

Journée
« Météo, pollution de l'air et climat »
30 mars 2009

Pollution de l'air et écosystèmes ... terrestres

Pierre CELLIER

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

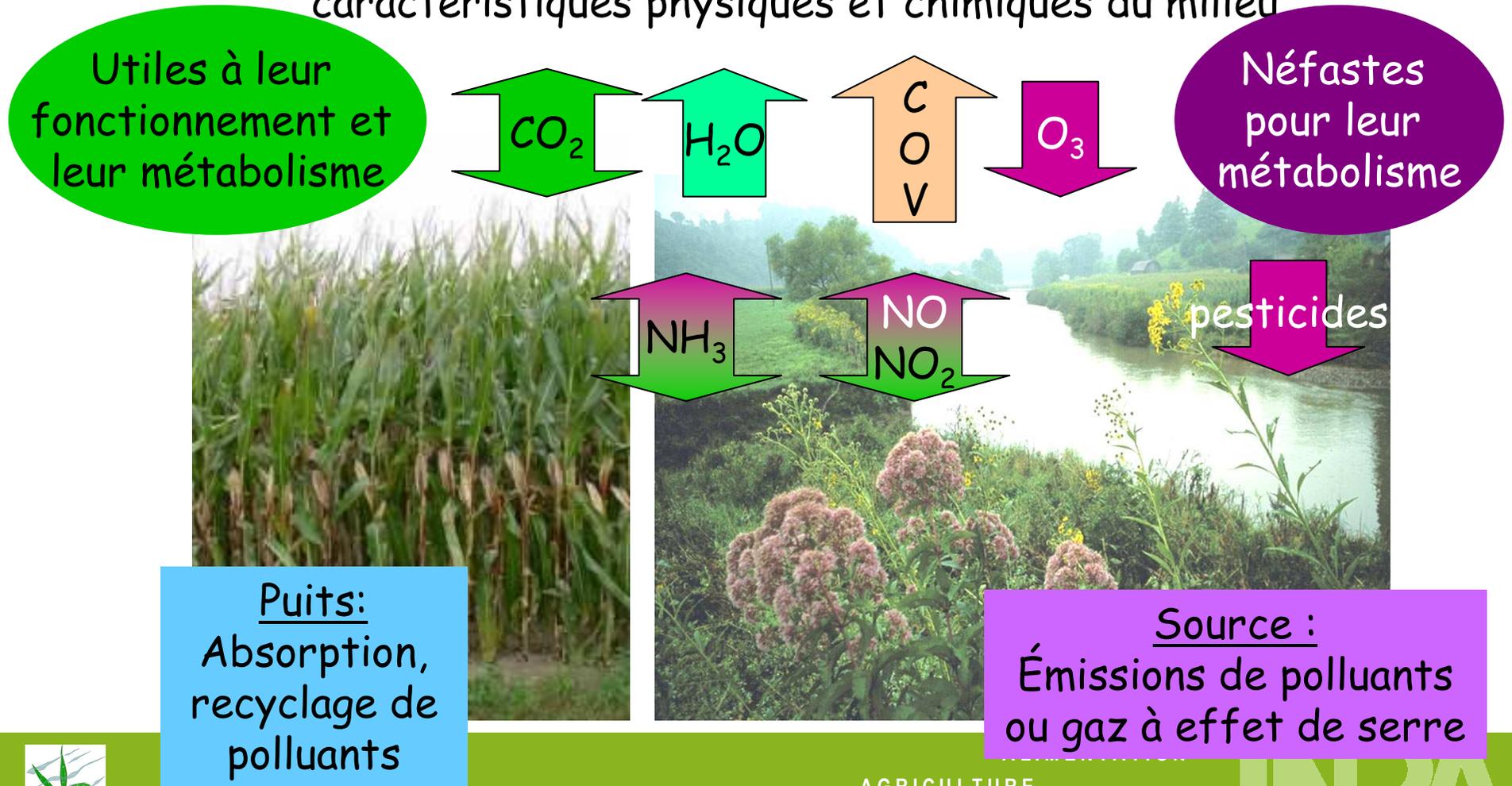


ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Écosystèmes et qualité de l'air

