VULNOZ

Vulnérabilité des agro-écosystèmes à l'**ozone**. Quels risques à l'horizon 2020-2030 ?

VMCS 2008

Coordinateurs : Pierre Dizengremel, Olivier Bethenod

9 Partenaires (Universités, INRA, CNRS) **UMR EEF** (Ecologie et Ecophysiologie Forestières INRA/Université de Lorraine), **UMR EGC** (Environnement et Grandes Cultures, INRA/AgroParisTech, Grignon), **IBIOS-Bioemco** (Interactions biologiques dans les sols, Paris - Est Créteil), **IBP** (Institut Biotechnologie des Plantes, Orsay), **LISA** (Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, Paris Est Créteil), **LSCE** (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif), **CESBIO** (Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère, Toulouse), **EPHYSE** (INRA, Ecologie Fonctionnelle et Physique de l'Environnement, Bordeaux), **UMR Economie Publique** (INRA-AgroParisTech, Grignon).

Objectifs du projet

L'ozone est un des principaux polluants atmosphériques des pays industrialisés et son fort pouvoir oxydant le rend très toxique pour les végétaux. La projection des scénarios actuels montre qu'au cours du XXIe siècle les concentrations d'ozone augmenteront au-delà des seuils acceptables pour un développement optimal des agro-écosystèmes, avec une forte variabilité régionale et temporelle. Prévoir les conséquences d'une augmentation des concentrations à l'échéance 2020-2030 implique d'améliorer les connaissances à plusieurs niveaux, de la plante à l'écosystème, puis de les traduire dans des modèles prédictifs en articulant les différentes échelles spatio-temporelles. Ainsi, Vulnoz a voulu mieux appréhender les flux d'ozone à l'échelle foliaire prenant en compte l'entrée stomatique et le pouvoir détoxicant cellulaire (ce dernier point demeurant encore mal connu) pour pouvoir par la suite inclure le potentiel de détoxication dans des modèles régionaux de production.

Méthodologie et Résultats

Il fallait d'abord lever 2 verrous de connaissance (i) la répartition entre les dépôts stomatiques (fig. 1) et non stomatiques[1, 2] en déterminant la quantité d'ozone qui pénètre réellement dans la plante à travers les stomates[3a et b] (fig. 2) et (ii) l' estimation de la capacité foliaire de détoxication[4, 5, 6, 7, 8] par la prise en compte des variations de pouvoir réducteur[9] et de pool d'antioxydants (ascorbate et glutathion) dans quatre plantes modèles (arabidopsis[10, 11, 12], blé, maïs, peuplier) étudiées en champ et/ou conditions contrôlées.

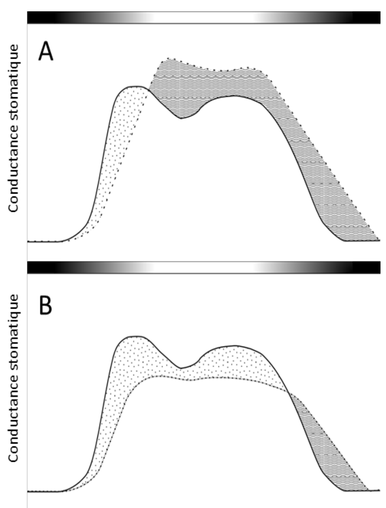
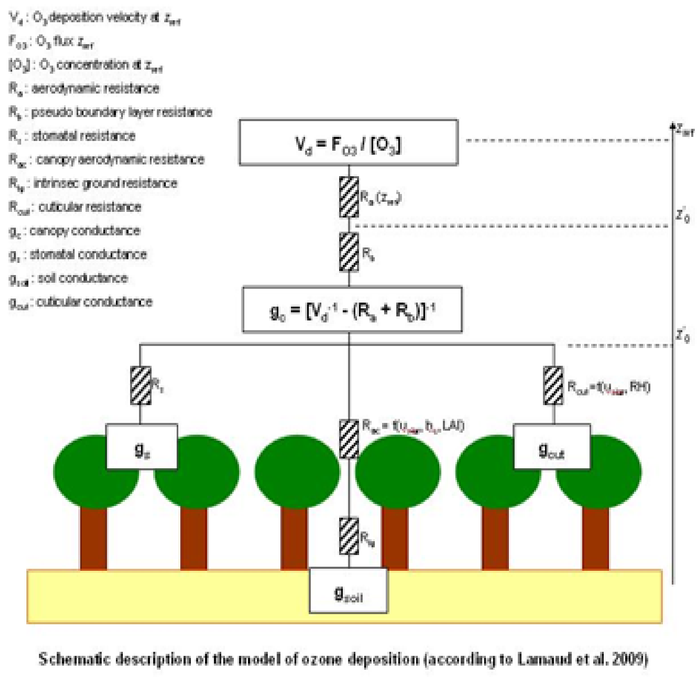


