

GIS Climat-Environnement-Société
Journée de rencontre
« Changement climatique et qualité de l'air »
15 septembre 2008

Pollution atmosphérique et écosystèmes ... terrestres

Pierre CELLIER

*UMR INRA-AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures
78850 Thiverval-Grignon*

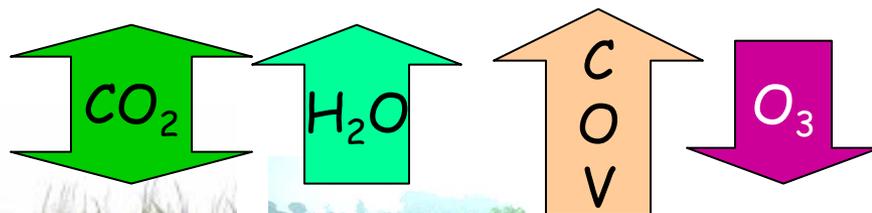


ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

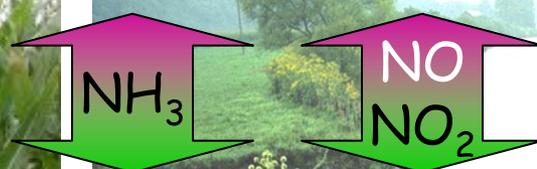


Les écosystèmes sont le lieu de multiples échanges de polluants et gaz à effet de serre

Utiles à leur fonctionnement et leur métabolisme



Néfastes pour leur métabolisme



pesticides

Puits:
Absorption,
recyclage de
polluants

Source :
Émissions de polluants
ou gaz à effet de serre



AGRICULTURE

ENVIRONNEMENT



Plan

- Quelques préalables
- Les écosystèmes comme « acteurs » de la pollution de l'air : place et importance dans les cycles de polluants (et GES)
 - Importance et variabilité spatiale et temporelle des sources
 - Dépôts: processus et modélisation
- Les écosystèmes comme « victimes » de la pollution de l'air:
 - Effet de l'ozone
 - Dépôts atmosphériques et conséquences
 - Modification du climat régional et global

Quelle place pour les écosystèmes ?

(Source IFEN)	Superficie 2000 (en km ²)
Sols artificiels non bâtis	15 580
Sols artificiels bâtis	10 590
Routes et parkings	16 830
Forêts	150 490
Cultures annuelles	152 990
Roches et eaux	18 250
Cultures pérennes	12 830
Prairies	109 800
Landes, parcours et alpages	41 710
Haies, arbres épars et peupleraies	18 870

Systemes ± naturels = 92%

Systemes agricoles = 50%

Systemes ± anthropisé = 85%

Des flux faibles ...

H₂O → 10⁴-10⁵ kg / ha/ jour

CO₂ → 10²-10³ kg / ha/ jour

COV → 10¹-10² kg / ha/ jour

NH₃ → 10⁻³-10 kg / ha/ jour

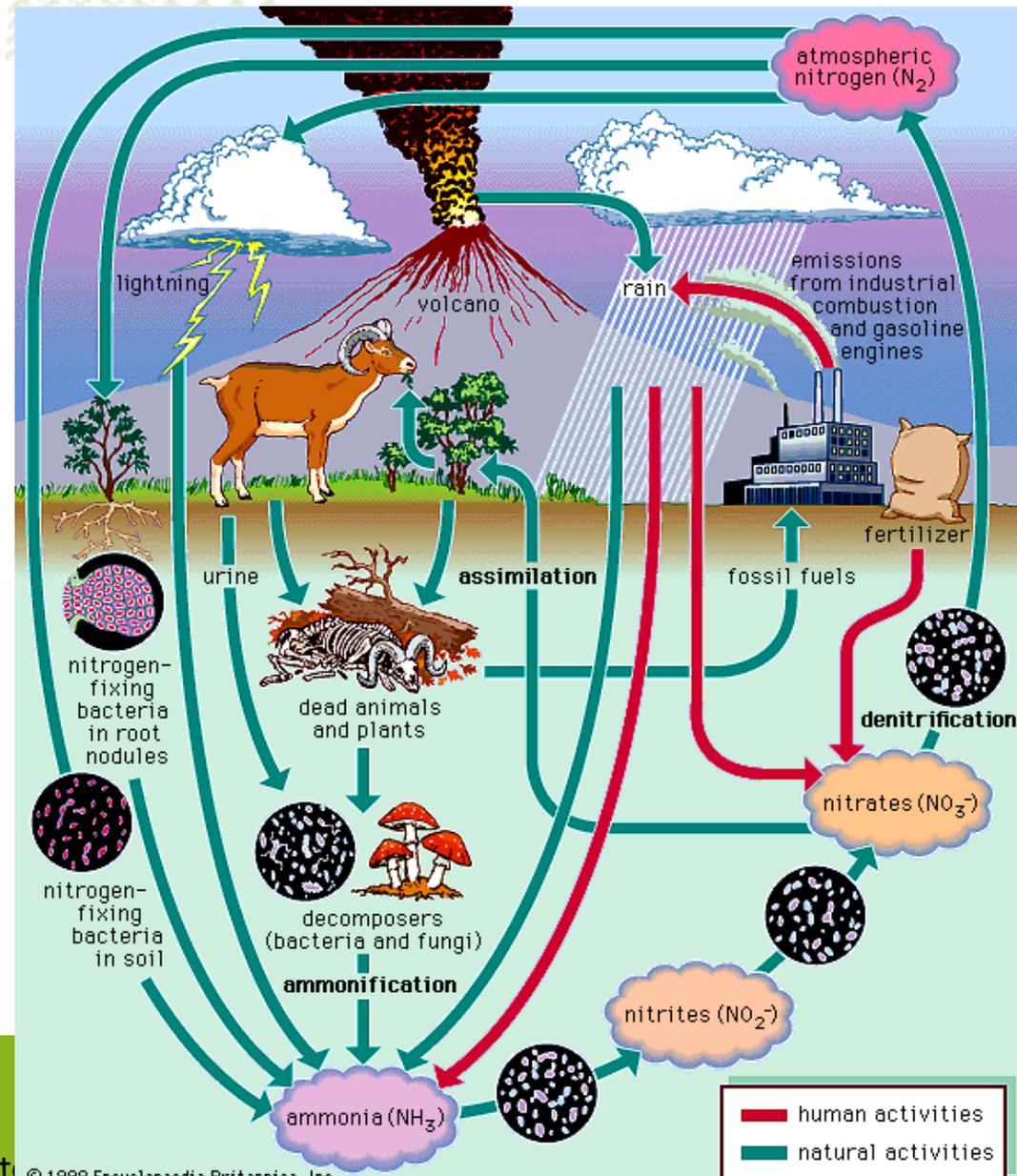
N₂O }
NO } → 10⁻³-10⁻¹ kg / ha/ jour

Pesticides → g/ha/jour

... mais significatifs,
car ils se produisent sur
des grandes étendues

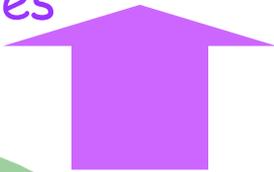
Exemple du cycle de l'azote

Un écosystème est un ensemble complexe d'êtres vivants, végétaux et animaux, micro et macro-organismes. Une partie importante du cycle des polluants et GES se passe dans le sol.



Quelles sources et quels puits ?

NH₃, NO, N₂O
CO₂, CH₄, (COV)
H₂O
Pesticides
Particules
...



Écosystèmes ± anthropisés

et ... NH₃, NO, COV → O₃, Particules

NO₂
CO₂, CH₄
Particules
...



NO, N₂O
CO₂, CH₄, COV
H₂O
...



Ecosystèmes ± naturels

NH₃, NO₂
CO₂, CH₄
Particules
Pesticides
...



Plan

- Quelques préalables
- Les écosystèmes comme « acteurs » de la pollution de l'air : place et importance dans les cycles de polluants (et GES)
 - Importance et variabilité spatiale et temporelle des sources
 - Dépôts: processus et modélisation
- Les écosystèmes comme « victimes » de la pollution de l'air:
 - Effet de l'ozone
 - Dépôts atmosphériques et conséquences
 - Modification du climat régional et global



Un exemple d'émission depuis le sol :

les émissions de NO

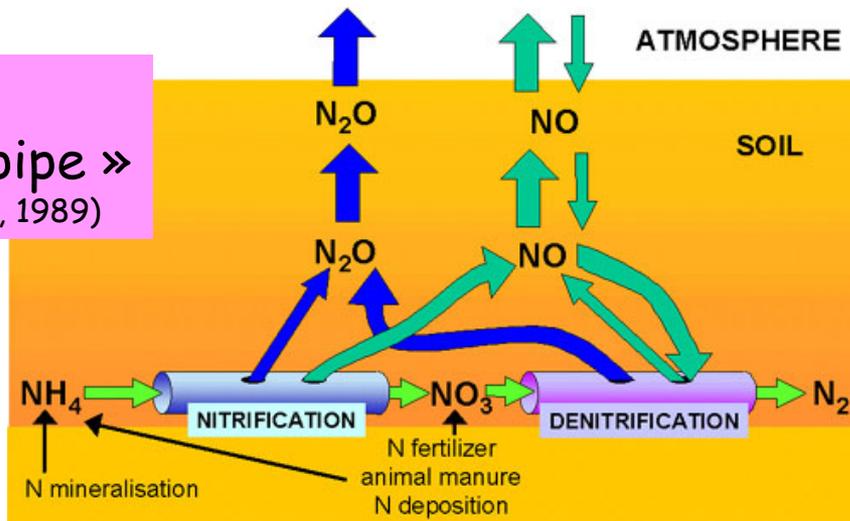


Origine des émissions de NO par les sols ?

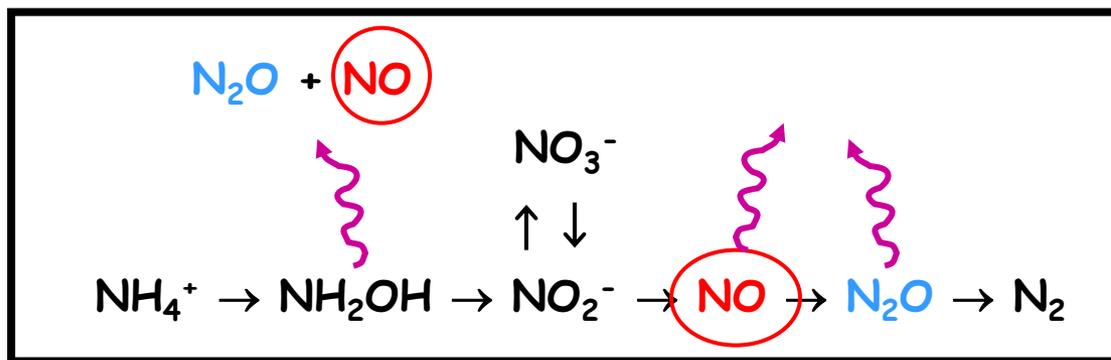
Les émissions de NO sont liées aux transformations microbiennes de l'azote dans le sol : nitrification et dénitrification

Schéma
« hole in the pipe »
(Firestone et Davidson, 1989)

Engrais
Dépôts atmosph.
Matière organique



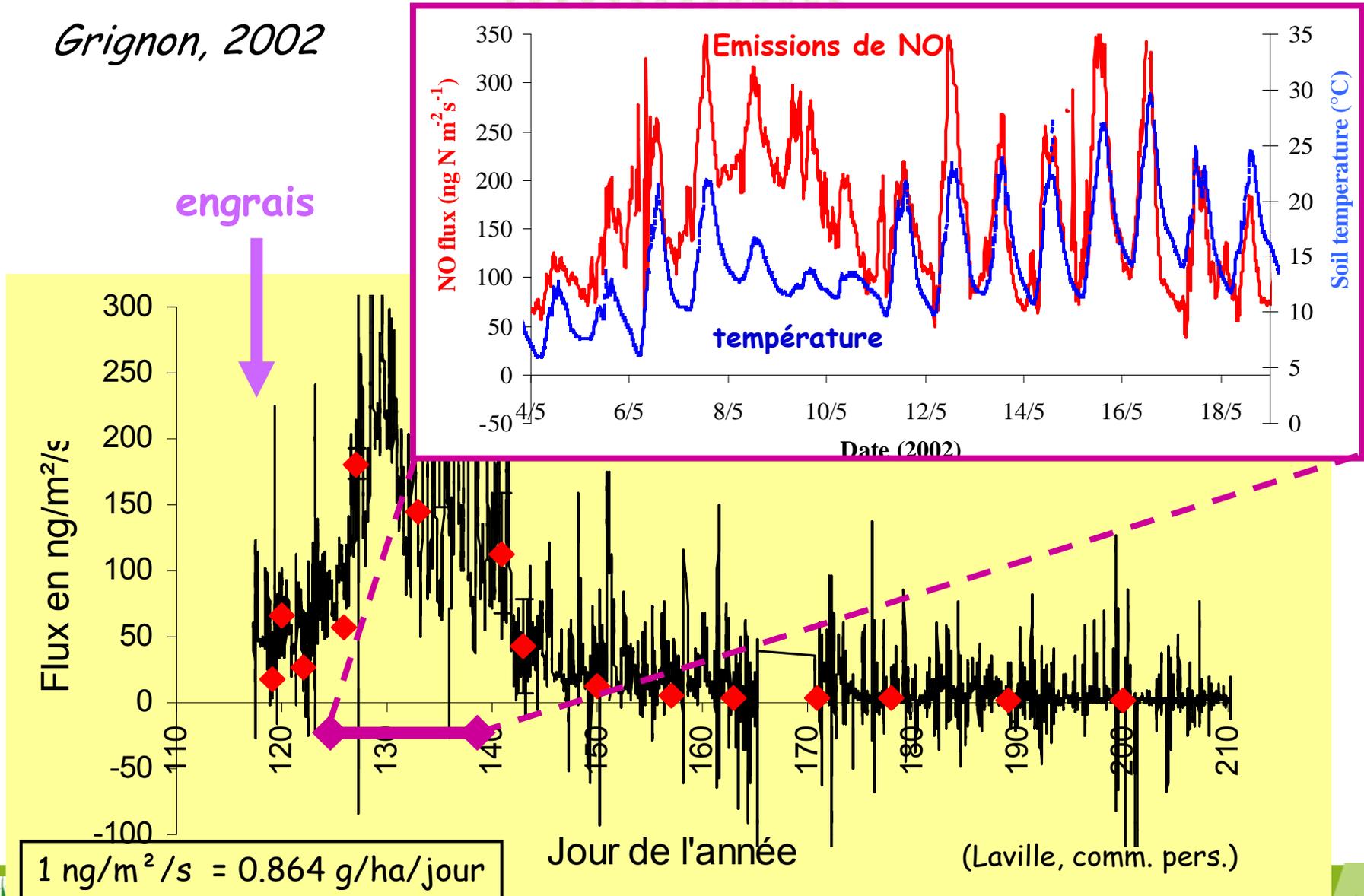
d'après Fowler et al.
CEH Edinburgh



(Wrage et al. 2001)

