

SYNTHESE

Projets EV/35/6A et EV/35/6B “Influences anthropiques et biogéniques sur la capacité oxydante de l’atmosphère”

J.-F. Müller, IASB-BIRA (co-ordinateur)

C. Vinckier, KULeuven

Contexte

La capacité oxydante de l'atmosphère consiste en sa capacité de s'auto-nettoyer, c.-à-d., de se débarrasser de certains polluants qui autrement s'y accumuleraient. Elle détermine le temps de vie d'un grand nombre de composés chimiques, dont des gaz à effet de serre. Par exemple, le méthane (l'un des principaux gaz à effet de serre) est contrôlé pour une grande part par sa réaction chimique avec le radical hydroxyle (OH). Il s'ensuit que toute perturbation qui affecte OH influence également le méthane, ainsi que beaucoup d'autres gaz. En fait, beaucoup d'autres composés chimiques présents dans l'atmosphère influencent la capacité oxydante de l'atmosphère. Ceux-ci comprennent les hydrocarbures, le monoxyde de carbone, et les oxydes d'azote. Tous ces composés ont des sources biogéniques et des sources anthropiques. En d'autres termes, les activités humaines ont une très grande influence sur la concentration de ces gaz. Les activités industrielles, l'utilisation des combustibles fossiles, les feux de savane et de forêt et l'utilisation de fertilisants dans l'agriculture sont parmi les principaux processus responsables des émissions de ces polluants, et entraînent une augmentation significative de leurs concentrations atmosphériques. Il est dès lors capital d'évaluer le bilan (sources et pertes) de ces espèces chimiques, et également de quantifier l'ampleur de l'influence des activités humaines.

La biosphère (la végétation, les sols et les océans) a aussi une grande influence sur la composition chimique de la troposphère. Par exemple, on estime que les émissions d'hydrocarbures non-méthaniques par la végétation ont un impact considérable sur le bilan d'espèces comme le monoxyde de carbone, l'ozone, le radical hydroxyle et les aérosols. Cependant, les émissions ainsi que les mécanismes complexes d'oxydation de ces hydrocarbures ne sont toujours pas bien compris et quantifiés. De nouvelles études visant à l'élucidation de ces processus sont donc requises pour mieux caractériser l'environnement naturel dans lequel les perturbations humaines prennent place.

Dans ce projet, l'impact des émissions anthropiques et biogéniques sur la formation d'ozone troposphérique et d'autres oxydants a été examiné à l'aide d'une combinaison d'activités de modélisation et d'études de laboratoire. Les modèles atmosphériques sont les meilleurs outils disponibles permettant d'estimer l'impact

des émissions anthropiques sur les concentrations de polluants nocifs (comme l'ozone) et de composés (tels que le méthane, l'ozone et les aérosols) importants pour l'équilibre radiatif de la planète, et donc pour le climat. Ces modèles sont une représentation simplifiée de l'atmosphère réelle et tiennent compte de la plupart des processus physiques et chimiques qui déterminent la composition troposphérique. La confrontation des résultats de modèles avec les observations et l'amélioration des paramétrisations de ces modèles constituent des aspects importants de ce projet. Un autre aspect très important de ce projet est le développement et l'application de nouvelles techniques de mesure adaptées à l'élucidation de réactions chimiques importantes des hydrocarbures non-méthaniques biogéniques. Les études conduites à l'aide de ces techniques sont cruciales pour réduire les incertitudes liées à la chimie des hydrocarbures biogéniques.

Objectifs

Les principaux objectifs de ce projet sont les suivants :

- Réduire les incertitudes sur les processus qui influencent la composition globale de la troposphère ; plus précisément, quantifier l'impact des composés biogéniques volatiles ; encore plus précisément, déterminer les produits et rendements des réactions d'hydrocarbures biogéniques majeurs (les monoterpènes α - et β -pinène) avec le radical hydroxyle (OH).
-
- Quantifier l'influence des activités humaines sur la composition de la troposphère globale (les oxydants en particulier) et sur sa capacité oxydante.

Resultats

Nos résultats sont conformes aux objectifs décrits ci-dessus :

A. Réduction des incertitudes

Nous avons contribué à l'élucidation de la dégradation chimique de deux hydrocarbures biogéniques importants (α - et β -pinène) par réaction avec le radical hydroxyle. Plusieurs produits de réaction jusqu'alors inconnus ont été indentifiés, et des mécanismes réactionnels ont été proposés pour expliquer leur formation.

Les résultats suivants ont été obtenus :

1. Dans le cas de l' α -pinène, le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone, et l'acétone ont été identifiés et quantifiés par analyse de spectrométrie de masse. Les rendements de production obtenus dépendent fortement de la pression,

suggérant que le taux de stabilisation détermine le sort de l'adduit primaire α -pinène-OH.