Fig. 2 Cinétique journalière hypothétique de la conductance stomatique (**A**) Différences entre génotypes dans des conditions ambiantes d'ozone pour un génotype sensible (ligne pointillée) et résistant (ligne continue) (**B**) Différences après une dérégulation stomatique. La surface hachurée représentant la quantité d'ozone en plus ayant pénétré dans la feuille (extrait de Dumont *et al.*, 2013) chez le génotype sensible.



Schematic description of the model of ozone deposition (according to Lamaud et al. 2009)

Fig.1. La validation de ce modèle indique que la répartition des flux stomatiques et non stomatiques varie fortement en fonction de l'activité physiologique des plantes et des conditions météorologiques

Des résultats obtenus sur blé, maïs et peuplier montrent que la tolérance à l'ozone est liée au bon maintien de l'état rédox de l'ascorbate et des valeurs constitutives de cet antioxydant.

La répartition des dépôts d'ozone et l'implication de l'ascorbate ont conduit à proposer le modèle MODD[13] de fonctionnement foliaire intégré à l'échelle du couvert (Fig. 3).

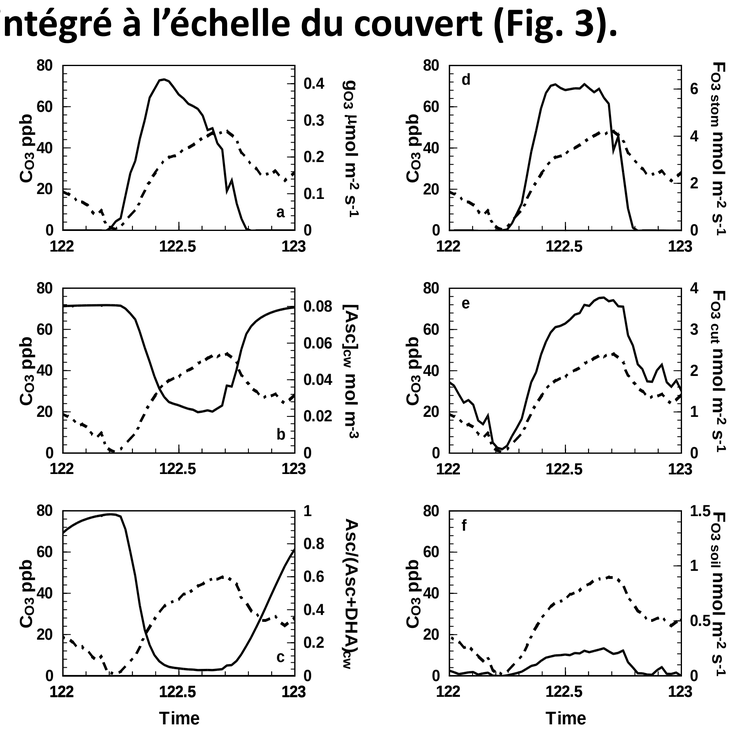


Fig. 3. Exemple de valeurs calculées en sortie du modèle MODD (Tuzet *et al.*, 2011) de la conductance stomatique pour l'ozone (a), de la concentration apoplastique en ascorbate (b), de la réduction relative d'ascorbate (c), du dépôt stomatique (d), du dépôt cuticulaire (e) et du dépôt d'ozone au sol (f) pour un couvert de blé (trait plein). Le cycle journalier de mesure de la concentration en ozone atmosphérique est aussi indiqué (tireté).

