Titre

Première observation du transport à travers l'Asie de l'est des épisodes de pollution à l'ozone dans la très basse troposphère

Descriptif du projet

L'évolution et la production photochimique de la pollution à l'ozone dans la très basse troposphère transportée à travers l'Asie de l'est a été observée pour la première fois grâce aux nouvelles observations satellitaires mises en synergie avec des mesures in situ et des modèles de qualité de l'air.

Contexte

La dégradation de la qualité de l'air est un problème sociétal crucial en Asie de l'est, qui s'est aggravé sévèrement dans le 21ème siècle. L'est et le sud-est asiatique sont affectés par des niveaux de pollution de l'air parmi les plus élevés au monde, étant responsables d'environs 2,6 millions de mortes prématurées chaque année. Le principal polluant gazeux est l'ozone troposphérique, qui est néfaste pour la santé des populations et des écosystèmes de part de son pouvoir oxydant quand il est en surface. L'ozone est produit par des réactions photochimiques à partir d'autres gaz précurseurs, dont leurs émissions proches de la surface ont largement augmenté dans des régions telles que la Grande plaine de Chine du Nord, vu sa croissance économique et démographique rapide. La pollution à l'ozone, dont la durée de vie est d'environ 2 à 3 semaines, est transportée par les vents bien au-delà des villes qui la produisent, constituant une source de pollution transfrontière. Au Japon, la pollution photochimique locale était un problème sérieux dans les années 1970s, mais elle a été graduellement contrôlée. Cependant, une augmentation soutenue de la pollution à l'ozone a été observée durant les dernières années, probablement d'origine transfrontière. Des prédictions futures basées sur le développement socio-économique attendu en Asie de l'est suggèrent une augmentation soutenue des émissions des précurseurs d'ozone, aggravant encore les conditions de vie des populations et des écosystèmes dans la région. L'impact de l'ozone troposphérique est aussi une préoccupation globale, étant donné qu'il peut être transporté vers les autres continents et qu'il induit un réchauffement global en tant que troisième gaz à effet de serre. Dans les prochaines décennies, des réglementations strictes doivent être appliquées pour éviter de sérieux dommages sanitaires et environnementaux, mais qui ne peuvent être efficaces qu'à la condition d'une meilleure connaissance des origines et du cycle de vie régionale de la pollution à l'ozone.

A l'heure actuelle, la répartition spatiale et l'évolution de la pollution à l'ozone sont caractérisées par plusieurs méthodes complémentaires, soit à partir i) des mesures ponctuelles au niveau de la surface avec des capteurs in situ de haute précision, ii) des modèles de qualité de l'air qui simulent les réactions photochimiques dans l'atmosphère et le transport des polluants par les vents ou iii) des observations satellitaires qui permettent, grâce à sa large couverture spatiale, de suivre le développement et le transport des épisodes de pollution aux échelles régionale et globale. Les approches d'analyse de la pollution à l'ozone développées par les équipes partenaires du PHC SAKURA du LISA et du JAMSTEC sont à la pointe du développement au niveau international. L'équipe japonaise du JAMSTEC a une expérience consolidée, de renommée internationale, sur l'analyse des observations in situ et des modèles de chimie-transport. Ses activités de recherche jouent un rôle international majeur sur l'analyse de la pollution photochimique transfrontière en Asie de l'est. En Chine, elle a conduit des campagnes de terrain intensives au mont Tai sur la pollution atmosphérique et les processus photochimiques, en 2005 et 2009. Ces observations au cœur d'une des sources majeures de pollution au monde sont particulièrement précieuses, étant donné que peu d'autres mesures sont disponibles dans cette région. Elles ont permis de décrire avec un détail sans précédent l'évolution saisonnière des concentrations des polluants majeurs et ses précurseurs, afin d'étudier les processus photochimique associés. De telles mesures, conduites de manière routinière dans les régions principalement affectées par la pollution transfrontière à l'ouest du Japon, par l'équipe de JAMSTEC en collaboration avec l'Institut National pour les Etudes Environnementaux, sont analysées en synergie avec des modèles de qualité de l'air mis en œuvre au JAMSTEC.