Mesure des émissions de NO par une culture de Maïs

Grignon, 2002



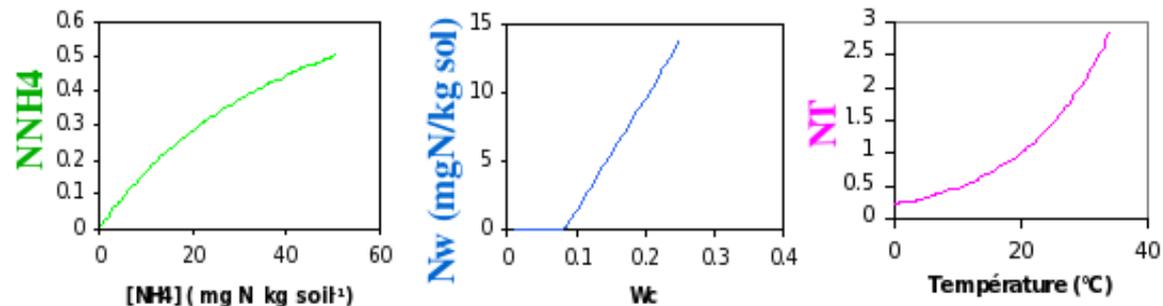
Modélisation et spatialisation des émissions de NO par les sols

Étude de processus → les émissions dépendent en premier lieu des apports d'azote (agriculture, atmosphère, sol), puis du sol et du climat (température, teneur en eau du sol)

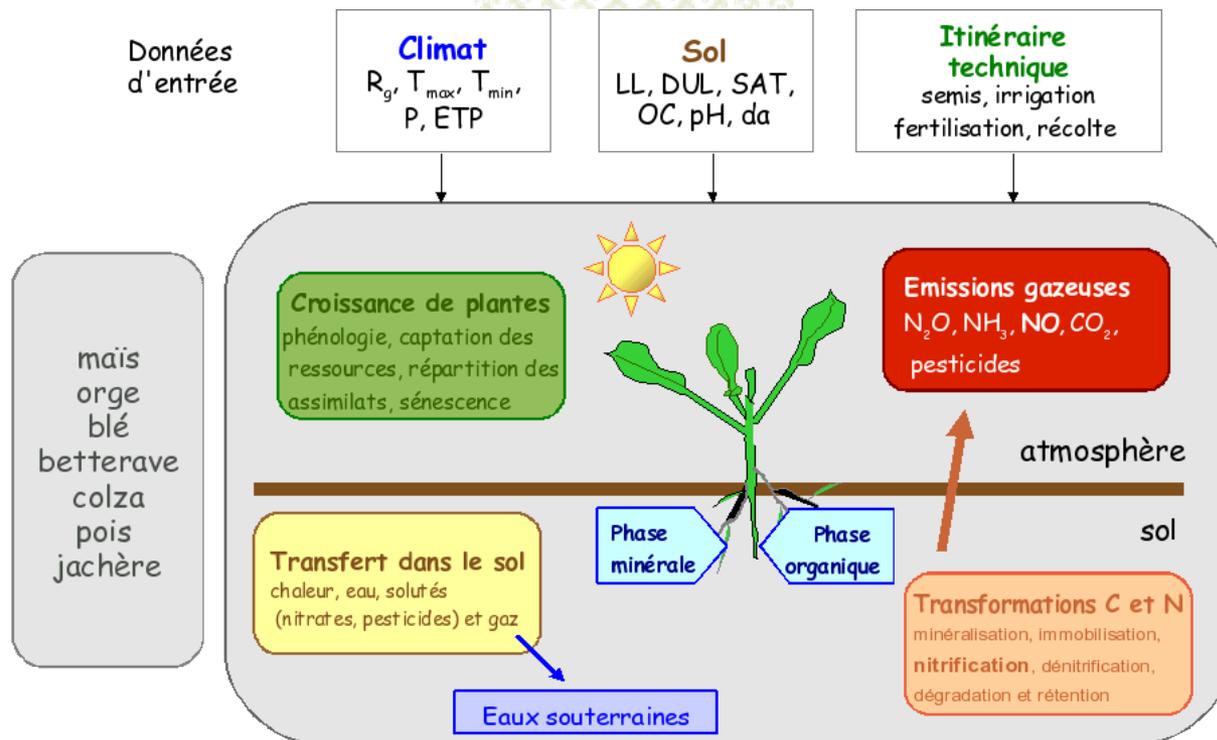
Modèle de Laville et al. (2005)

$$N_{NO} = A N_{NH4} N_T N_w$$

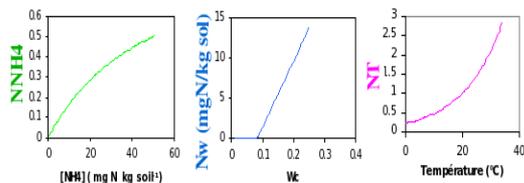
pour les terres arables : A = 2% des apports d'azote



Climat - Environnement - Société

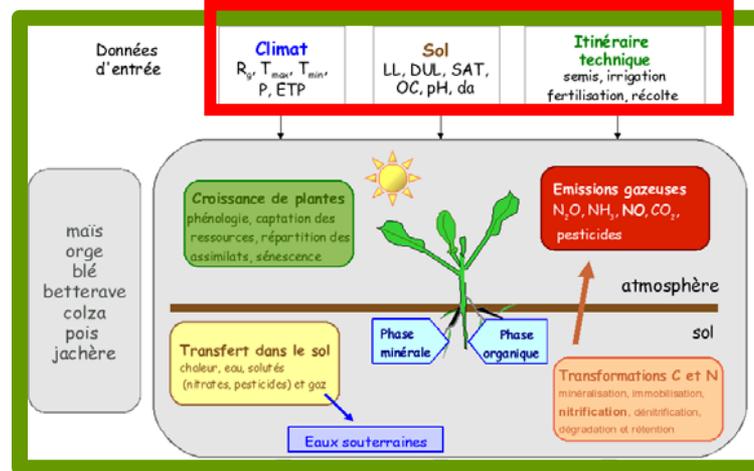
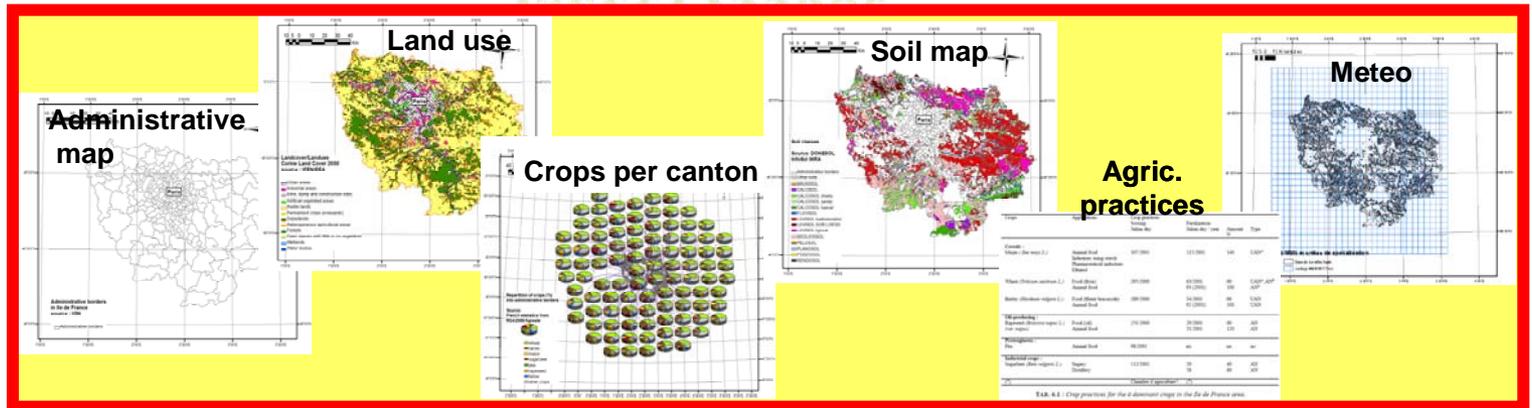


$$N_{NO} = A N_{NH4} N_T N_w$$



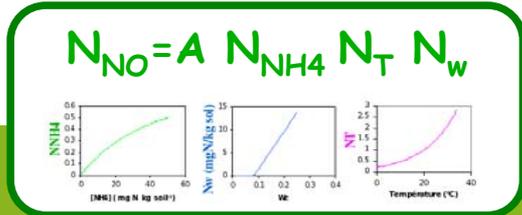
Spatialisation

BD
sous
SIG

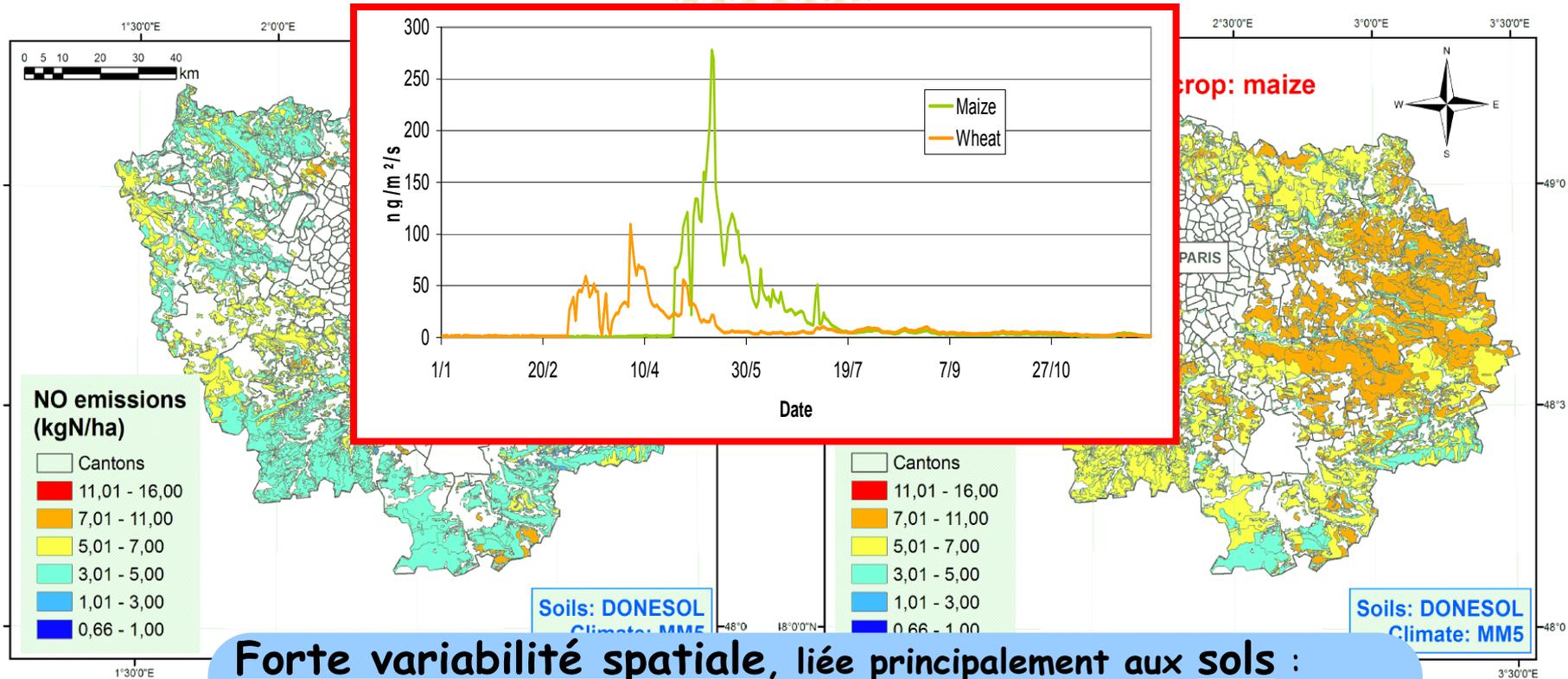


Cadastre horaire des émissions de NO par les sols agricoles en Ile de France (année 2001)

Thèse M.-N. Rolland



Cadastres des émissions de NO par type de culture

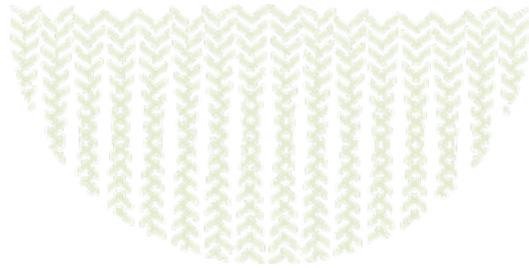


Forte variabilité spatiale, liée principalement aux sols :
de 1.47 à 11.1 kgN ha⁻¹ , Moyenne = 5.02 kgN ha⁻¹

Zones d'émission :
Sud Ouest et Est de Paris

Importance des **conditions climatiques**

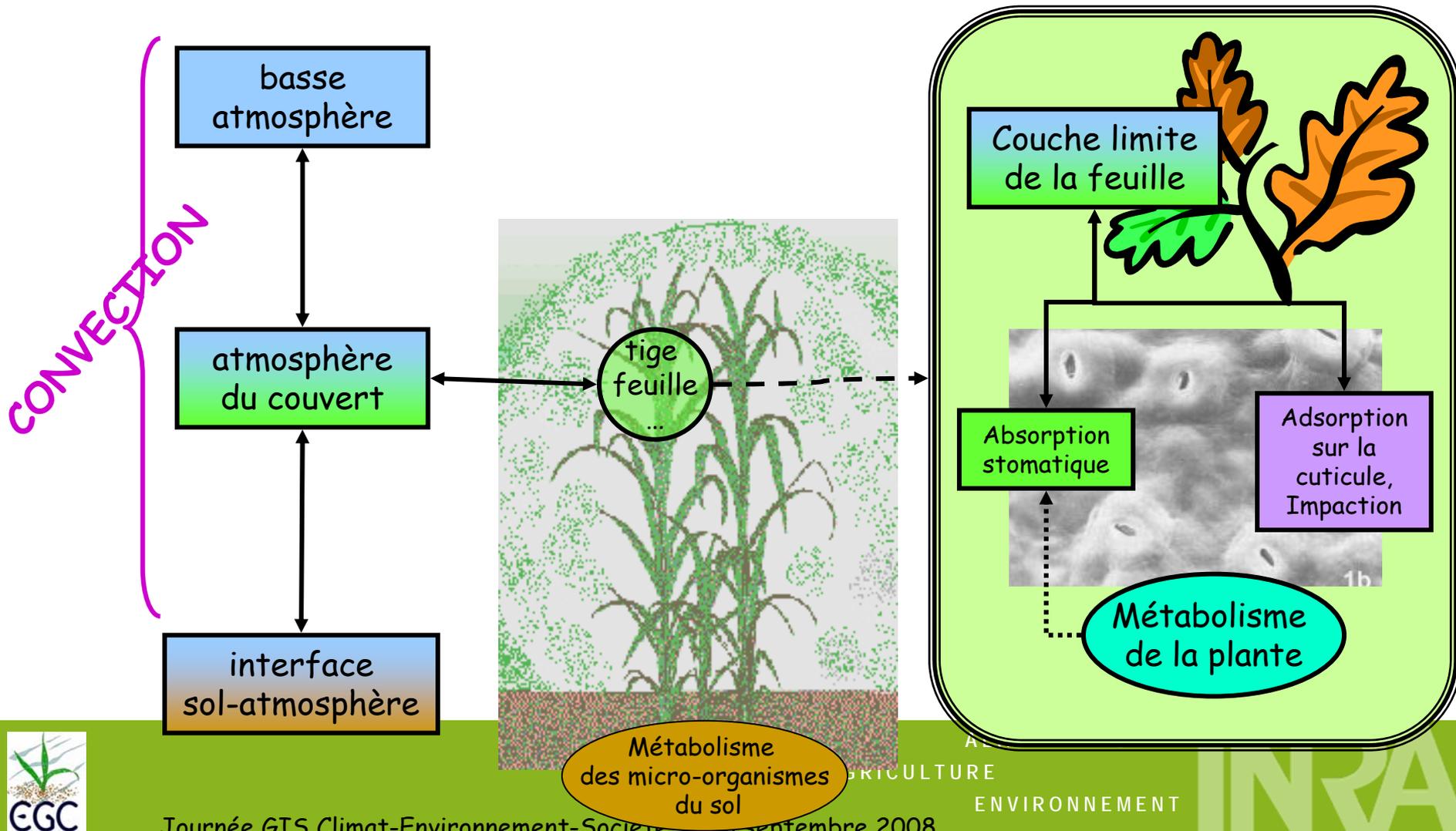
Variabilité temporelle liée aux **pratiques agricoles** (dont cultures)