Cependant des résultats récents ont aussi montré une forte implication de la forme réduite du glutathion dans la tolérance à l'ozone, ce qui relativise le rôle prédominant attribué à l'ascorbate.

(iii) Les dynamiques d'oxydes d'azote précurseurs d'O_3 ont été étudiées sur la rotation des cultures[14].

(iv) Ces paramètres permettront l'amélioration des modèles de biosphère continentale et de chimie-transport (fig.4),

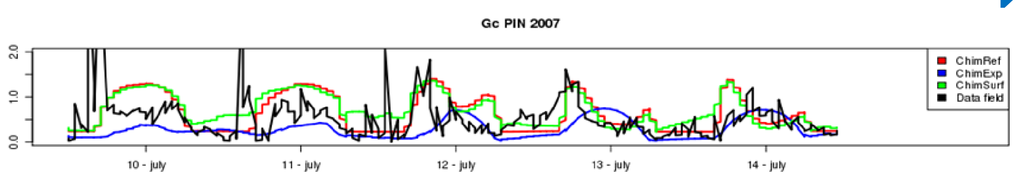


Fig.4 Comparaison de la conductance d'ozone mesurée et simulée pour le pin maritime. Séries temporelles présentées pour 5 journées de l'été 2007, mesurées (en noir) et produites par le modèle CHIMERE avec 3 versions différentes du module de dépôt d'ozone : schéma de référence (vert), paramétrisation expérimentale (bleu), schéma résistif du modèle Surfatm (rouge).

CONTACT :

Pierre Dizengremel,
pierre.dizengremel@univ-lorraine.fr
Olivier Bethenod,
bethenod@grignon.inra.fr

VULNOZ suite

Vulnérabilité des agro-écosystèmes à l'**ozone**. Quels risques à l'horizon 2020-2030 ?

VMCS 2008

selon les différents agro-écosystèmes pour quantifier les impacts aux échelles régionale et nationale[15] et estimer (v) l'évolution des risques en 2020-2030 et (vi) les conséquences socio-économiques[16] (fig.5) en sortie du modèle AROPAj.

