



HAL
open science

Un modèle de dépôt d'ozone sur les grandes cultures en Ile-de-France

Benjamin Loubet, Patrick Stella, Erwan Personne, Eric Lamaud, Pierre Cellier

► **To cite this version:**

Benjamin Loubet, Patrick Stella, Erwan Personne, Eric Lamaud, Pierre Cellier. Un modèle de dépôt d'ozone sur les grandes cultures en Ile-de-France. *Éclairages*, 2013, 17 (oct-dec 2013), pp.1-4. hal-01192543

HAL Id: hal-01192543

<https://hal.science/hal-01192543>

Submitted on 28 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

éclairages | 17

sur notre futur commun

octobre-décembre 2013

Un modèle de dépôt d'ozone sur les grandes cultures en Ile-de-France

Benjamin Loubet¹, Patrick Stella^{1 2}, Erwan Personne³, Éric Lamaud et Pierre Cellier¹

- 1. INRA, UMR Environnement et grandes cultures, 78850 Thiverval-Grignon.
- 2. Max Planck Institute for Chemistry, Biogeochemistry Department, 55020 Mainz, Allemagne.
- 3. AgroParisTech, UMR Environnement et grandes cultures, 78850 Thiverval-Grignon.
- 4. INRA, UR Écologie fonctionnelle et physique de l'environnement, 33883 Villenave d'Ornon.

L'ozone, un polluant majeur pour la végétation

L'ozone troposphérique est une préoccupation majeure de santé publique et de santé des écosystèmes. À ce titre, des protocoles internationaux dans le cadre de la Convention de Genève (protocole de Göteborg, 1999 ; <http://www.unece.org/env/lrtapl/>) visent à limiter sa formation et l'occurrence de pics d'ozone, par le contrôle de ses précurseurs. Si la première préoccupation concerne la santé publique (les pics d'ozone affectent les fonctions respiratoires), l'ozone absorbé par les plantes altère leur fonctionnement photosynthétique et réduit donc la biomasse produite. Ces impacts sur la biomasse

pourraient être très importants pour la production agricole mondiale future, avec des répercussions économiques fortes (Avnery et al., 2011), et pour la capacité des écosystèmes à stocker du carbone (Sitch et al., 2007). L'ozone est un polluant secondaire formé essentiellement par réaction dans l'atmosphère entre les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils. **Le dépôt « sec » est le processus de dépôt par diffusion turbulente sur la biosphère des composés gazeux et des particules présent dans l'atmosphère.** Le dépôt sec d'ozone à la surface des écosystèmes terrestres représente la seule voie de destruction définitive d'ozone dans le bilan d'ozone troposphérique (1 Tg vaut 1 million de tonnes). Le dépôt sec, estimé à $1\,000\text{ Tg O}_3\text{ an}^{-1}$ (Stevenson et al., 2006), est très important >>>

comparé aux autres termes du bilan d'ozone troposphérique que sont les intrusions d'ozone depuis la stratosphère estimées à $550 \text{ Tg O}_3 \text{ an}^{-1}$, et la production/destruction nette photochimique d'ozone représentant un apport de $450 \text{ Tg O}_3 \text{ an}^{-1}$ (Stevenson et al., 2006). Cependant, ces estimations restent très incertaines : Wild (2007) a en effet montré que l'incertitude sur le dépôt sec d'ozone était d'un facteur trois. Fowler et al. (1998) suggèrent que les simplifications apportées aux processus contrôlant le dépôt sec peuvent être des sources plus importantes d'incertitudes que celles appliquées au schéma réactif de la production d'ozone dans l'atmosphère.

Il est maintenant bien admis que le dépôt d'ozone se fait au moins selon trois voies parallèles : **par absorption stomatique** (c'est la même voie, permettant la photosynthèse, que suivant le CO_2 et la vapeur d'eau), **par dépôt sur les cuticules des feuilles et sur les troncs**, et **par dépôt sur le sol**. Néanmoins, le dépôt dit « non stomatique », qui inclut les voies « sol » et « cuticulaire », est mal décrit et les processus sous-jacents mal connus. De plus, la plupart des études ont été uniquement menées sur des couverts complètement développés, mais pas sur des couverts en croissance ou des sols nus. Le manque de connaissances sur le dépôt sec limite donc la capacité des modèles à quantifier précisément le puits d'ozone que constituent les écosystèmes terrestres aujourd'hui et *a fortiori* dans le futur.

Face à ce constat, nous avons cherché à construire un modèle de dépôt sec d'ozone qui prenne en compte chaque voie de dépôt et puisse donc être adapté à tous les stades de développement des couverts végétaux.