- Les plantes et les sols peuvent absorber ou émettre de nombreux polluants ou gaz à effet de serre.
- Implication de l'ensemble des êtres vivants et des caractéristiques physiques et chimiques du milieu





Un exemple d'émission depuis le sol :

les émissions d'oxydes d'azote

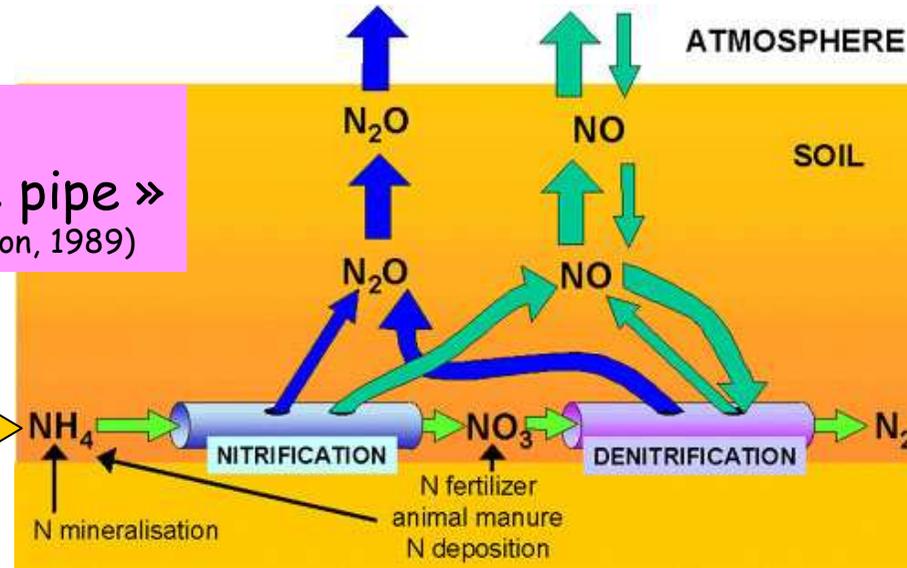


Origine des émissions de N₂O et NO par les sols ?

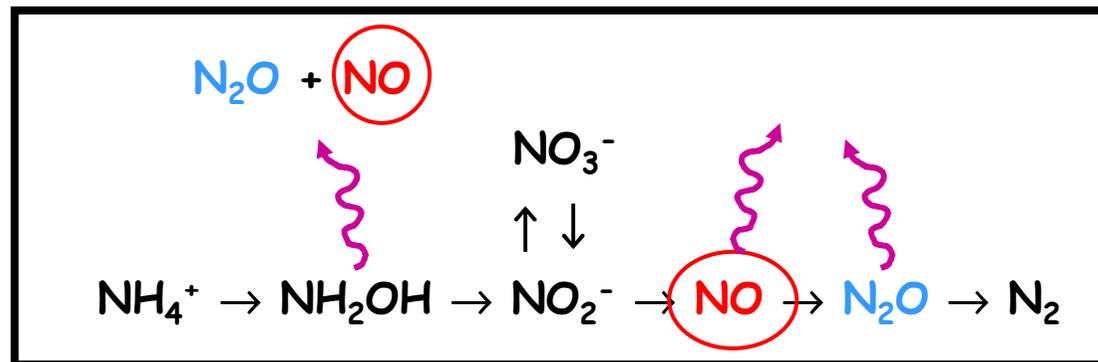
Les émissions de NO sont liées aux transformations microbiennes de l'azote dans le sol : **nitrification** et **dénitrification**

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)



