échantillonnage spatial important pour apporter une mesure des flux de la végétation. Les observations atmosphériques devront être complétées par d'autres types de mesures, par exemple des mesures spatiales de réflectance de la végétation dans les longueurs d'onde visibles et infrarouge qui sont un indicateur de l'état hydrique de la végétation et de sa croissance, des mesures spatiales denses de CO₂ atmosphérique prévues au cours de la prochaine décennie, et bien sûr un suivi au sol des écosystèmes comme le réseau de tours à flux déployé dans ICOS.

Par contre, à l'échelle de sites industriels ou de grandes agglomérations, les flux de CO₂ fossile sont de 2 à 3 ordres de grandeurs supérieurs aux flux d'échange avec la végétation. Les émissions de ces sites ne sont pas bien connues. Un réseau très dense de suivi du CO₂, avec d'autres traceurs spécifiques des flux fossiles comme le 14C du CO₂, couplé à un système d'inversion pourrait permettre un suivi des émissions. Il serait possible de coupler de telles mesures de gaz à effet de serre à l'infrastructure existante de suivi de la qualité de l'air. Une partie des polluants, comme le CO, pouvant être utilisée comme des traceurs des combustions du CO₂ fossile. Un projet pilote d'installation de quelques stations de CO₂ autour de Paris MEGA-PARIS financé par l'agence nationale pour la recherche a démarré en 2010, et associe le réseau AIRPARIF. À terme, il y a un intérêt scientifique et économique bien réel pour déployer dans le futur des capteurs de mesure de gaz à effet de serre sur les réseaux de suivi de qualité de l'air, et exploiter les synergies de la modélisation du transport des polluants et du CO₂.