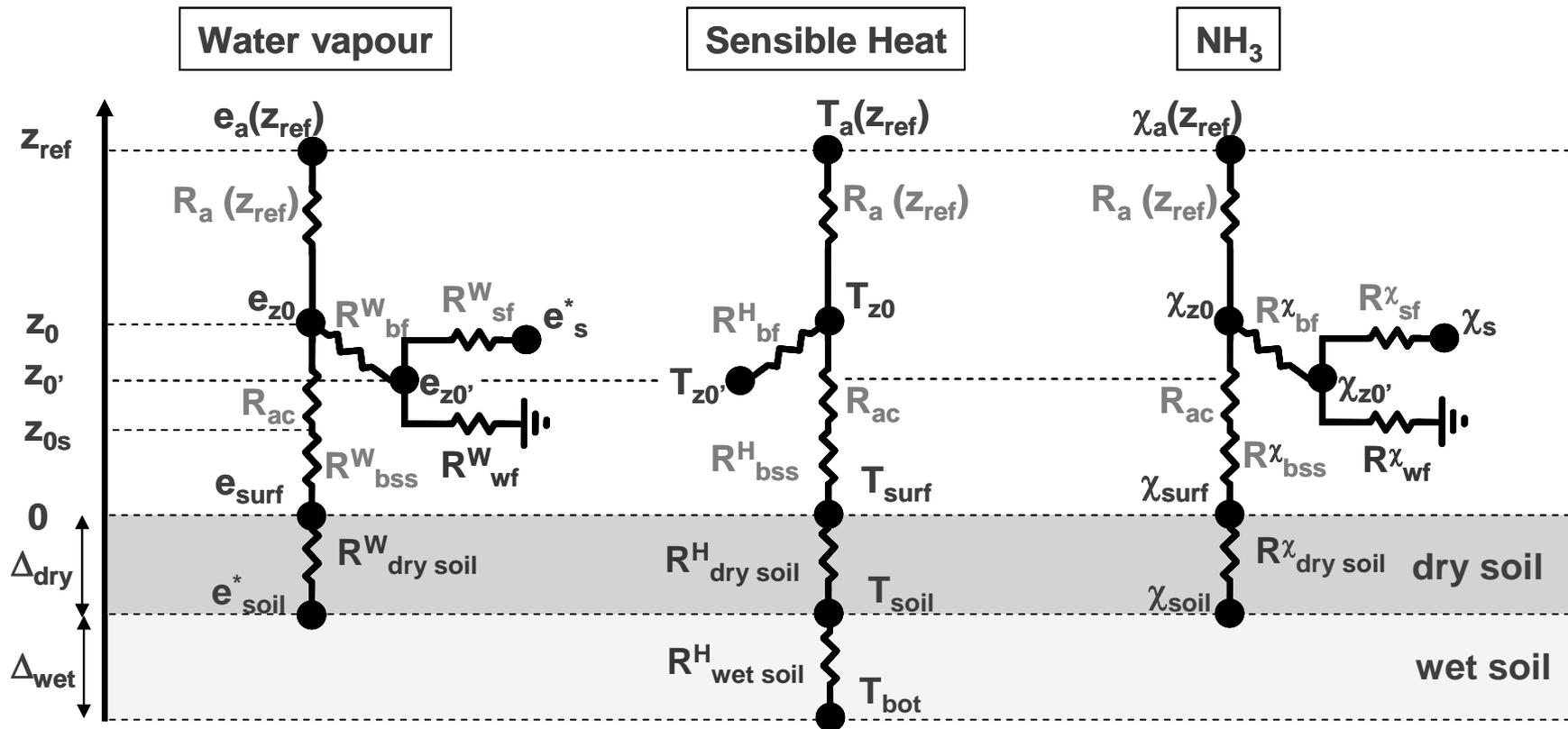
Un exemple d'émissions ou dépôts depuis la plante : ammoniac et ozone



Processus impliqués dans les échanges sol-végétation-atmosphère

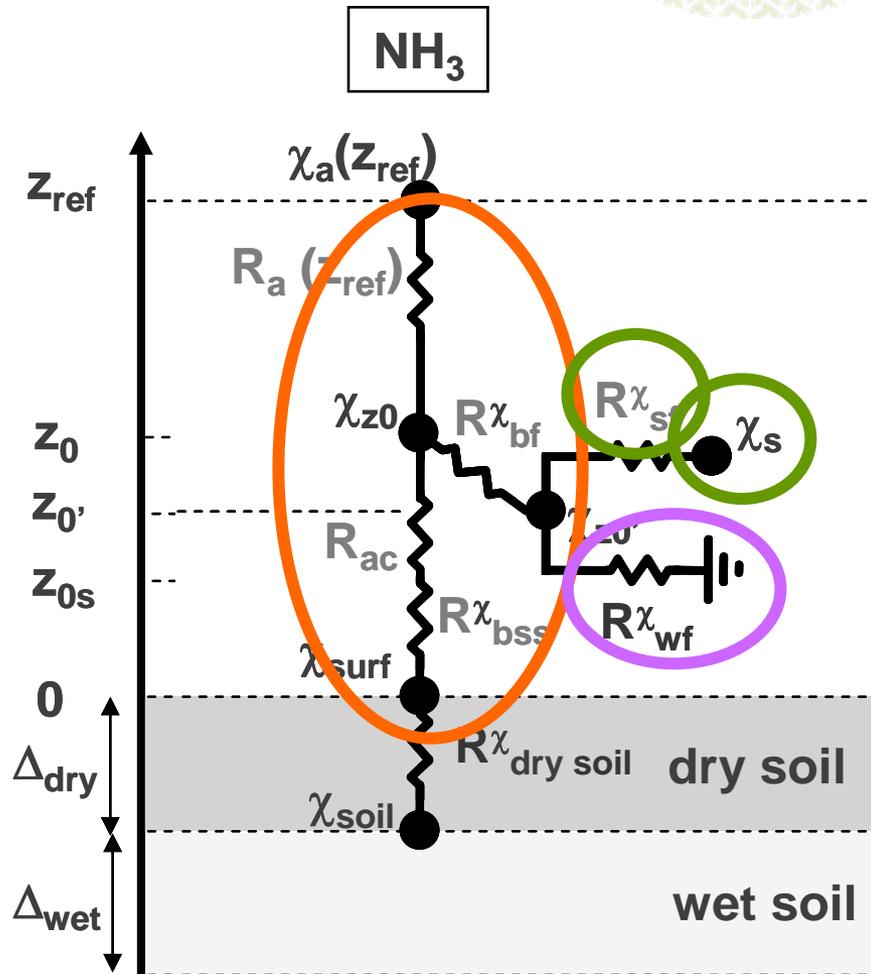


Modélisation des émissions/dépôt sur la plante



(d'après Personne et al., soumis)

Modélisation des émissions/dépôt sur la plante : résistances et point de compensation



Conditions météo et
Structure du couvert
(LAI, LAD, hauteur, ...)

Métabolisme de la plante
(fonctionnement stomatique
et cellulaire, alimentation
hydrique et azotée, ...)

Interactions chimiques
à la surface :
humidité, niveau de
pollution, ...

Modélisation du dépôt d'O₃

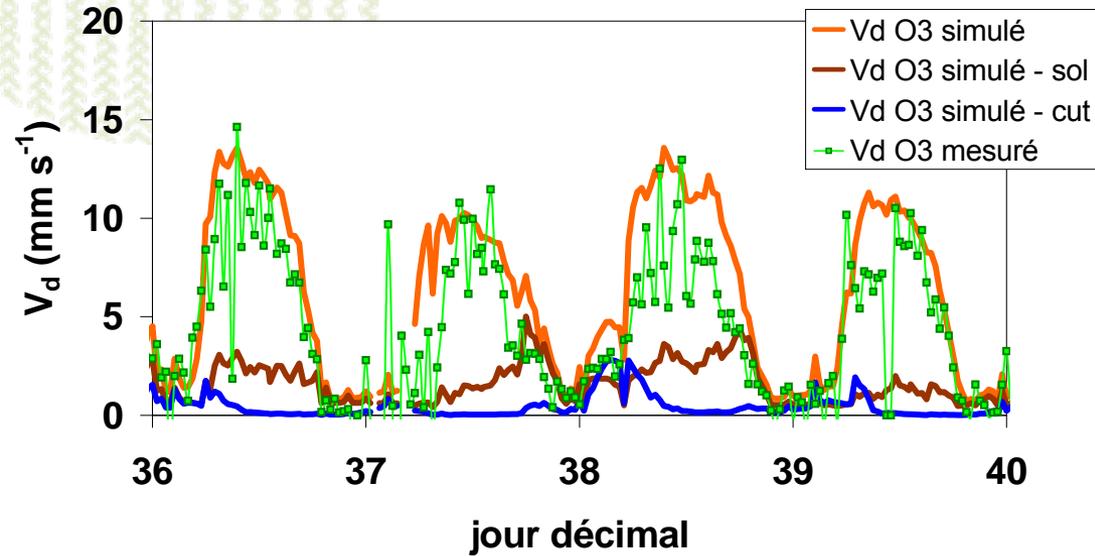
Comparaison modèle – mesure

✓ *Modèle SurfAtm*

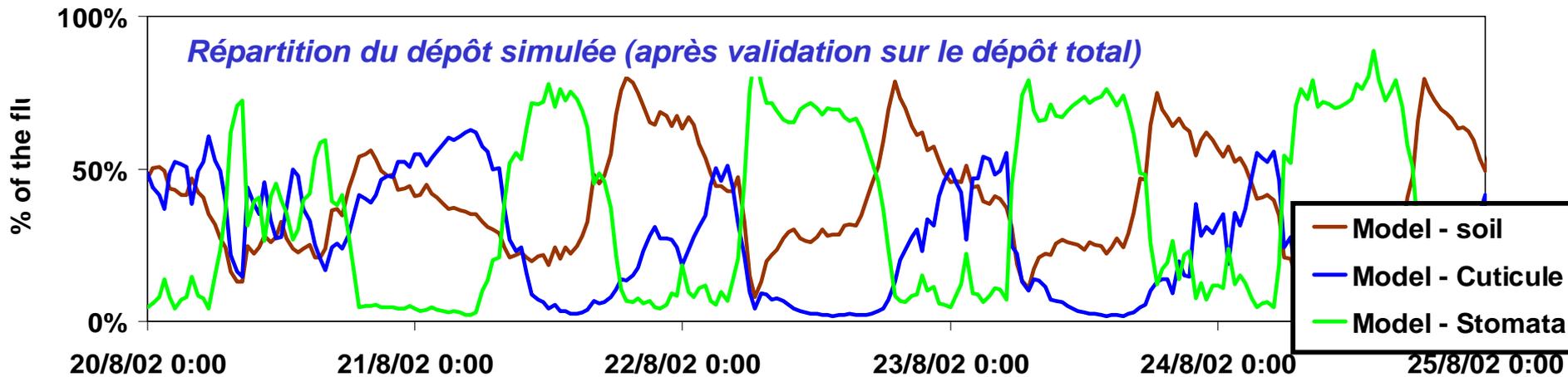
✓ *Méthode des covariances sur maïs*

(projet BioPollAtm 2002)

(Loubet, Personnes et al.)