Conditions
aérobies

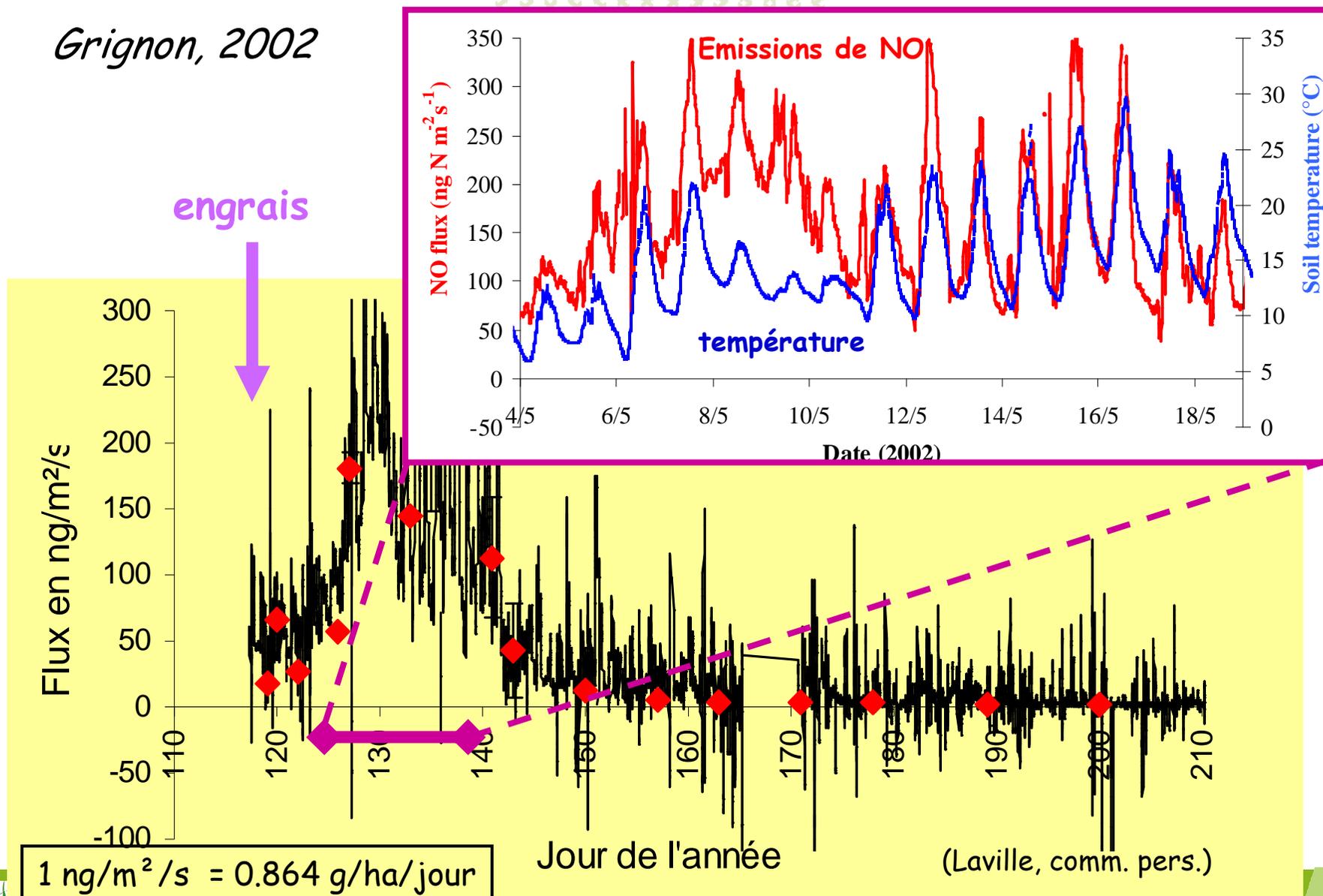
Conditions
anaérobies

ENTATION
IRONNEMENT



Mesure des émissions de NO par une culture de Maïs

Grignon, 2002



$1 \text{ ng/m}^2/\text{s} = 0.864 \text{ g/ha/jour}$

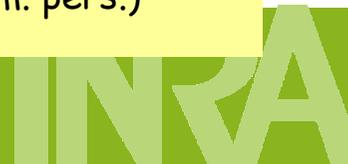
Jour de l'année

(Laville, comm. pers.)