Plus particulièrement, l'intérêt s'est porté sur les écosystèmes agricoles car :

- > ils représentent un part importante de la surface terrestre (environ 44 % en Europe ; Eurostat, 2012) ;
- > les enjeux en termes de sécurité alimentaire et d'économie (liés aux baisses de rendements dues à l'ozone) en font un écosystème clé.

Cela nécessite de prendre en compte explicitement les périodes de sol nu, les périodes de croissance, de maturité et de sénescence de la culture.

Un modèle de « dépôt sec » d'ozone sur les couverts agricoles

Afin d'estimer le puits d'ozone que représentent les écosystèmes agricoles, il est nécessaire de pouvoir prédire les quantités cumulées d'ozone déposées sur ce type d'écosystème. De plus, étant donné que l'ozone est toxique pour les plantes, il est également nécessaire de déterminer la quantité d'ozone absorbé par les plantes par voie stomatique mais également la quantité déposée sur les cuticules qui représentent la seule protection des plantes contre les contraintes environnementales (pluies acides, pathogènes, dessèchement) et peuvent être altérées par les dépôts d'ozone.

Le modèle Surf atm-O_3 a donc été développé dans le but d'établir les bilans de dépôt d'ozone sur des écosystèmes cultivés et de déterminer la partition de ce dépôt sur le sol, la cuticule et le sol. Le modèle a été comparé à des mesures au champ montrant un biais inférieur à 15 % (Stella et al., 2011a). Pour aller au-delà de ce travail, une étude a été menée sur deux écosystèmes agricoles, contrastés par leurs morphologies et leurs périodes de végétation, à savoir une parcelle de maïs en 2008 (7 mois) et une parcelle de blé d'hiver en 2009. Les bilans ont été réalisés en prenant les conditions

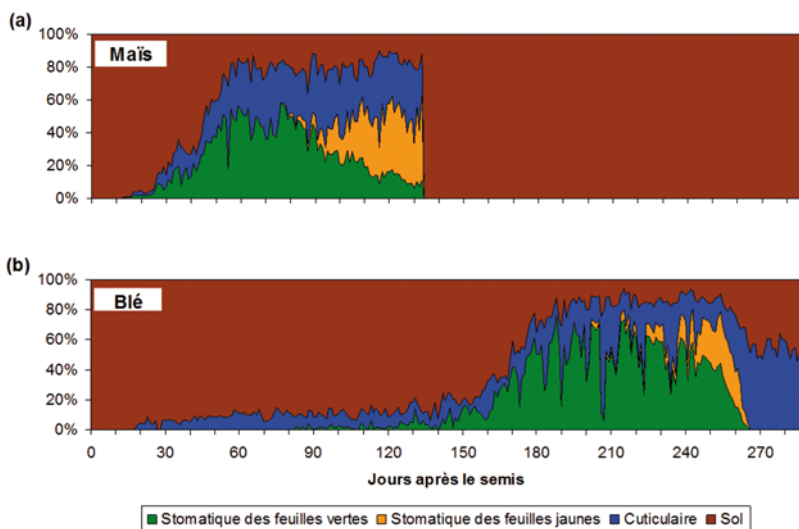
météorologiques et les caractéristiques des couverts mesurées sur la parcelle de suivi des flux de gaz à effet de serre à longue durée ICOS (*Integrated Carbon Observation System*) de l'INRA de Grignon (40 km à l'ouest de Paris ; Loubet et al., 2011).

Ce travail a par ailleurs montré que le dépôt d'ozone sur le sol diminue quand l'humidité relative de l'air à la surface du sol augmente. Ce résultat est interprété comme un effet de saturation des surfaces du sol par des molécules d'eau diminuant ainsi le dépôt d'ozone, qui est peu soluble, sur les fractions minérale et organique du sol. Contrairement aux études précédentes supposant de faibles variations de la résistance de sol, nous avons montré que celle-ci subissait de fortes variations à l'échelle journalière, de 50 à 200 s m^{-1} . **Cette nouvelle paramétrisation du dépôt sur le sol a permis de modéliser de façon satisfaisante le dépôt d'ozone lors des périodes de sol nu et pendant les premiers stades de développement des couverts agricoles.** La comparaison du modèle de dépôt d'ozone aux données mesurées sur maïs a également montré la nécessité d'inclure un dépôt stomatique d'ozone sur les feuilles sénescentes, encore capables de transpirer mais plus de photosynthétiser.