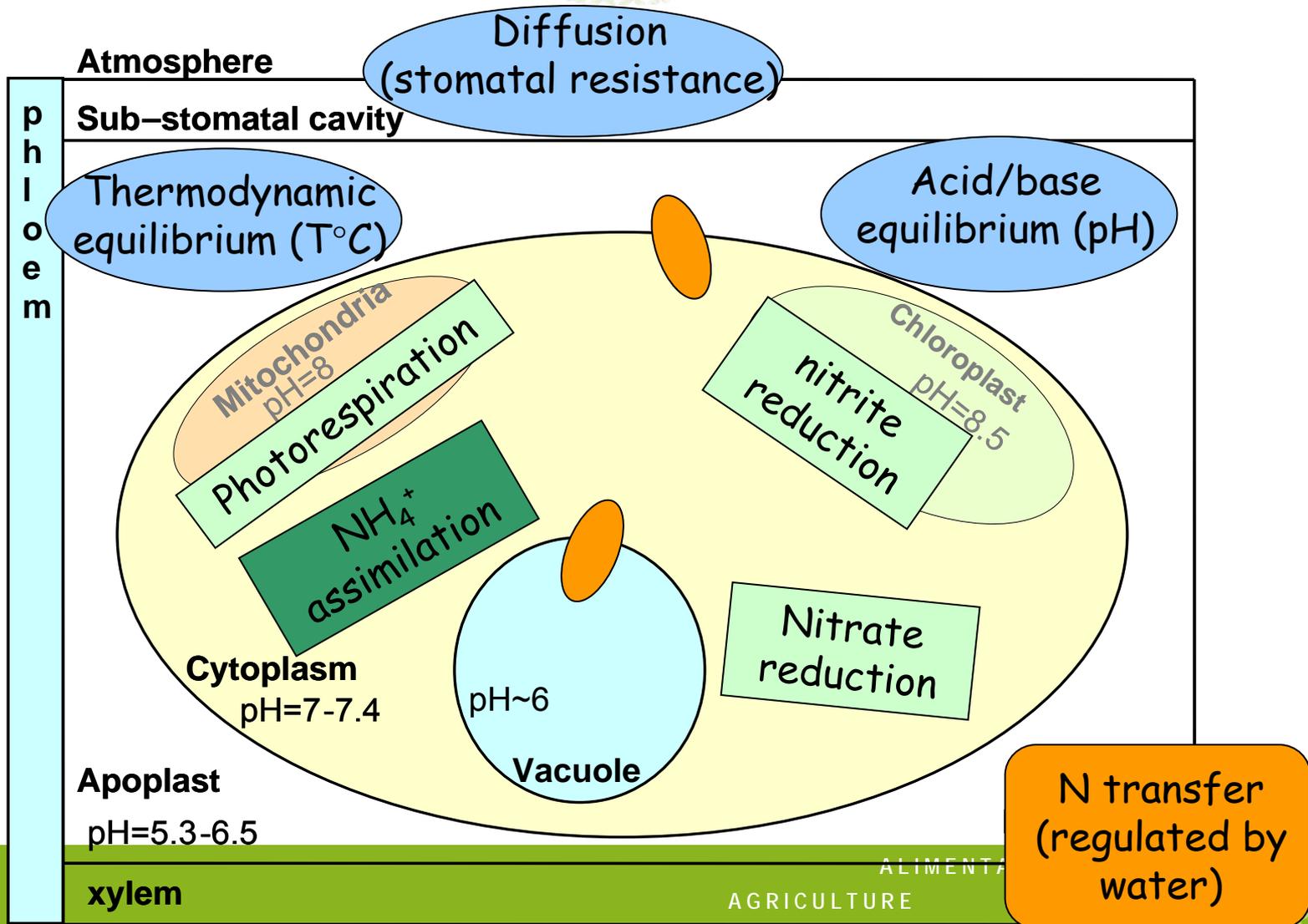


Répartition du dépôt simulée (après validation sur le dépôt total)



Modélisation du point de compensation pour l'ammoniac

(Massad et al., soumis)



Conclusions: déterminants des émissions et dépôts de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre

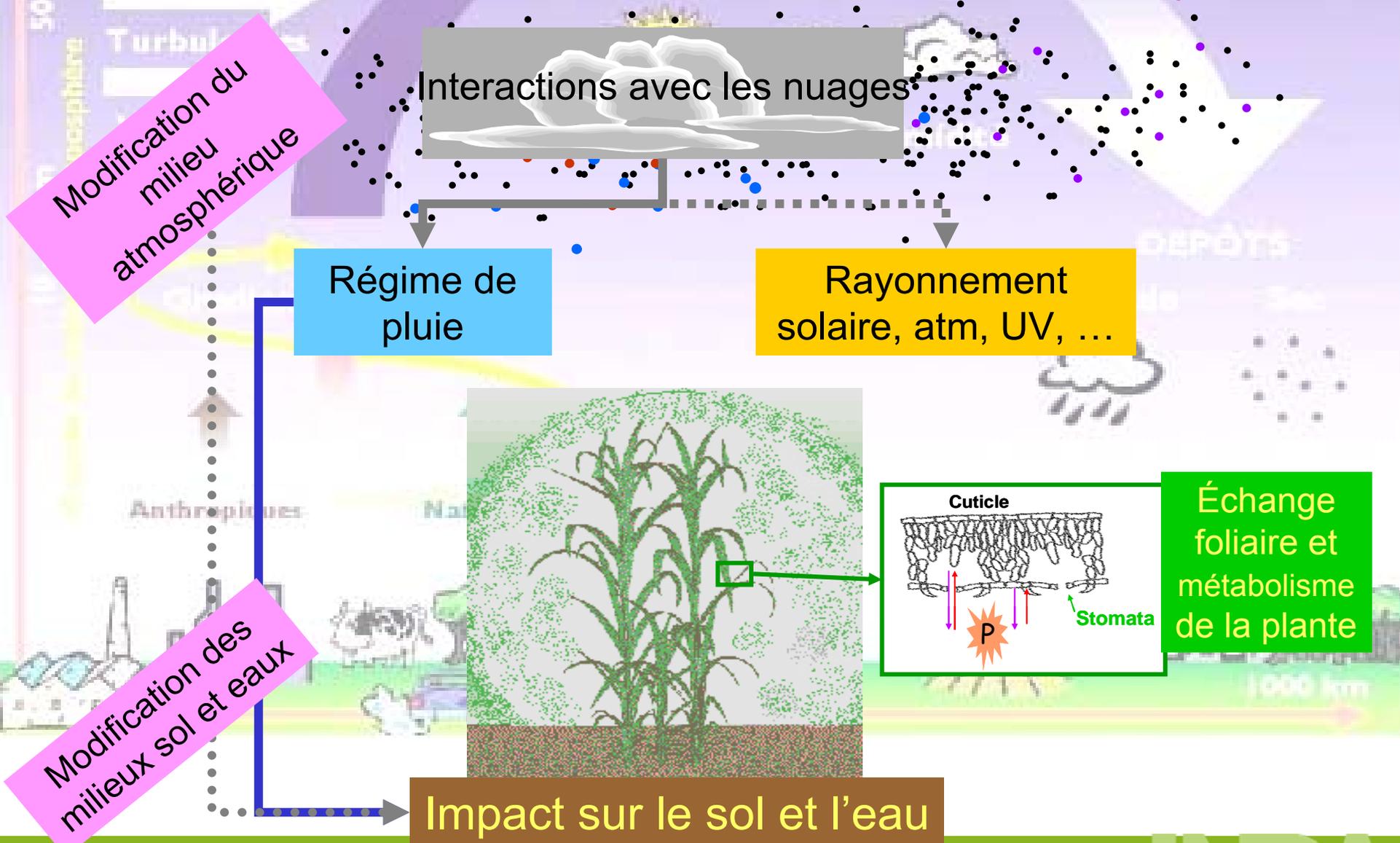
- Les conditions météorologiques en interaction avec la structure du couvert végétal et le microclimat au sein du couvert (température, humidité)
- Le niveau de pollution, directement (concentrations à comparer au point de compensation) et indirectement (dépôt cuticulaire)
- Le sol, par le biais du régime hydrique et de ses conséquences sur le fonctionnement microbien et l'ouverture stomatique
- La dynamique de croissance et le métabolisme de l'écosystème, (parties aériennes et souterraines)
- La gestion du milieu, en particulier dans les écosystèmes agricoles et forestiers



Plan

- Quelques préalables
- Les écosystèmes comme « acteurs » de la pollution de l'air : place et importance dans les cycles de polluants (et GES)
 - Importance et variabilité spatiale et temporelle des sources
 - Dépôts: processus et modélisation
- Les écosystèmes comme « victimes » de la pollution de l'air:
 - Effet de l'ozone
 - Dépôts atmosphériques et conséquences
 - Modification du climat régional et global (→ aérosols)

Modalités d'impacts des polluants sur les écosystèmes



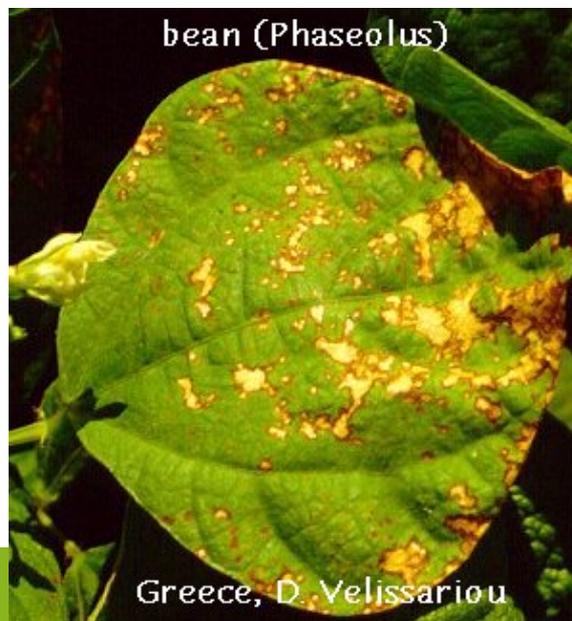


Effets directs : cas de l'ozone

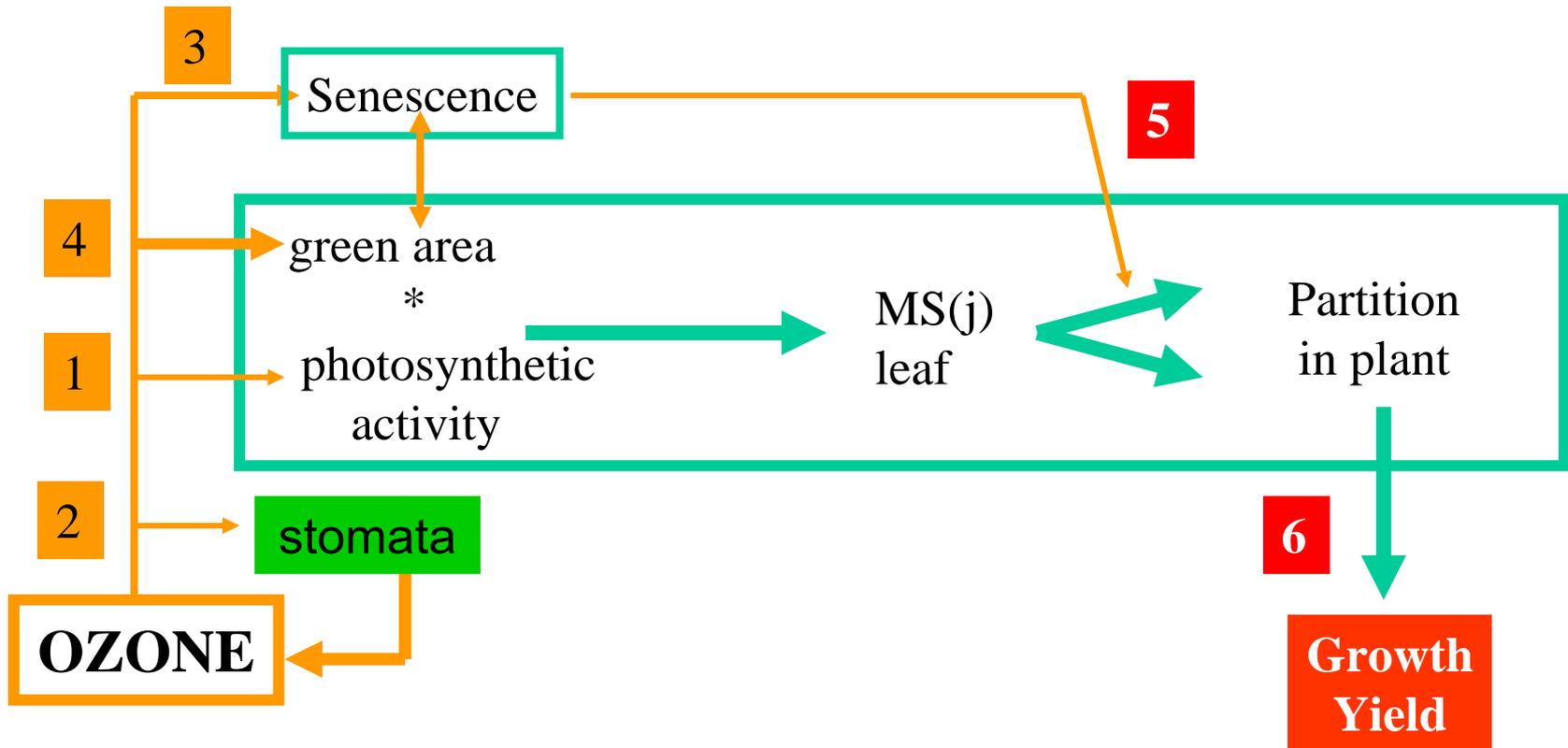
Principaux effets de l'ozone sur les plantes :

-des dégâts foliaires :

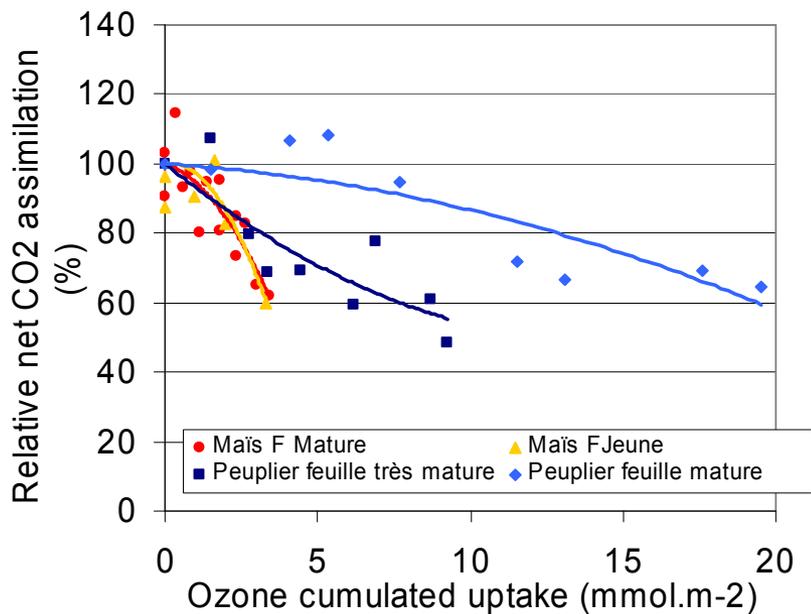
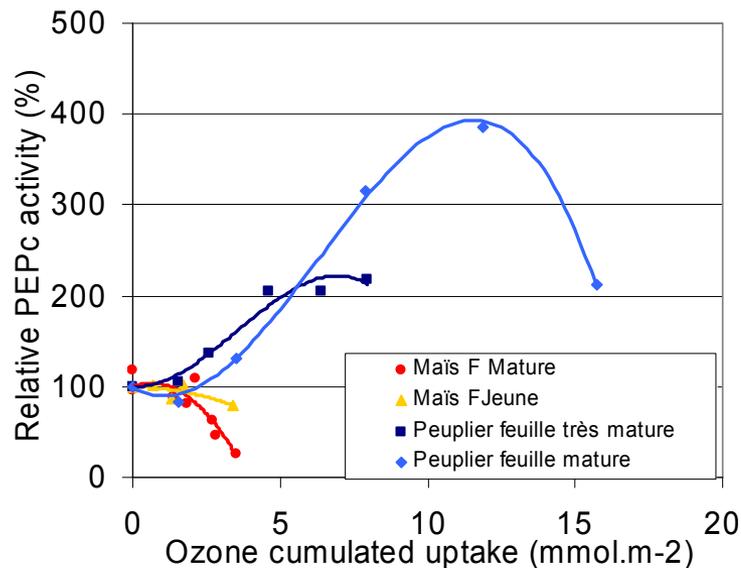
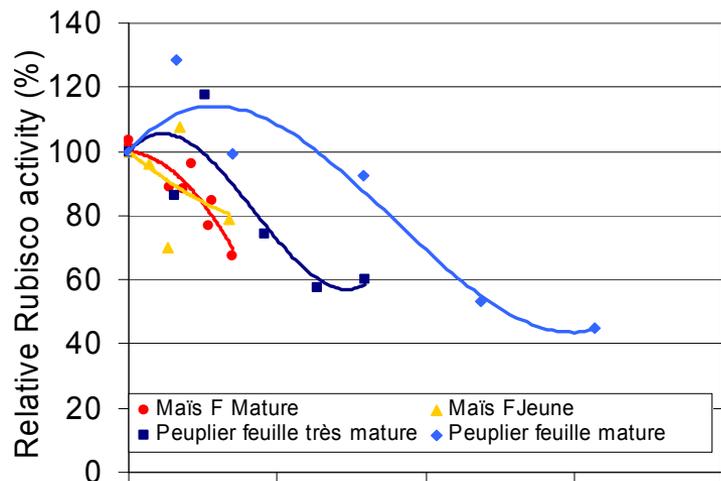
Fortes concentrations
durée d'exposition variable