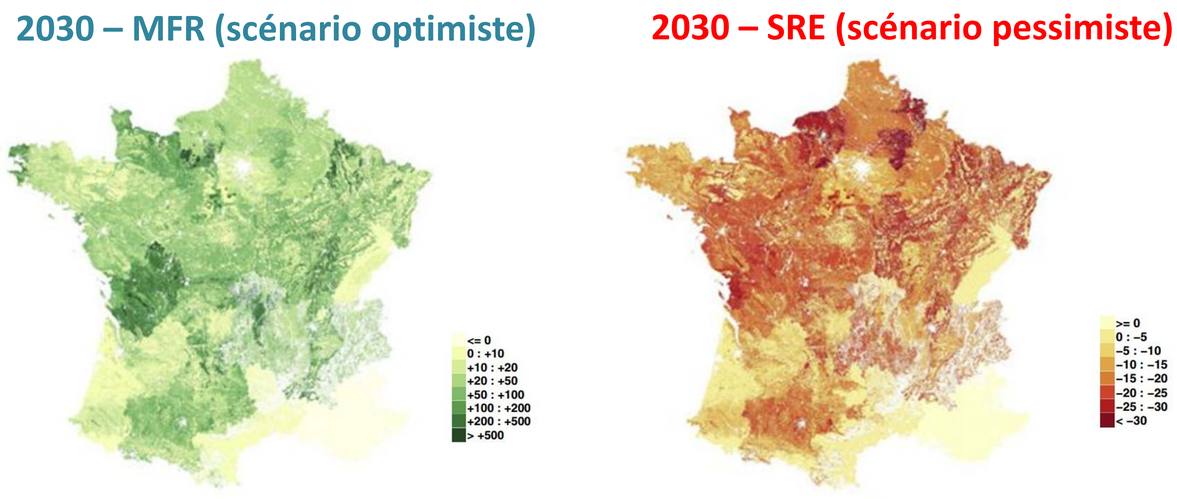
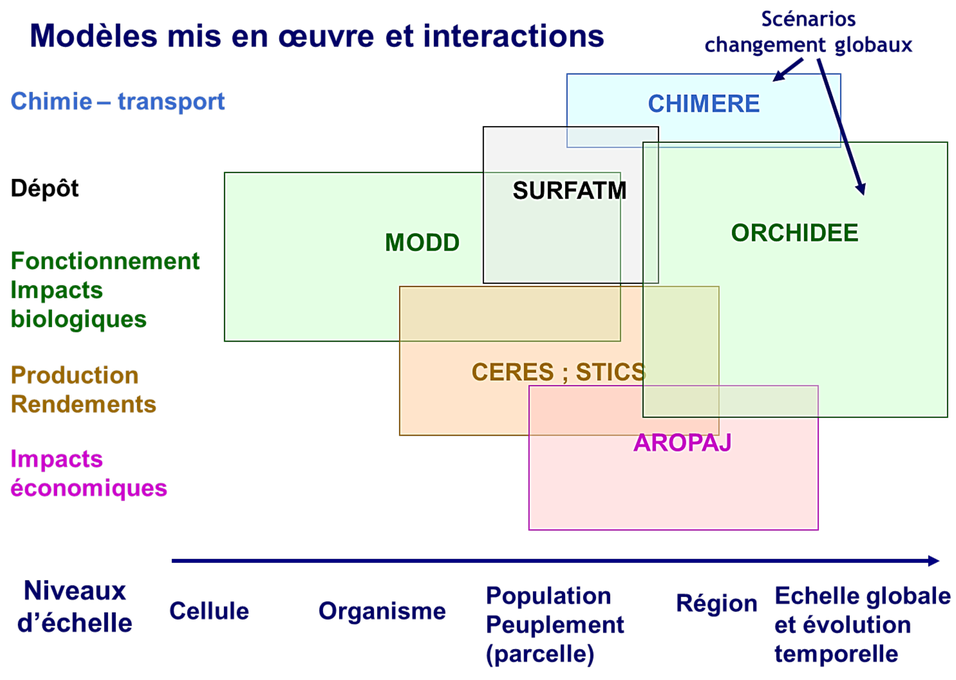


Fig.5 Changement de la production de blé (kg/ha)



Land allocation in thousand hectares (second line: relative change compared to 2001 in brackets) (third line: percentage of utilized agricultural area in italics). Other cereals: oat, rye, rice, maize, others; industrial production: potatoes, sugar beet; oilseeds: rape seed, sunflower, soybean; grass-feeding: beetroot fodder, maize fodder, protein fodder; meadows: meadow and waste land.

Scenario	Wheat	Barley	Other cereals	Industrial productions	Oilseeds	Grass-feeding	Meadows
REF-no O_3	4528	1618	3522	909	2171	2088	6447
2030-MFR	4431	2320	3854	972	2311	2359	6278
	(+6.4%)	(−6.0%)	(−1.9%)	(+0.1%)	(+0.2%)	(−0.4%)	(−0.6%)
	(17.8%)	*(9.3%)*	*(15.5%)*	*(3.9%)*	*(9.3%)*	*(9.6%)*	*(25.2%)*
2001-REF	4165	2470	3927	971	2306	2367	6314
	(16.7%)	*(9.9%)*	*(13.7%)*	*(3.9%)*	*(9.3%)*	*(9.6%)*	*(25.4%)*
2030-CLE	4075	2547	3934	970	2307	2369	6319
	(−2.2%)	(+3.1%)	(+0.2%)	(−0.05%)	(0%)	(+0.1%)	(+0.1%)
	(16.4%)	*(10.2%)*	*(13.7%)*	*(3.9%)*	*(9.3%)*	*(9.6%)*	*(25.4%)*
2030-SRE	3733	2726	4034	969	2297	2370	6380
	(−10.4%)	(+10.7%)	(+2.7%)	(−0.2%)	(−0.4%)	(+0.1%)	(+1.1%)
	(15%)	*(11%)*	*(14.1%)*	*(3.9%)*	*(9.2%)*	*(9.7%)*	*(25.6%)*