À l'échelle de la saison de culture (du semis jusqu'à la récolte), le maïs et le blé d'hiver se sont avérés des puits d'ozone (24 et $34 \text{ kg O}_3 \text{ ha}^{-1}$), dont environ 40 à 50 % se dépose sur le sol, tandis que le dépôt cuticulaire représente environ 25 % et l'absorption stomatique 20 % pour le maïs et 30 % pour le blé. À l'échelle annuelle, incluant donc des périodes d'interculture, 46 kg d'ozone par hectare se sont déposés sur les deux couverts.

Les deux cultures ont des bilans d'ozone contrastés en ce qui concerne la voie stomatique. Cette forte différence est

● **Contribution journalière des dépôts stomatiques des feuilles vertes et jaune, cuticulaire et sol pour un couvert de maïs et de blé d'hivers depuis leur date de semis. Aucune interculture n'est considérée.**



liée aux caractéristiques physiologiques du blé et du maïs : la conductance stomatique maximale du blé est deux fois plus élevée que celle du maïs (Emberson et al., 2000), expliquant la différence des bilans stomatiques. Par ailleurs le dépôt non stomatique domine le bilan total d'ozone, à la fois sur la période annuelle mais aussi sur la période de culture. Cela est en accord avec les résultats obtenus par d'autres auteurs comme Altimir et al. (2004) et Fares et al. (2010).

Conclusions

Ce travail a permis d'aboutir à la formulation d'un modèle de dépôt d'ozone, Surf_{atm}-O₃, prédisant de façon satisfaisante le dépôt d'ozone et sa partition entre le sol, la cuticule et les stomates, sur des >>>

Références

Altimir N., Tuovinen J.-P., Vesala T., Kulmala M. et Hari P., 2004, « Measurements of ozone removal by Scots pine shoots: calibration of a stomatal uptake model including the non stomatal component », *Atmospheric Environment*, 38, 2387-2398.

Avnery S., Mauzerall D.L., Liu J., Horowitz L.W., 2011, « Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 2. Year 2030 potential crop production losses and economic damage under two scenarios of O₃ pollution », *Atmospheric Environment*, 45, 2297-2309.

Emberson L.D., Simpson D., Tuovinen J.-P., Ashmore M.R. et Cambridge H.M., 2000, « Towards a model of ozone deposition and stomatal uptake over Europe », *EMEP/MS-CW Note 6/2000*, Norwegian Meteorological Institute, Oslo, http://www.emep.int/reports/dnmi_note_6_2000.pdf.

Eurostat, 2011, Agriculture and fishery statistics. Main results – 2009-10,

ISSN 1977-2262, Publications Office of the European Union, Luxembourg, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-FK-11-001/EN/KS-FK-11-001-EN.PDF.

Fares S., McKay M., Holzinger R. et Goldstein A.H., « Ozone fluxes in a Pinus ponderosa ecosystem are dominated by non-stomatal processes: Evidence from long-term continuous measurements », *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 420-431, 2010.

Fowler D., Pilegaard K., Sutton M.A., Ambus P., Raivonen M., Duyzer J., Simpson D., Fagerli H., Fuzzi S., Schjoerring J.K., Granier C., Neftel A., Isaksen I.S.A., Laj P., Maione M., Monks P.S., Burkhardt J., Daemmgen U., Neiryck J., Personne E., Wichink-Kruit R., Butterbach-Bahl K., Flechard C., Tuovinen J.-P., Coyle M., Gerosa G., Loubet B., Altimir N., Gruenhage L., Ammann C., Cieslik S., Paoletti E., Mikkelsen T.N., Ro-Poulsen H., Cellier P., Cape J.N., Horvath L., Loreto F., Niinemets U., Palmer P.I., Rinne J., Misztal P., Nemitz E., Nilsson D., Pryor S., Gallagher M.W., Vesala T., Skiba U., Brüggemann N.,

Zechmeister-Boltenstern S., Williams J., O'Dowd C., Facchini M.-C., de Leeuw G., Flossman A., Chaumerliac N. et Erisman J.W., 2009, « Atmospheric composition change: Ecosystems-Atmosphere interactions », *Atmospheric Environment*, 43, 5193-5267.

Stevenson D., Dentener F.J., Schultz M.G., Ellingsen K., van Noije T.P.C., Wild O., Zeng G., Amann M., Atherton C.S., Bell N., Bergmann D.J., Bey I., Butler T., Cofala J., Collins W.J., Derwent R.G., Doherty R.M., Devet J., Eskes H.J., Fiore A.M., Gauss M., Hauglustaine D.A., Horowitz L.W., Isaksen I.S.A., Krol M.-C., Lamarque J.-F., Lawrence M.G., Montanaro V., Müller J.-F., Pitari G., Prather M.J., Pyle J.A., Rast S., Rodriguez J.-M., Sanderson M.G., Savage N.H., Shindell D.T., Strahan S.E., Sudo K. et Szopa S., 2006, « Multimodel ensemble simulations of present-day and near-future tropospheric ozone », *Journal of Geophysical Research*, 111, doi:10.1029/2005JD006338.