Different levels of ozone impact on plant



Variation in Rubisco and PEPc activities and net assimilation as a function of absorbed ozone over maize (C_4) et poplar (C_3)



INRA, BioPollAtm project

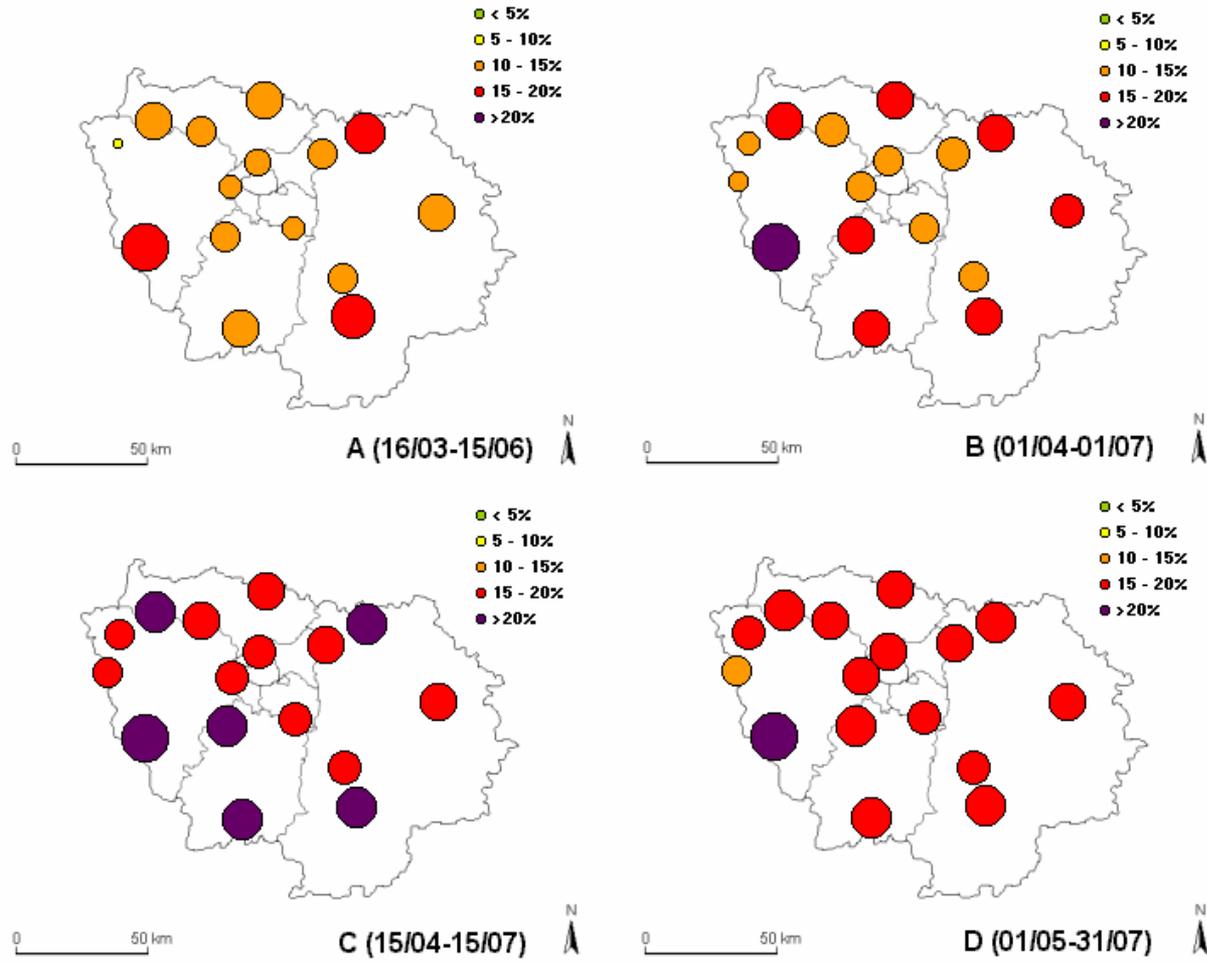


ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



15 septembre 2008

Des impacts très significatifs à l'échelle régionale: Pertes de rendement dues à l'ozone sur le blé en Ile de France (AOT40 + données AIRPARIF)



(Castell et al.)

2003
10-20%



Un impact sur le climat à l'échelle globale ?

ure⁷. For a range of sensitivity parameters based on manipulative field experiments, we find a significant suppression of the global land-carbon sink as increases in ozone concentrations affect plant productivity. In consequence, more carbon dioxide accumulates in the atmosphere. We suggest that the resulting indirect radiative forcing by ozone effects on plants could contribute more to global warming than the direct radiative forcing due to tropospheric ozone increases.

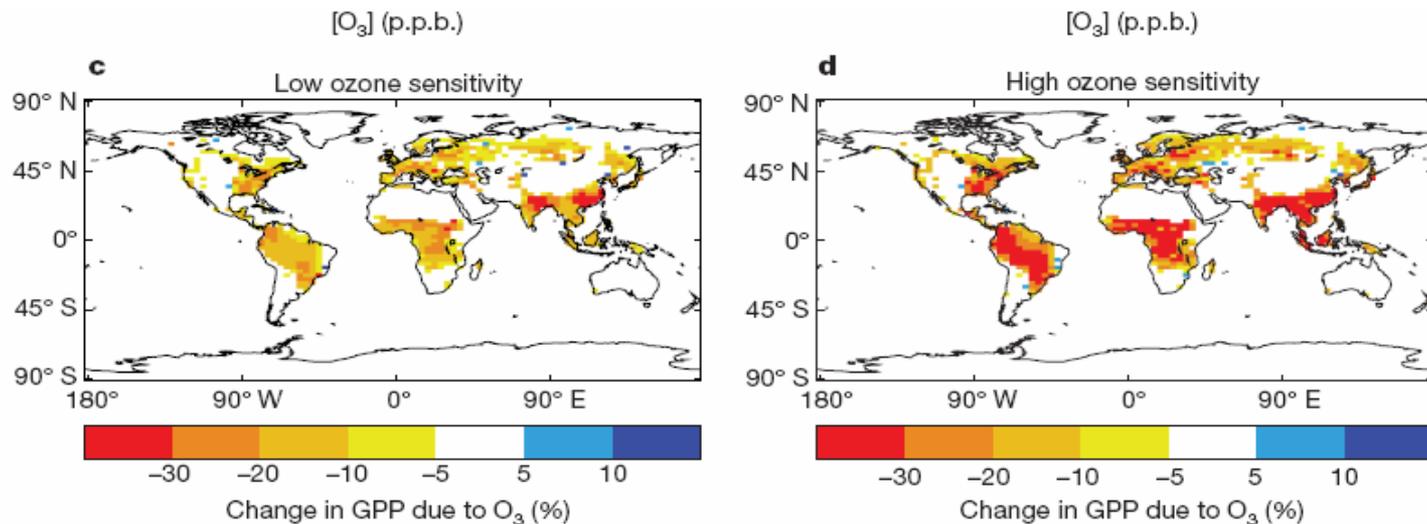


Figure 1 | Temporal changes of modelled ozone concentrations and gross primary productivity. a, b, Modelled diurnal (24-h) mean surface [O₃] in p.p.b. averaged over June, July and August (JJA) for the present day (a) and the year 2100 under the SRES A2 emissions scenario (b). c, d, Simulated

percentage change in gross primary productivity (GPP) between 1901 and 2100 due to O₃ effects at fixed pre-industrial atmospheric [CO₂] for 'low' (c) and 'high' (d) ozone plant sensitivity.

(Sitch et al., 2007)



Effets \pm directs : les dépôts atmosphériques

Global Atmospheric N deposition (1993)

mg N m⁻² y⁻¹ [divide by 100 to convert to kg N ha⁻¹ y⁻¹]

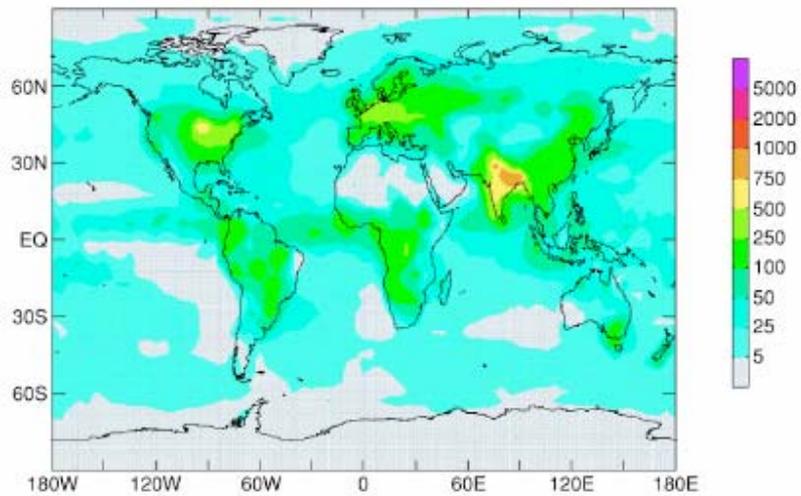
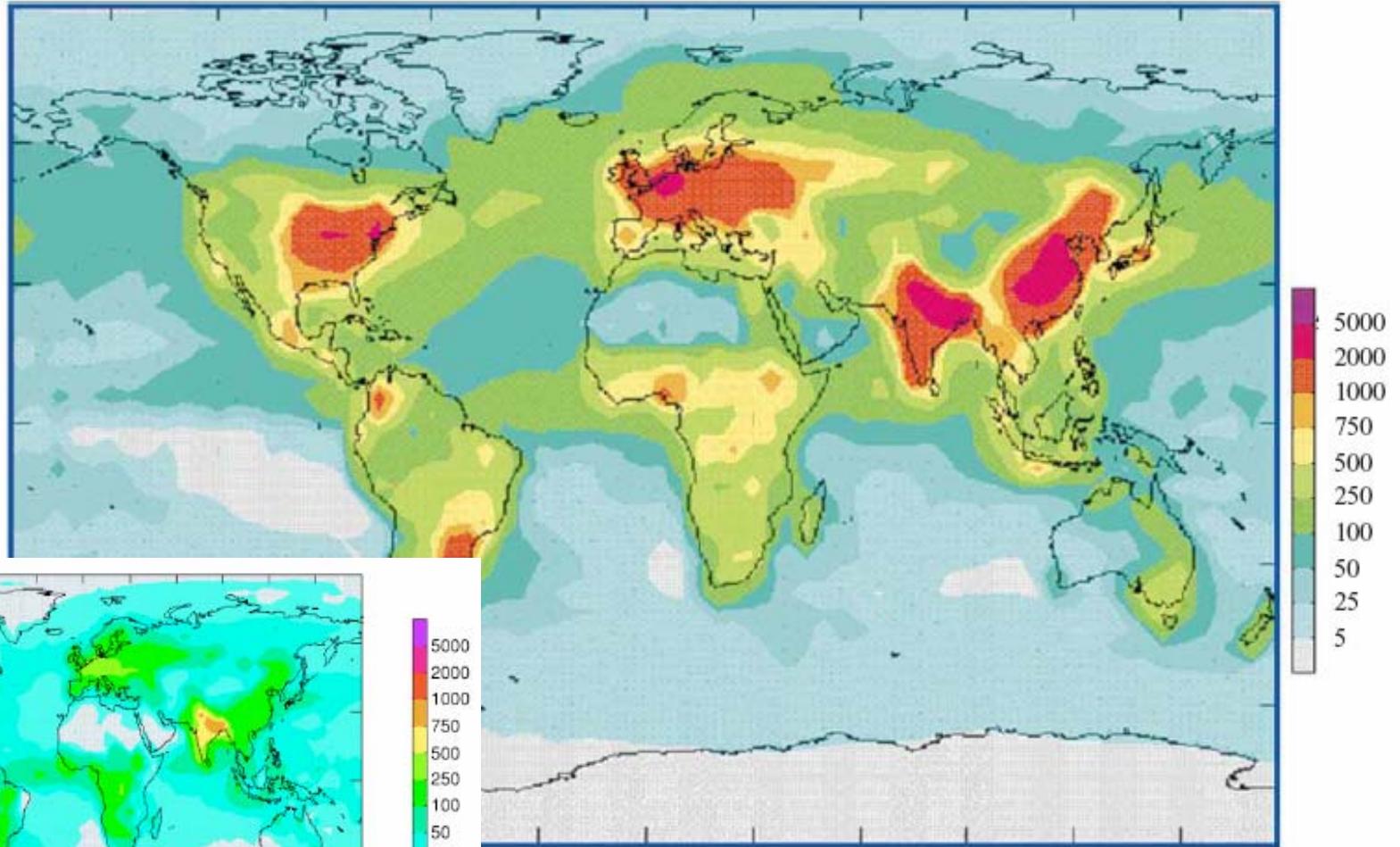


Figure 2a: Spatial patterns of total inorganic nitrogen deposition in 1860, mg N m⁻² y⁻¹.