AGRICULTURE

ENVIRONNEMENT



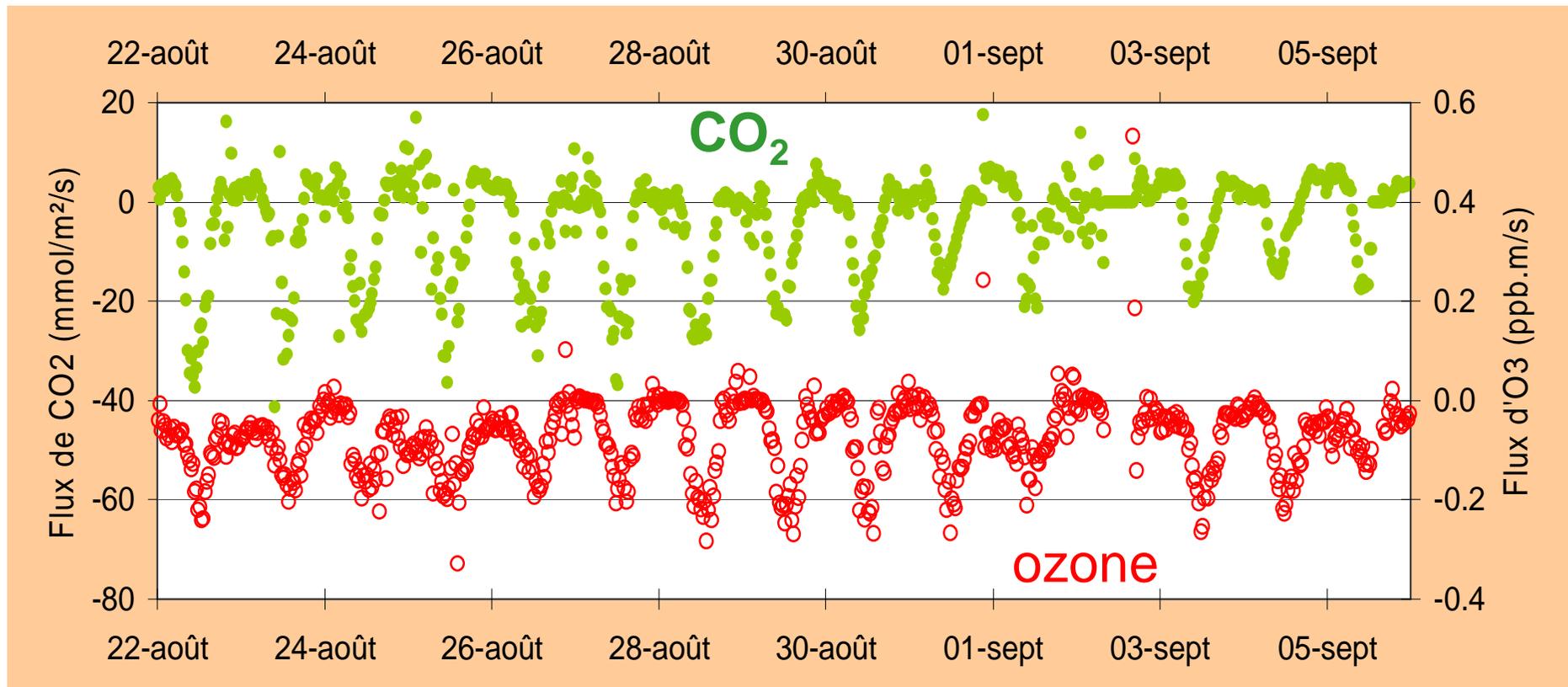


Un exemple d'émissions ou dépôts depuis la plante : l'ammoniac et l'ozone

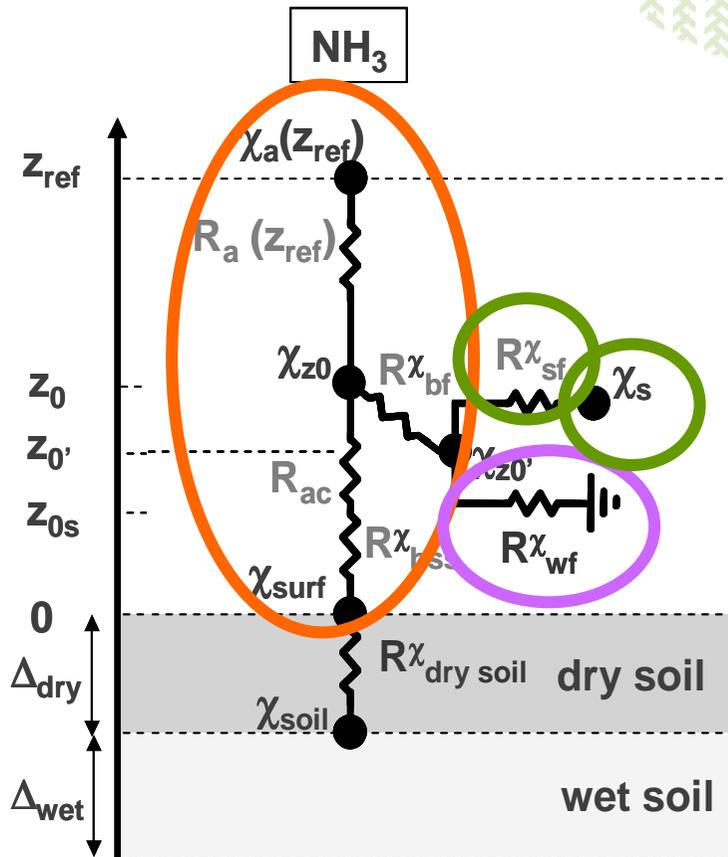


Échanges de CO_2 et d'ozone entre des couverts végétaux et l'atmosphère

Mesures de flux au dessus d'une culture de maïs
(Grignon, 2002)



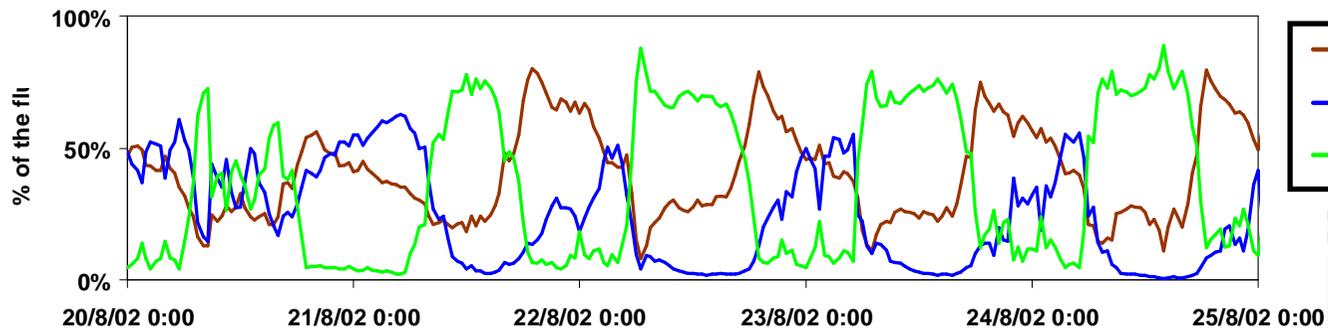
Analyse des émissions/dépôt sur la plante à l'aide d'un modèle à résistance



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, ...



— Model - soil
— Model - Cuticule
— Model - Stomata

(Personne *et al.*, 2009)



Conclusions: les émissions et dépôts au niveau des écosystèmes sont une étape importante du cycle des polluants et gaz à effet de serre et sont déterminés par de multiples facteurs

- Les **conditions météorologiques** en interaction avec la structure du couvert végétal et le microclimat au sein du couvert (température, humidité)
- 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
- Le **niveau de pollution**, directement (concentrations à comparer au point de compensation) et indirectement (dépôt cuticulaire)