Wild O., 2007, « Modelling the global Tropospheric ozone budget: exploring the variability in current model », *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 2643-2660.

couverts agricoles, du semis jusqu'à la récolte (Stella, 2011). Ce modèle a été validé sur plusieurs sites et plusieurs cultures et reproduit les flux mesurés à moins de 15 % d'écart. Il a confirmé l'importance du dépôt non stomatique. Les différences entre le modèle et les mesures pourraient sans doute être améliorées en paramétrant la résistance de sol en fonction du type de sol. Une partie de la divergence observée entre modèle et mesures pourrait aussi être expliquée par la destruction d'ozone par des réactions chimiques au sein du couvert (avec des oxydes d'azote ou des composés organiques volatils oxygénés) (Lamaud et al., 2009).

À court terme, il faudrait valider ce type d'approche pour d'autres écosystèmes, en particulier les forêts et les prairies qui occupent une grande partie de la surface terrestre. À plus long terme, ce type de modèle sera couplé à des modèles de chimie de l'atmosphère aux échelles régionale, continentale et globale afin d'estimer la part du dépôt sec d'ozone sur les écosystèmes terrestres dans le bilan d'ozone troposphérique. Enfin, afin d'améliorer les estimations d'impacts de l'ozone sur le fonctionnement des couverts végétaux, le modèle pourrait être utilisé pour estimer le flux absorbé par la plante. ||

Pour en savoir plus

Lamaud E., Loubet B., Irvine M., Stella P., Personne E., Cellier P., 2009, « Partitioning of ozone deposition over a developed maize crop between stomatal and non-stomatal uptakes, using eddy-covariance flux measurements and modelling », *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 1385-1396.

Stella P., 2011, « Modélisation des flux d'ozone sur les couverts agricoles : prédiction et partition des dépôts stomatique cuticulaire et sol », Thèse de doctorat, Université Paris VI, 8 décembre 2011, 225 p.

Stella P., Loubet B., Lamaud E., Laville P. et Cellier P., 2011b, « Ozone deposition onto bare soil: a new parameterisation », *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 669-681.

Stella P., Loubet B., Laville P., Lamaud E., Cazaunau M., Laufs S., Bernard F., Grosselin B., Mascher N., Kurtenbach R., Mellouki A., Kleffmann J. et Cellier P., 2012, « Comparison of methods for the determination of NO-O₃-NO₂ fluxes and chemical interactions over a bare soil », *Atmospheric Measurement and Techniques*(5): 1241-1257.

Stella P., Personne E., Loubet B., Lamaud E., Ceschia E., Bonnefond J.-M., Beziat P., Keravec P., Mascher N., Irvine M. et Cellier P., 2011b, « Predicting and partitioning ozone fluxes to maize crops from sowing to harvest: the Surf_{atm}-O₃ model », *Biogeosciences*, 8: 2869-2886.

Contacts auteurs

- > Benjamin Loubet : loubet@grignon.inra.fr
- > Patrick Stella : patrick.stella@agroparistech.fr

|| **R2DS Ile-de-France** est un réseau de recherche sur le développement soutenable. Il a été créé en 2006 comme GIS CNRS à l'initiative du Conseil régional de l'Ile-de-France dans le but de favoriser la recherche sur le développement soutenable. Il réunit aujourd'hui 19 universités, grandes écoles et établissements publics de recherche. <http://www.r2ds-ile-de-france.com>

|| Dans un contexte climatique, démographique et énergétique complexe, la recherche agronomique doit étudier des enjeux majeurs à des échelles variées. Imaginer la disponibilité et la sécurité alimentaire mondiale en 2050, contribuer à la limitation du gaz à effet de serre d'origine agricole, favoriser l'adaptation de l'agriculture et des forêts au changement climatique non réversible sont autant de préoccupations mondialement partagées. Elles impliquent, entre autres, de connaître les comportements des individus à l'échelle des territoires ou des marchés, d'étudier les liens entre la santé des plantes, des animaux et des hommes, de rechercher de nouvelles voies pour la production d'énergie et de matériaux issus de l'agriculture et d'en limiter en général l'impact environnemental... Pour cela, l'**Institut national de la recherche agronomique (Inra)** produit des connaissances scientifiques et accompagne l'innovation économique et sociale dans les domaines de l'alimentation, de l'agriculture et de l'environnement. <http://www.inra.fr>

Coordination : Catherine Boemare
Conception graphique : Hélène Gay
Imprimé par XL-Print & mailing