Apports d'éléments nutritifs les apports atmosphériques sont une part majeure du bilan de certains éléments

Mesures

Apports atmosphériques sur un site forestier (Douglas) dans les Monts du Beaujolais

Elément	Moyenne sur 6 ans	Min/Max par an
N	21.8	18.1 / 29.5
P	0.9	0.2 / 2.1
K	3.3	1.5 / 7.4
Ca	7.5	4.4 / 16.7
Mg	1.2	0.6 / 3.2

(en kg/ha/an)

d'après Ranger *et al.* (2002)

Beech productivity in the North East of France

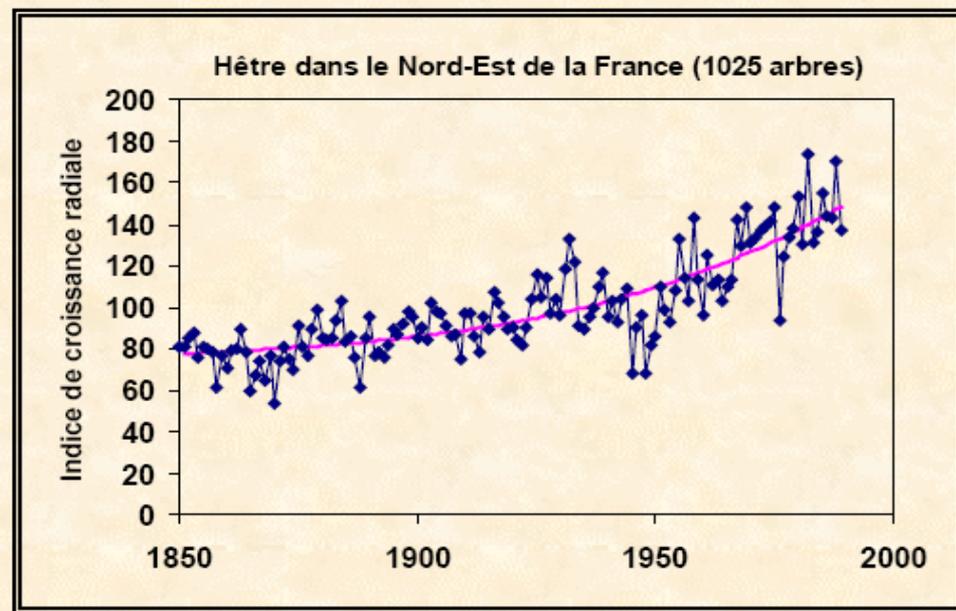
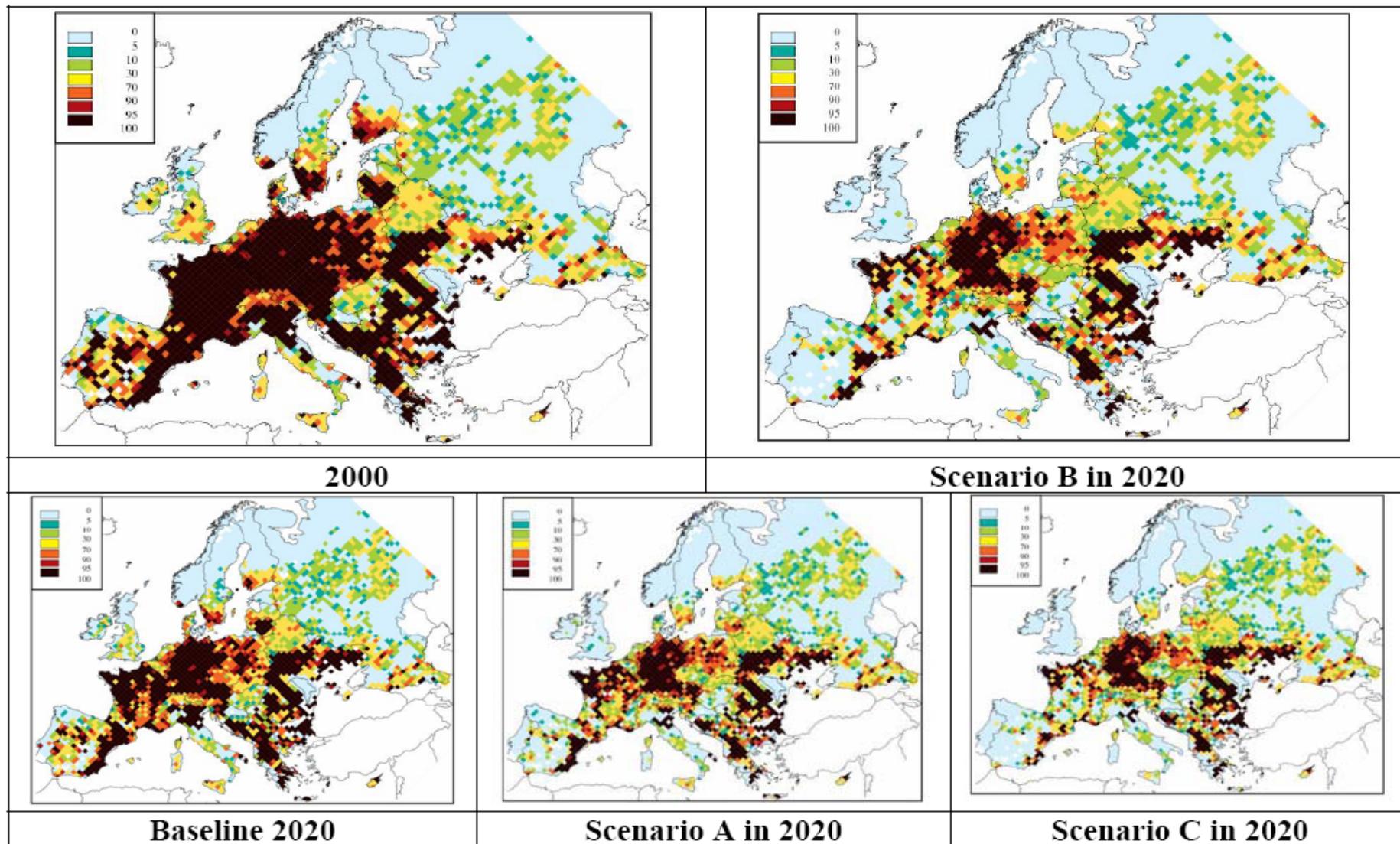


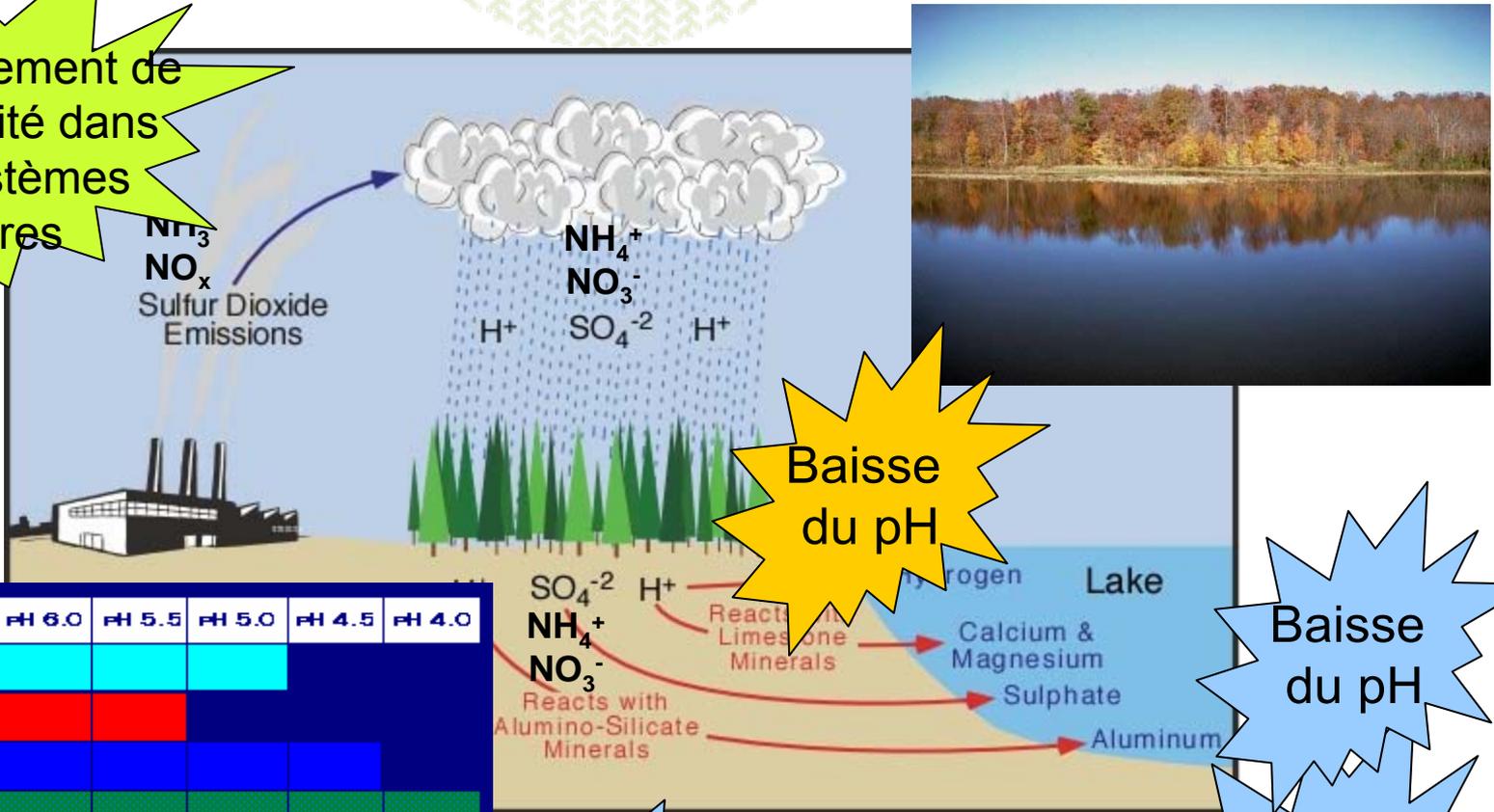
Figure 22: Percentage of total ecosystems area receiving nitrogen deposition above the critical loads for eutrophication for the emissions for the three ambition levels in 2020 – compared with 2000 and the baseline in 2020



Source: RAINS. Note: Calculation results are based on meteorological conditions of 1997, using grid-average deposition.

Conséquence des dépôts: acidification

Changeement de biodiversité dans les écosystèmes terrestres



Baisse du pH

Baisse du pH

Toxicité aluminique, ...

Changeement de biodiversité dans les lacs et rivières

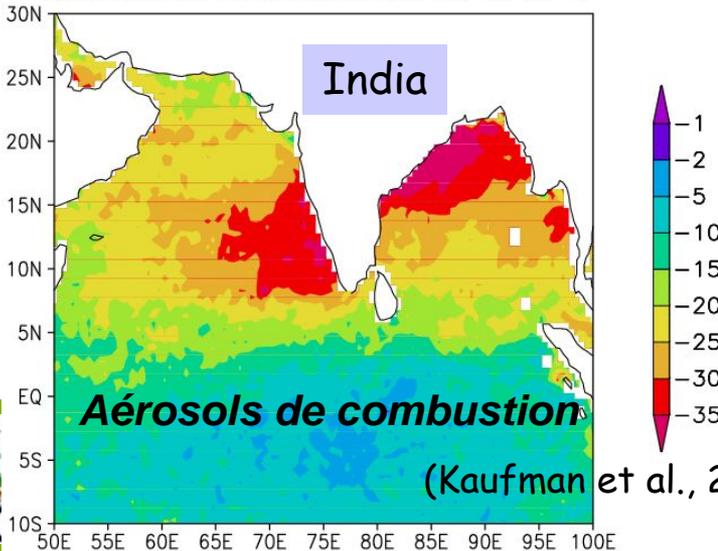
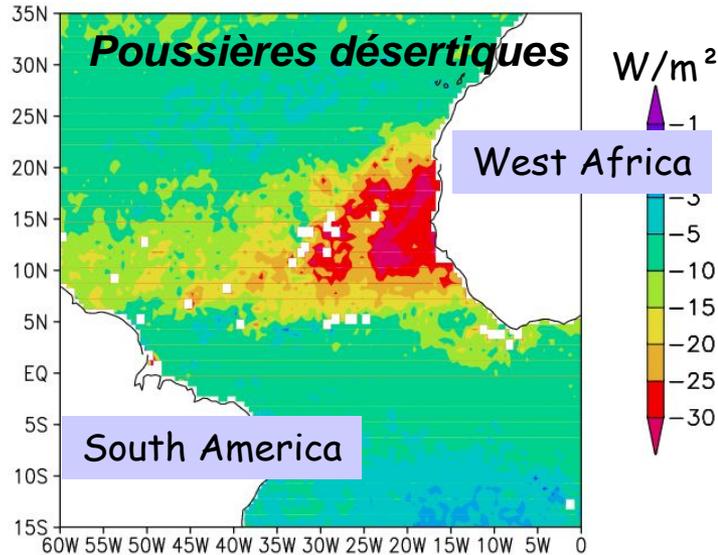
	pH 6.5	pH 6.0	pH 5.5	pH 5.0	pH 4.5	pH 4.0
TROUT	OK	OK	OK	OK	OK	OK
BASS	OK	OK	OK	OK	OK	OK
PERCH	OK	OK	OK	OK	OK	OK
FROGS	OK	OK	OK	OK	OK	OK
SALAMANDERS	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CLAMS	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CRAYFISH	OK	OK	OK	OK	OK	OK
SNAILS	OK	OK	OK	OK	OK	OK
MAYFLY	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Modification du climat local, régional ou global

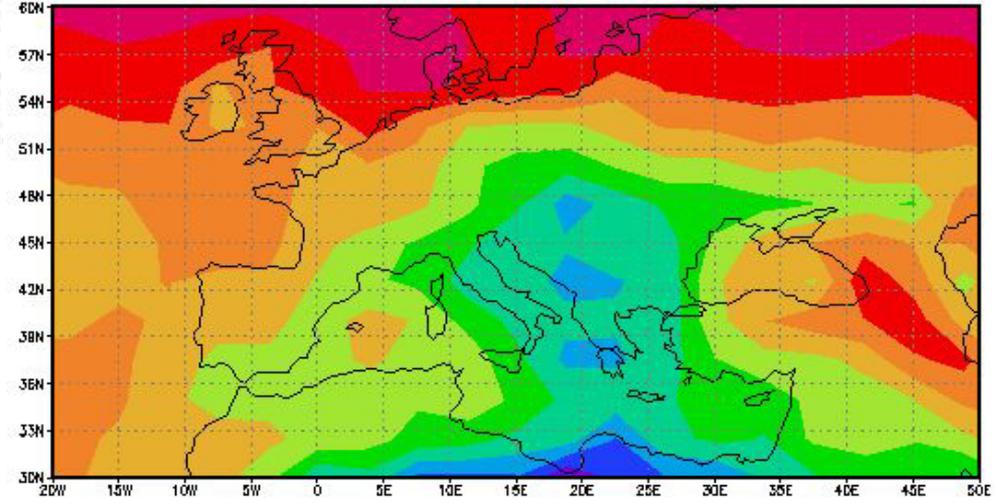
→ *aérosols*

- Bilan radiatif
- Nébulosité
- Pluviométrie

Absorption du rayonnement solaire



Perte de rayonnement solaire au sol due aux aerosols (Wm⁻²)



(O. Boucher, LOA)

GRADS: COLA/IBES

2002-11-20-15:08

Diminution du rayonnement solaire de 0-30 W/m² (comparés à 250-300 W/m², moyenne sur 24 h)

Moyennes annuelles souvent dans la gamme 10-20 W/m² dans les zones polluées



Interaction avec les nuages

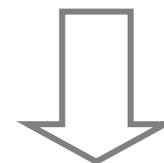
**Augmentation
des CCN**



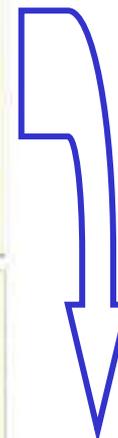
**Accroissement
du nombre et
gouttelettes et
diminution de
taille**