L'équipe française du LISA est parmi les groupes leaders au monde de la télédétection satellitaire de l'ozone troposphérique. Elle a conduit la première analyse de la pollution à l'ozone dans la basse troposphère (entre 3 et 4 km d'altitude) sur les principales mégapoles chinoises à partir des observations satellitaires issues du capteur spatial IASI dans l'infrarouge thermique. Récemment, elle a aussi développé une méthode multispectrale innovante

combinant les mesures de IASI et de GOME-2 dans l'ultraviolet qui a permis la première observation depuis l'espace des panaches de pollution à l'ozone dans la très basse troposphère (vers 2 km d'altitude). Vue l'importance de cette avancée pour l'analyse de la qualité de l'air, l'équipe a été lauréate du prix La Recherche 2014 dans la catégorie environnent. L'exploitation en Asie de l'est de ces observations satellitaires innovantes développées par le LISA est en parfaite adéquation avec l'expertise scientifique de JAMSTEC sur la qualité de l'air en Asie de l'est et les outils qu'ils développent, des modèles et des mesures in situ.

Résultats obtenus et retombées attendues

L'équipe franco-japonaise des laboratoires LISA et JAMSTEC, consolidée grâce au partenariat PHC SAKURA, a mise en œuvre pour la première fois sur l'Asie de l'est une analyse de la pollution à l'ozone basée sur l'utilisation conjointe des observations satellitaires innovantes, de mesures in situ et des modèles de qualité de l'air. Le but de l'étude a été d'effectuer un suivi des épisodes majeurs de pollution à l'ozone initiés sur la Grande plaine de Chine du Nord et ensuite transportés par les vents vers la Corée et le Japon, durant le printemps de 2009. Les observations satellitaires ont permis de cartographier les panaches de pollution à l'ozone sur l'Asie de l'est, d'estimer leurs concentrations et de suivre leur évolution durant chaque jour des épisodes. Ces nouvelles observations satellitaires offrent la meilleure sensibilité possible à l'heure actuelle dans les couches d'air proches de la surface. Leur bonne précision a pu être certifiée grâce à une comparaison avec des mesures de haute qualité de la concentration d'ozone à la surface, effectuées par des capteurs in situ distribués dans plusieurs iles japonaises.

La deuxième étape de l'étude a été de caractériser l'origine des épisodes de pollution à l'ozone et le rôle des processus photochimiques lors du transport à travers le continent. En effet, l'ozone proche de la surface peut provenir soit des réactions photochimiques à partir des émissions d'autres gaz polluants associées aux activités humaines (le trafic routier, l'industrie, etc.) ou soit par des descentes de masses d'air riches en ozone depuis la stratosphère (située environ entre 12 et 60 km d'altitude). Les contributions de ces deux origines ont été estimées par des indicateurs des masses d'air polluées originaires de la surface, telles que des concentrations élevées en monoxyde de carbone, des modèles météorologiques et de la qualité de l'air. Ces dernières estiment les concentrations d'ozone en simulant numériquement les réactions photochimiques dans l'atmosphère et le transport des masses d'air. A l'aide de ces outils numériques, les parcours des masses d'air polluées ont pu être tracés et leurs contributions en ozone estimées. Finalement, l'analyse détaillée de l'évolution des concentrations des polluants a permis de mettre en évidence une production photochimique significative d'ozone lors des parcours des masses d'air proches de la surface jusqu'à la Corée et le Japon, en plus de celui produit initialement en Chine continentale. Ces résultats très novateurs ont donné lieu à neuf communications dans des colloques scientifiques internationaux, un article publié dans un journal scientifique international et une deuxième publication scientifique en cours de rédaction.