2. Les produits les plus importants sont des composés semi-volatiles, pour lesquels de nouvelles méthodes de détection ont été développées. Ces produits ont d'abord été piégés dans de l'azote liquide et ensuite identifiés par spectrométrie de masse. L'analyse a montré que le campholène-aldéhyde et le pinonaldéhyde sont produits par la réaction de l' α -pinène, tandis que le nopinone est le principal produit d'oxydation de β -pinène.
3. Une nouvelle méthode d'échantillonnage a été employée pour la détection de composés carbonyles légers. Ainsi, de nouveaux produits d'oxydation de l' α -pinène ont pu être déterminés: le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et l'acétone. Dans le cas de β -pinène, les produits suivants ont été détectés : nopinone, acétone, acétaldéhyde, formaldéhyde et pour la première fois, trans-3-hydroxynopinone, périllaldéhyde, alcool périllique et myrtanal. La détection de ces quatre derniers composés permettra probablement d'éclaircir le mécanisme d'oxydation de β -pinène.
4. Des mécanismes ont été proposés pour expliquer la formation de ces produits. Nous avons pu conclure que le Master Chemical Mechanism (MCM) décrivant la dégradation des terpènes n'est pas en mesure d'expliquer les rendements observés et devra être ajusté en conséquence.

En outre, et en collaboration avec des équipes internationales, nous avons continué et terminé la réalisation de deux modèles détaillés de chimie-transport de la troposphère globale, les modèles IMAGES et MOZART. Ces deux modèles constituent d'excellents outils utilisés par plusieurs équipes internationales pour quantifier des processus qui contrôlent la composition de la troposphère, et en particulier l'ozone et ses précurseurs. Par exemple, ces modèles ont été utilisés pour déterminer l'influence des processus d'émission (feux de forêt, éclairs, etc.) sur la distribution des composés chimiques. Le bilan de l'ozone a été quantifié, ainsi que les contributions de différents processus chimiques à sa formation et à sa destruction.

De nouvelles techniques de modélisation ont été mises au point dans le but de comprendre comment les observations d'espèces chimiques peuvent être utilisées pour fournir des contraintes sur les émissions de précurseurs d'ozone. Dans l'avenir, ces développements seront la base pour l'exploitation de mesures de composés troposphériques depuis l'espace.

B. Quantification de l'influence des activités humaines

Les modèles IMAGES et MOZART ont été employés pour évaluer quantitativement l'impact des activités humaines sur la composition troposphérique. Ces résultats ont été obtenus en partie dans le cadre d'évaluations internationales (rapports IPCC).

- Nous avons évalué l'impact des émissions par les avions subsoniques sur l'ozone troposphérique et sur la capacité oxydante de l'atmosphère. Ces émissions augmentent les concentrations d'ozone d'environ 6% en été à nos latitudes, d'après nos calculs. Les modèles prédisent aussi que l'influence de ces émissions augmentera dans le futur.
- Nous avons estimé l'impact attendu de l'industrialisation et de l'accroissement de la demande énergétique et de la population au cours du 21ème siècle. L'influence possible des changements climatiques sur la chimie troposphérique a été également évaluée. Nos calculs suggèrent une très grande augmentation de la concentration d'ozone à la surface dans les régions les plus peuplées des latitudes tropicales. Ces niveaux élevés de concentration d'ozone constitueront une menace sérieuse pour la santé publique et pour l'agriculture dans ces régions. Il est à noter cependant qu'il existe des différences importantes entre les prédictions par les différents modèles.

Valorisation

- Nos résultats ont été rendus disponibles grâce à 1) de nombreuses communications dans des conférences internationales, 2) des publications dans des revues internationales et 3) par l'intermédiaire d'un site web du programme EUROTRAC.
- Nos résultats expérimentaux ont été incorporés dans le programme européen EUROTRAC 2, au sein du projet "Chemical Mechanism Development" (CMD).
- Nos résultats de modélisation sur les possibles impacts futurs de l'aviation et de l'industrialisation sont en partie des contributions à deux rapports de l'IPCC.

Recommandations

- Etant donnée l'importance largement reconnue de la chimie troposphérique dans le débat sur les changements climatiques et sur la qualité de l'air, et en raison des grandes incertitudes restantes sur les processus impliqués, nous recommandons fortement que soient poursuivis (et si possible, renforcés) les efforts belges et européens de recherche dans ce domaine.
- Plus spécialement, étant donnée l'importance de la biosphère dans le système climatique, et constatant les très grandes incertitudes restantes dans la quantification des émissions biosphériques et de leurs impacts, nous recommandons que soient poursuivis les efforts de recherche dans ce domaine.
- Reconnaissant que les émissions de gaz comme le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et les hydrocarbures non-méthaniques tendent à augmenter la concentration de l'ozone (un gaz à effet de serre) dans la troposphère, nous estimons que ces émissions doivent être considérées dans les efforts qui seront entrepris pour modérer les changements climatiques.
- Nos calculs indiquant que les concentrations d'ozone troposphérique devraient augmenter fortement dans de nombreuses régions fort peuplées de la planète, représentant dès lors une menace considérable pour la santé et l'agriculture dans ces régions, nous recommandons que des stratégies soient élaborées pour réduire les émissions de précurseurs d'ozone (monoxyde de carbone, oxydes d'azote et hydrocarbures), non seulement dans nos pays, mais aussi dans le reste du monde.