**Accroissement
de la durée de
vie des
gouttelettes**

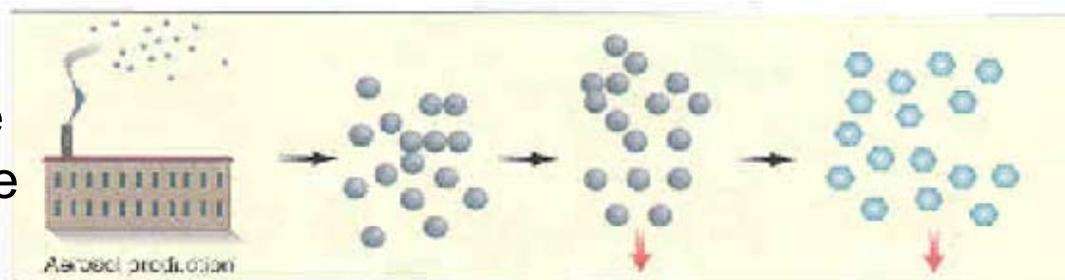


**Augmentation
de la probabilité
de « brumes »,
diminution de
l'ennuagement**



**Diminution
des
précipitations**

Atmosphère
polluée



Atmosphère
naturelle

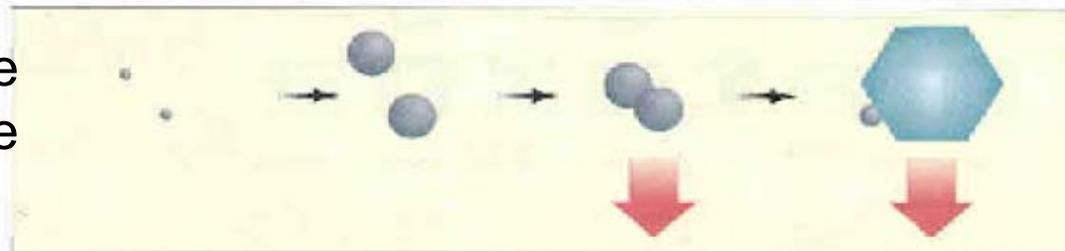
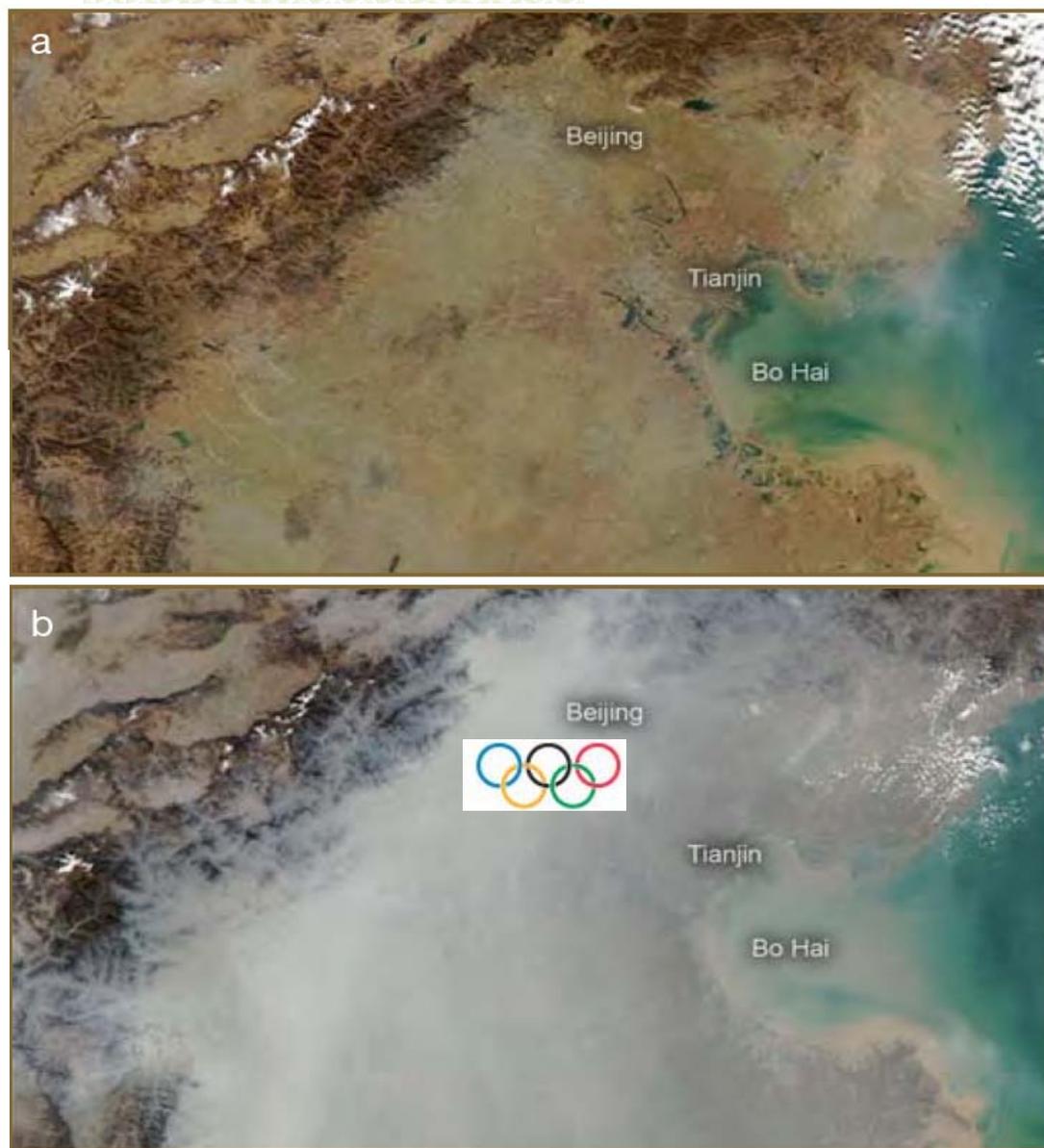


Figure 12. Beijing region on 2 November 2005 (a) and 3 November 2005 (b). Differences were induced by a change in meteorology that trapped pollution in the flatlands around the city. The pollution gathered overnight and lingered until 5 November; by 6 November a new haze cloud had accumulated. True-colour images from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instrument aboard the NASA Aqua satellite. Courtesy of MODIS Land Rapid Response Team.



Effet des aérosols en Chine

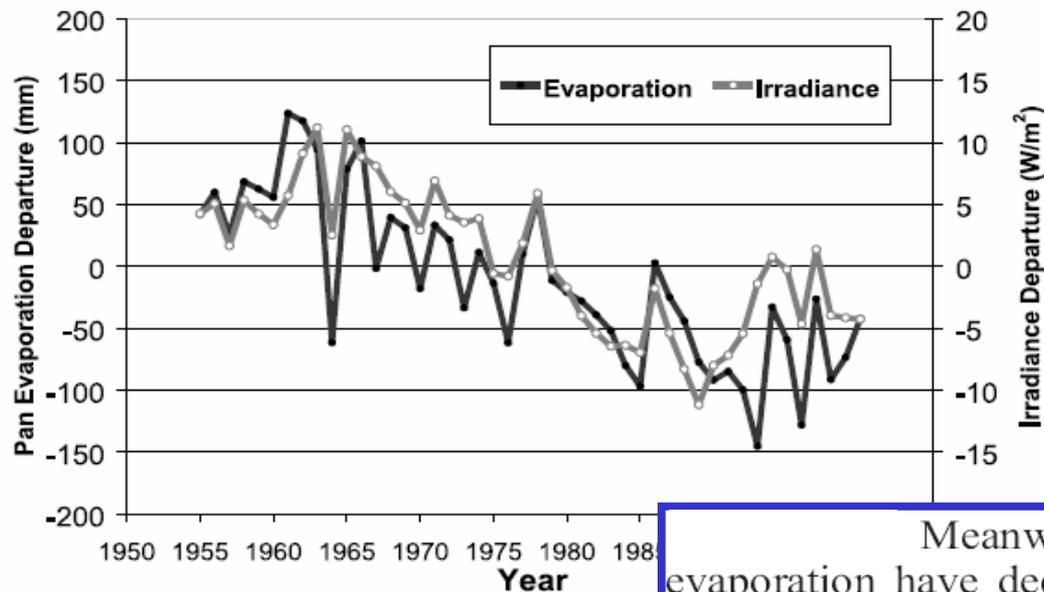


Figure 2. Time series of annual pan evaporation and solar irradiance for over all stations in China.

d'après Qian et al. (2006)

Meanwhile, both solar radiation and pan evaporation have decreased in China, with solar radiation decreasing 3.1 W/m^2 and pan evaporation decreasing 39 mm per decade. Combining these results with findings of previous studies, we speculated that increased air pollution may have produced a fog-like haze that reflected/absorbed radiation from the sun and resulted in less solar radiation reaching the surface, despite concurrent increasing trends in cloud-free sky over China.

Citation: Qian, Y., D. P. Kaiser, L. R. Leung, and M. Xu (2006), More frequent cloud-free sky and less surface solar radiation in China from 1955 to 2000, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01812, doi:10.1029/2005GL024586.

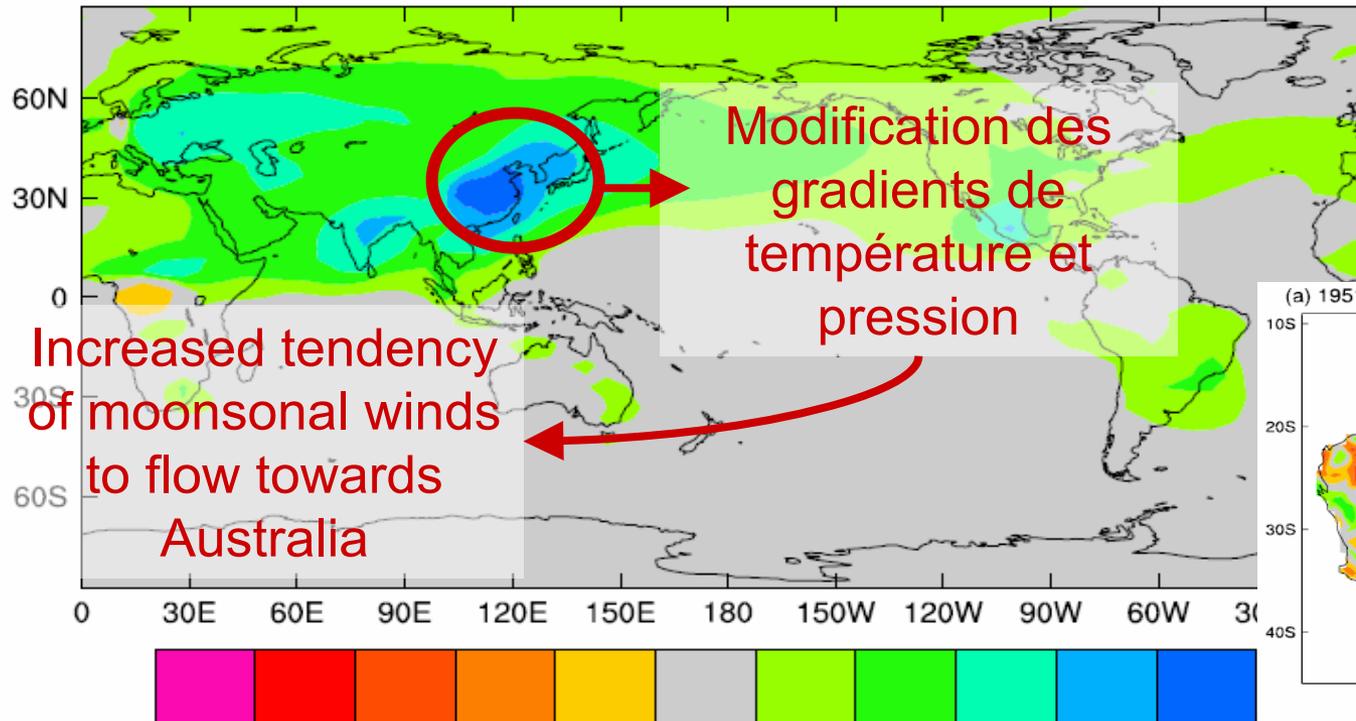
Changement de pluviométrie due aux aérosols

*Rotstayn et al.,
JGR 2007*

Have Australian rainfall and cloudiness increased due to the remote effects of Asian anthropogenic aerosols?

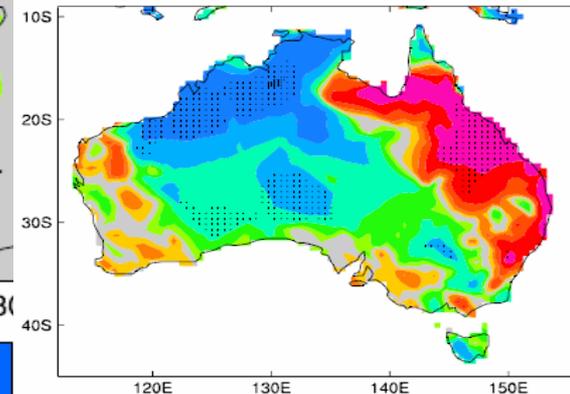
(using the R21 Mk3 CSIRO GCM)

ALL trend in 550nm small aerosol optical depth 1951-1996



Observation =
↗ pluie au NW
↘ pluie au SE

(a) 1951-1996 observed DJF rainfall trend (CRU TS 2.1)



➔ Influence des aérosols sur la circulation atmosphérique et les précipitations

Synthèse

Des impacts directs en général peu significatifs, sauf pour l'ozone

Plutôt des effets indirects par modification du milieu :

- Apports atmosphériques: effets positifs ou négatifs selon les doses reçues
- Des effets indirects significatifs à l'échelle régionale, voire globale: bilan radiatif, nébulosité, pluviométrie
 - *Liens avec les études sur la formation de la pollution de l'air et ses impacts radiatifs et sur les nuages*
 - *Liens avec le changement climatique*