Conclusions et perspectives

Le premier verrou de connaissance concernant la répartition entre les dépôts d'O_3 stomatiques et non stomatiques a été en grande partie levé. Pour le second verrou, les processus liés à la définition d'une dose phytotoxique pour les plantes (POD) ont été explorés et des résultats significatifs obtenus à côté d'effets de l'ozone sur les caractéristiques de fonctionnement des stomates. Deux antioxydants se révèlent importants : l'ascorbate et le glutathion[19, 20, 21] ainsi que le pouvoir réducteur moteur de leur efficacité[18,19]. Des pistes pour améliorer les processus génétiques de détoxication comme de sénescence[17a et b] ont été proposées. A partir d'analyses sur différentes plantes modèles, VULNOZ a permis de préciser les indicateurs de risque pour l'ozone actuellement proposés par l'Union européenne sur les agro-écosystèmes : le POD^y en déterminant le seuil *y* de toxicité pour les plantes se traduira par des recommandations de valeurs seuils de protection contre la pollution atmosphérique en Europe (participation à l'ICP Vegetation de l'UNECE).

La modélisation empirique de la répartition entre dépôt stomatique et non stomatique a été implémentée dans le module de dépôt du modèle régional CHIMERE. Son évaluation, face au module classique de dépôt régional d'ozone, a été menée par comparaison entre le dépôt simulé et les données expérimentales obtenues sur 3 types de cultures (blé, maïs, pin). En s'appuyant sur les travaux précédents, des paramétrisations de l'impact de l'ozone sur la végétation ont été intégrées dans le modèle global de biosphère continental ORCHIDEE. Les premières simulations climatiques, utilisant des concentrations d'ozone calculées par le modèle de chimie-transport CHIMERE pour des scénarios futurs, ont montré les répercussions possibles tant sur les surfaces emblavées que sur les marges brutes des exploitations agricoles.

Cependant, il nous apparait illusoire de proposer un seul indicateur synthétique aux modélisateurs : l'analyse des processus est perfectible en tenant compte (i) des échanges intracanopée des COV (cf. projet JCJC Canopée) et (ii) de la modification des liaisons photosynthèse *vs* détoxication, ce qui se poursuit à travers le projet européen ECLAIRE.

[1]Agricultural and Forest Meteorology 151 (2011) 6, 669-681. [2]Biogeosciences 8 (2011) 10, 2869-2886. [3a] Environmental Pollution 165 (2012) 147-157. [3b] Environmental Pollution 173 (2013) 83-86. [4]Plant Biology (2009) 11, 35-42. [5]Plant Physiology (2011) 155, 2-18. [6] Workshop on redox processes and stress in plants, BASF, Mannheim (Allemagne), Mai 2011 (conférence invitée). [7]Plant, Cell & Environment (2012) 35, 454-484. [8]10th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants, Budapest (Hongrie), Juillet 2011 (conference invitée). [9] New Phytol., (2012) 195: 512–517. [10] Journal of Experimental Botany (2010) 61, 4197-4220. [11]Glutathione. The Arabidopsis Book (2011) http://www.bioone.org/doi/full/10.1199/tab.0142 . [12]The Plant Journal (2012) 69: 613-627. [13]Agricultural and Forest Meteorology (2011) 151, 480-492. [14] Plant and Soil (2011) 343, 109-137. [15]Global Change Biology (2011) 17, 2342-2359. [16]Ecological Economics 85 (2013) 50–58. [17a]Chemosphere 87 (2012) 789–795. [17b] Physiol. Plantarum (2013) doi:10.1111/j.1399-3054.2012.01686.x. [18] New Phytologist (2012) 195 : 512-517. [19] Plant, Cell & Environment, accepted (2013). [20] Antioxid Redox Signal (2013) http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23148658. [21] Plant Cell Environ (2013). doi: 10.1111/pce.12048. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23210597

CONTACT :
Pierre Dizengremel,
pierre.dizengremel@univ-lorraine.fr
Olivier Bethenod,
bethenod@grignon.inra.fr