Ce projet a permis de mettre au point une méthodologie très prometteuse pour l'analyse de la pollution à l'ozone et ses origines en Asie de l'est, l'une des régions les plus polluées au monde et où peu d'observations sont disponibles aux proximités des sources majeures des polluants. L'approche conjointe « satellite + mesures in situ + modèles » a permis de caractériser l'origine et l'évolution des épisodes de pollution, avec un détail sans précèdent. Les mesures in situ ont apporté une référence pour les observations satellitaires innovantes, permettant d'améliorer leur précision au cours du projet. De même, les observations satellitaires ont mis en évidence les points forts et les points faibles des modèles numériques. L'application de cette nouvelle approche sur la période du printemps d'une année pourra par la suite être étendue à des périodes plus longues et d'autres saisons, afin d'étudier des régimes de pollution et météorologiques différents et leur évolution pluriannuelle. Ces perspectives pourront être abordées dans les 4 années à venir dans le cadre du projet international PolEAsia, coordonné par le LISA et financé par l'Agence National de la Recherche.

Les observations satellitaires innovantes utilisées dans l'étude seront très prochainement distribuées avec une couverture globale journalière et en quasi-temps réel par le pôle national français de données AERIS (http://www.aeris-data.fr). La communauté scientifique internationale et les services de surveillance de la qualité de l'air (tels que Copernicus, http://atmosphere.copernicus.eu) pourront les utiliser pour caractériser la pollution à l'ozone dans les régions du monde souhaitées et/ou à l'échelle globale. De même, ces observations satellitaires pourront être utilisées pour corriger, via l'assimilation de données, les modèles de surveillance et prévision de la qualité de l'air, comme effectué actuellement en Europe.

Ce projet sur la pollution à l'ozone a permis d'initier la collaboration franco-japonaise entre le LISA et JAMSTEC. Des nombreuses études en perspectives s'ouvrent pour les prochaines années, telles que l'analyse de la pollution aux

particules atmosphériques (ou PM - particule matter en anglais) en Asie de l'est. Les particules sont les polluants les plus néfastes pour la santé publique, provenant à la fois des sources anthropiques comme le trafic routier et naturelles comme les poussières désertiques. Ces analyses seront basées sur les nouvelles approches satellitaires pour observer la répartition 3D des particules dans l'atmosphère, développées au LISA, ainsi que des modèles de la qualité de l'air et des mesures in situ mis en œuvre au JAMSTEC.

Retour d'expérience sur le PHC SAKURA

Le PHC SAKURA a été un soutien indispensable pour mener cette étude scientifique sur la pollution à l'ozone en Asie de l'est. Les résultats ont été obtenus grâce à une méthodologie implémentée pour la première fois en Asie de l'est, nécessitant une synergie étroite entre les expertises du LISA et du JAMSTEC pour sa mise en œuvre. Cela a été possible grâce aux nombreux échanges entre les deux partenaires du projet, uniquement réalisables via la mobilité des scientifiques entre les deux pays. En voyageant au JAMSTEC, l'équipe française a acquis les connaissances nécessaires pour utiliser les modèles, les mesures in situ et les traceurs des processus photochimiques en Asie de l'est. Une bonne compréhension des incertitudes et des capacités des modèles (par exemple, la précision sur les émissions polluants primaires en Asie) et des mesures in situ (leur représentativité et précision) est nécessaire pour les utiliser conjointement avec les observations satellitaires. Les séjours de l'équipe japonaise au LISA ont été indispensables pour exploiter les nouvelles observations satellitaires du LISA. Comme elles ont été utilisées pour la première fois en Asie de l'est, leur analyse nécessite une connaissance des potentielles incertitudes (associées par exemple aux propriétés de surfaces, aux nuages, aux particules atmosphériques, etc) ainsi que leur sensibilité. De même, des discussions actives entre deux équipes, LISA et JAMSTEC, ont permis l'analyse des aspects tels que la météorologie et la dynamique atmosphérique dans la région et les comparaisons entre les observations satellites et les modèles.