D'autres risques? → contamination des milieux et de la chaîne alimentaire

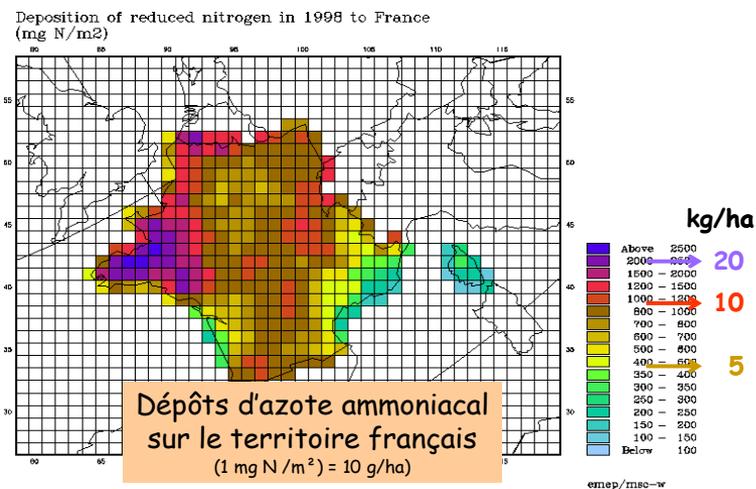
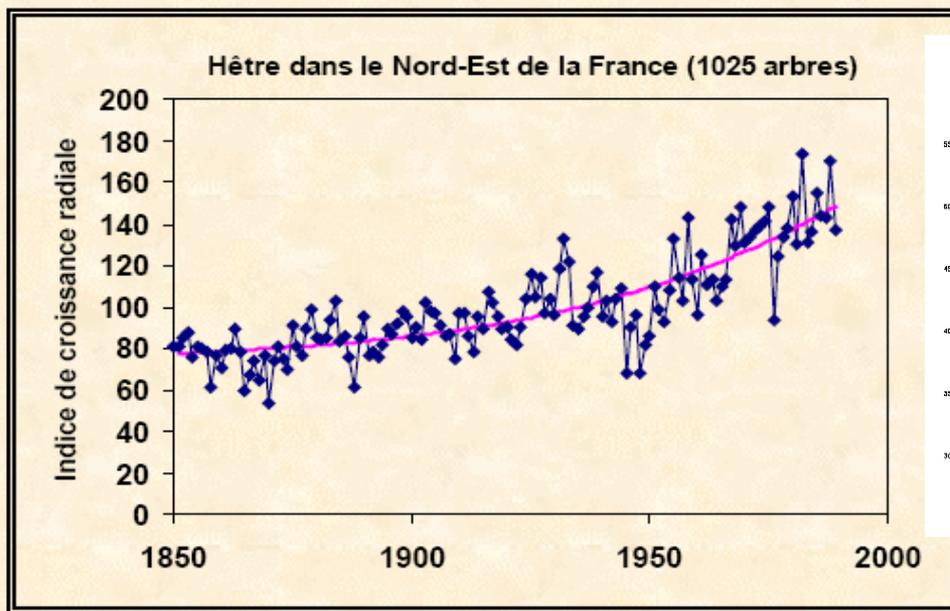
Mais aussi, ne pas oublier le rôle très significatif des écosystèmes comme sources ou puits de polluants atmosphériques, gaz à effet de serre et précurseurs de polluants secondaires (ozone, particules)



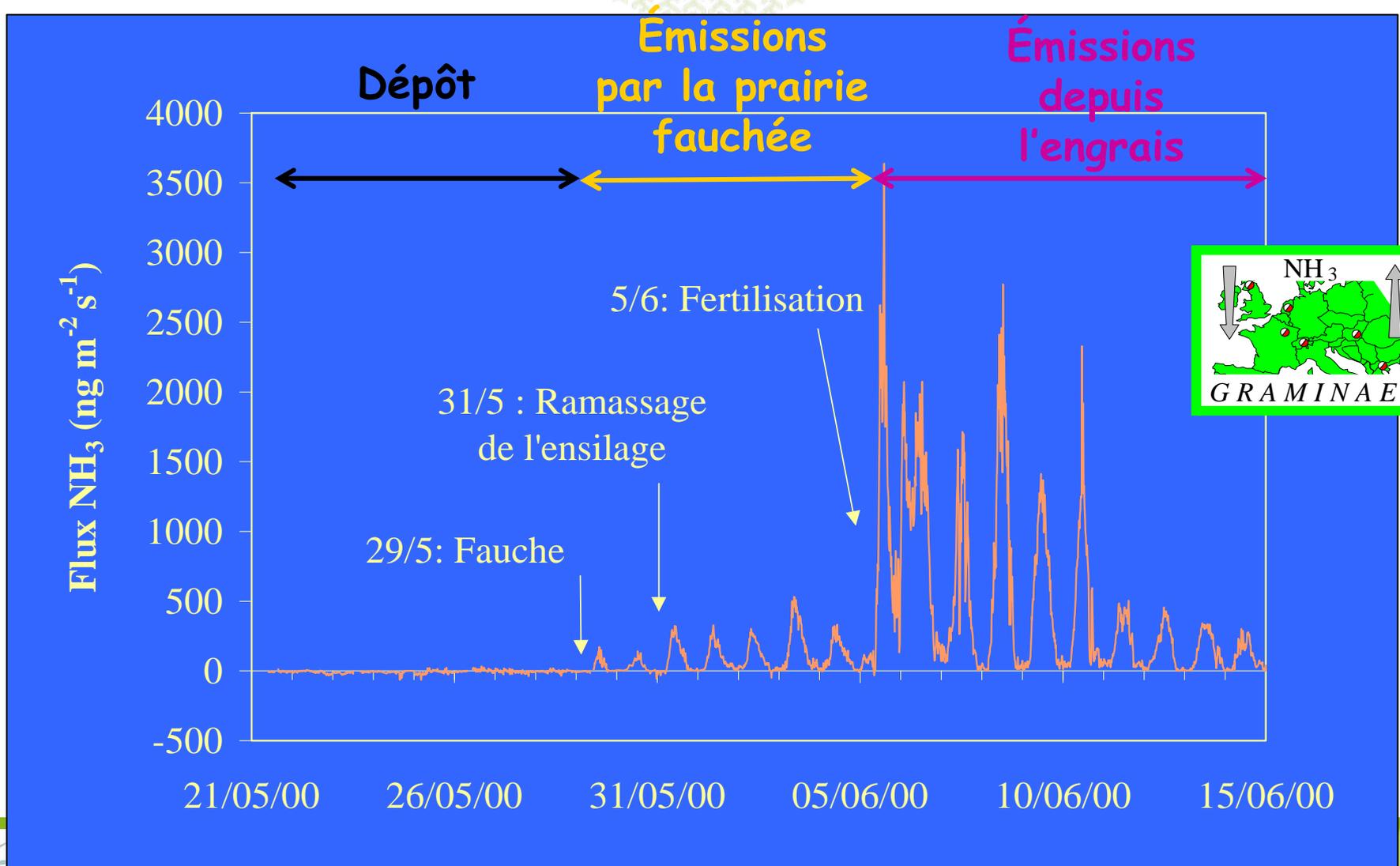
Forêts, changement climatique et dépôts atmosphériques

On observe une augmentation de la productivité des forêts.
Les dépôts atmosphériques (azote, ...) en sont l'une des explications

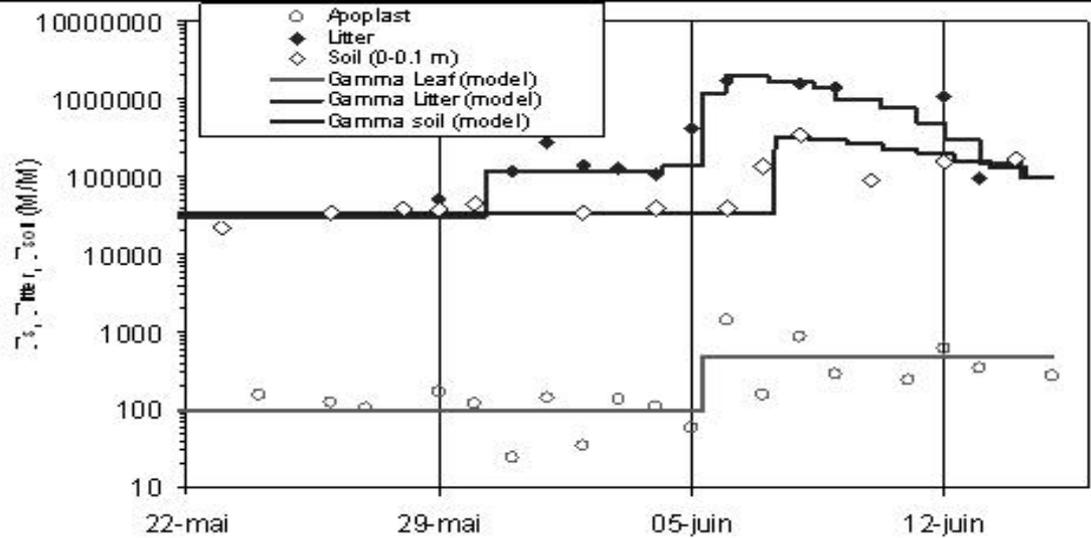
Beech productivity in the North East of France



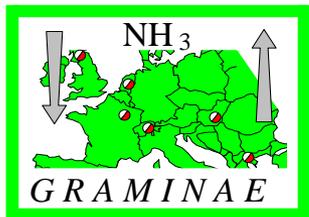
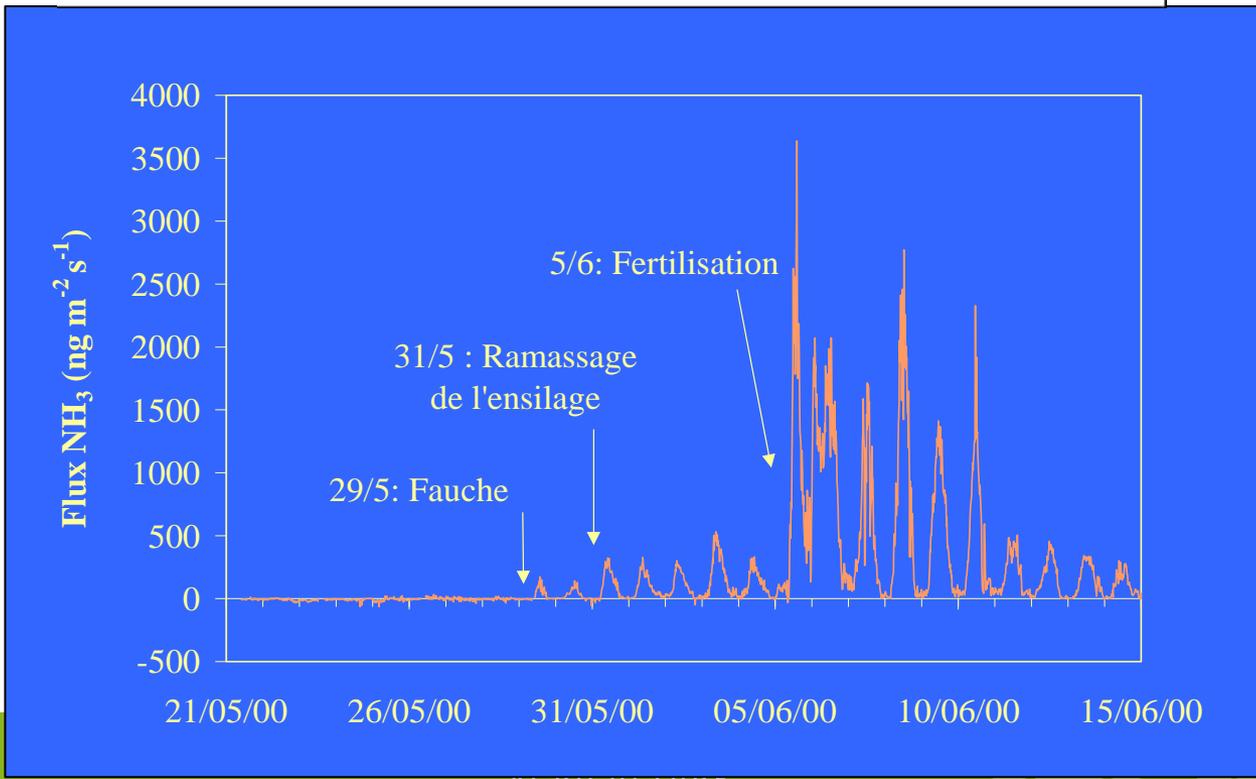
Un exemple complexe : Flux d'ammoniac sur un cycle croissance-fauche-fertilisation sur une prairie à Braunschweig (Milford, 2002)



Un exemple complexe fauche-fertilisation :



e-002)



Processus impliqués dans les échanges sol-végétation-atmosphère

Influence de la structure du couvert

→ les paramètres d'échanges surfaciques (cuticules, stomates) sont proportionnels à la surface foliaire et dépendent de la taille des éléments

→ la structure du couvert modifie

- l'intensité des échanges convectifs végétation-atmosphère
- le microclimat dans le couvert: température, humidité de l'air, vitesse du vent
- les échanges sol-atmosphère (végétation = écran)

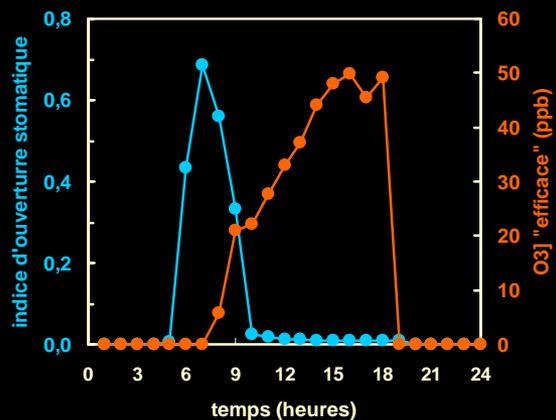
Dépôt sec de particules fines sur deux types de couverts

	Dépôt sec ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{an}$)		Dépôt gazon
	Gazon	Forêt	Dépôt forêt (%)
Atrazine	0,028	37,4	0,07
Terbuthylazine	0,012	12,8	0,10
Alachlore	0,076	115	0,07
Diflufenical	0,103	71,7	0,14
Cymoxanil	14,48	2591	0,10

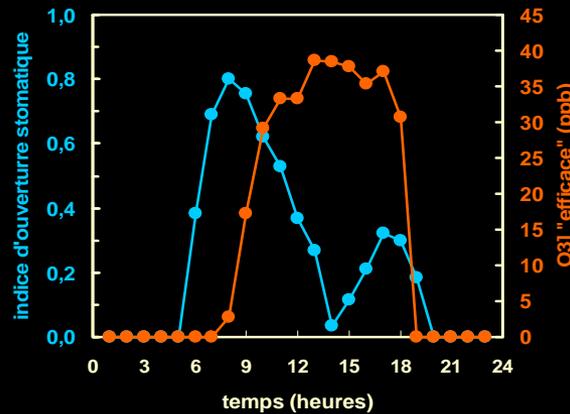


Stomatal opening and ozone absorption during a ozone peak

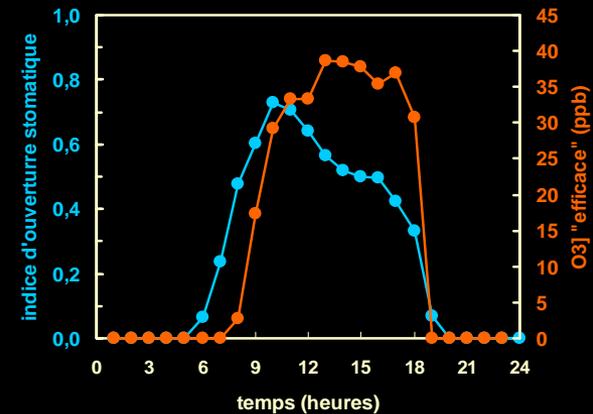
10 August 2003



13 August 2003



16 August 2003



Une absorption d'ozone très différente selon les journées, « moyennement » corrélée aux teneurs en ozone, du fait de la régulation stomatique par la température et la contrainte hydrique