Références :

Dufour, G., M. Eremenko, J. Cuesta, C. Doche, G. Foret, M. Beekmann, A. Cheiney, Y. Wang, Z. Cai, Y. Liu, M. Takigawa, Y. Kanaya and J.-M. Flaud : Springtime daily variations in lower-tropospheric ozone over east Asia: the role of cyclonic activity and pollution as observed from space with IASI, Atmos. Chem. Phys., 15, 10839–10856, 2015

J. Cuesta, Y. Kanaya, M. Takigawa, G. Dufour, M. Eremenko, K. Miyazaki, G. Foret, A tropospheric ozone pollution outbreak over East Asia in springtime 2009 analyzed by synergism of innovative multispectral satellite observations, in situ measurements and models, Living Planet Symposium (ESA), 9-12 May 2016

G. Dufour, M. Eremenko, J. Cuesta, G. Forêt, M. Beekmann, A. Cheiney, Z. Cai, Y. Liu, M. Takigawa, Y. Kanaya, Variability and short-term trends of lower and upper tropospheric ozone over East Asia from IASI observations, Living Planet Symposium (ESA), Prague, 9-12 May 2016.

J. Cuesta, Y. Kanaya, E. Emili, G. Dufour, A. Coman, M. Takigawa, K. Miyazaki, M. Eremenko, G. Foret, M. Beekmann, Ozone pollution outbreaks analysed by synergism of novel IASI+GOME2 multispectral satellite observations, chemistry-transport models and in situ measurements, IASI conference, Juan-Les-Pins, 11-15 April 2016

G. Dufour, M. Eremenko, J. Cuesta, G. Forêt, M. Beekmann, A. Cheiney, Z. Cai, Y. Liu, M. Takigawa, Y. Kanaya, Variability and short-term trends of lower and upper tropospheric ozone over the North China Plain from IASI observations, IASI conference, Juan-Les-Pins, 11-15 April 2016

J. Cuesta, G. Dufour, M. Eremenko, G. Foret, A. Coman, M. Beekmann, J.-M. Flaud, M. Höpfner, T. von Clarmann, J. Orphal, Y. Kanaya and M. Takigawa, Remote sensing of the atmospheric composition using innovative satellite approaches, Workshop of GRDI HiResMIR, Créteil, 15-16 Octobre 2015

G. Dufour, M. Eremenko, J. Cuesta, C. Doche, G. Forêt, M. Beekmann, A. Cheiney , Y. Wang, Z. Cai, Y. Liu, M. Takigawa, Y. Kanaya, J.-M. Flaud, Springtime variability of lower tropospheric ozone over Eastern Asia: respective role of cyclones and pollution as determined from IASI, ATMOS 2015 (ESA), Heraklion, 8-12 June 2015.

G. Dufour, M. Eremenko, J. Cuesta, C. Doche, G. Forêt, M. Beekmann, A. Cheiney , Y. Wang, Z. Cai, Y. Liu, M. Takigawa, Y. Kanaya, J.-M. Flaud, Natural and anthropogenic contributions to the atmospheric composition variability as observed from space, HRMS, Dijon, 24-28 August 2015

G. Dufour, M. Eremenko, J. Cuesta, G. Forêt, M. Beekmann, M. Takigawa, Y. Wang, Z. Cai, Y. Liu, and J.-M. Flaud, Springtime Variability of Tropospheric Ozone over Eastern Asia: Respective Role of Cyclones and Pollution as Determined from Space, 4th Sino-French Joint Workshop on Atmospheric Environment, Lyon, 10-13 December 2014

G. Dufour, M. Eremenko, J. Cuesta, G. Forêt, M. Beekmann, M. Takigawa, Y. Wang, Z. Cai, Y. Liu, and J.-M. Flaud, Monitoring the spatial distribution and the evolution of tropospheric ozone in Eastern Asia with IASI, EGU General assembly 2013, Vienna, 7-12 April 2013.