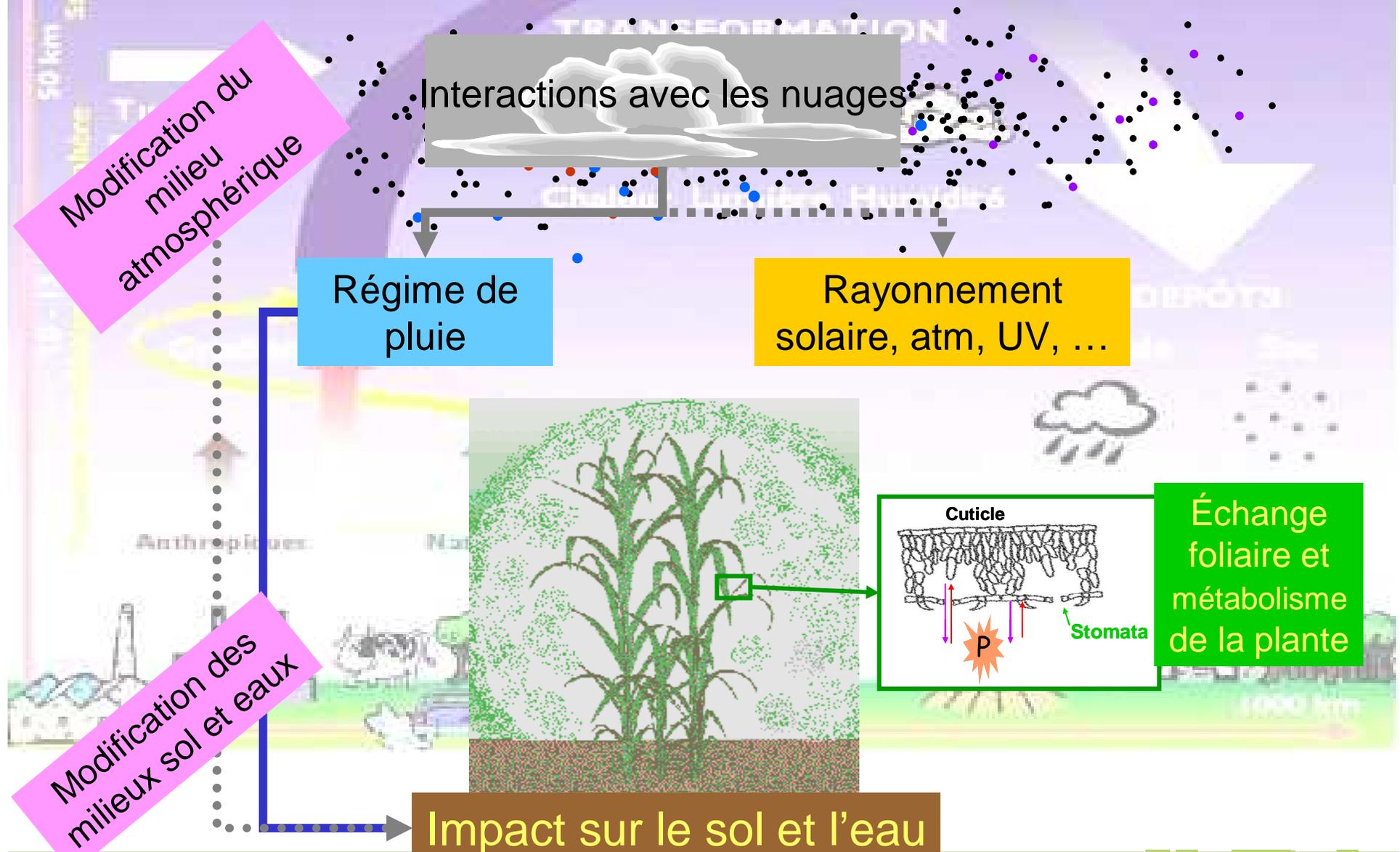
Impact de la pollution de l'air sur les écosystèmes



ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Modalités d'impacts des polluants sur les écosystèmes





Effets directs : cas de l'ozone



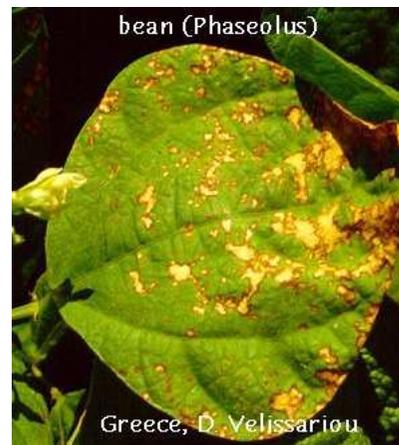
ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Effets de l'ozone sur les plantes

Observation de dégâts foliaires

Fortes concentrations
durée d'exposition variable



→ Perte de production primaire significative:
10-20% en Ile de France en 2003 (Castell, 2006)



France, J-F Castell

Journée « Météo, pollution de l'air et climat » ** 30 mars 2009

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Impact de l'ozone 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.

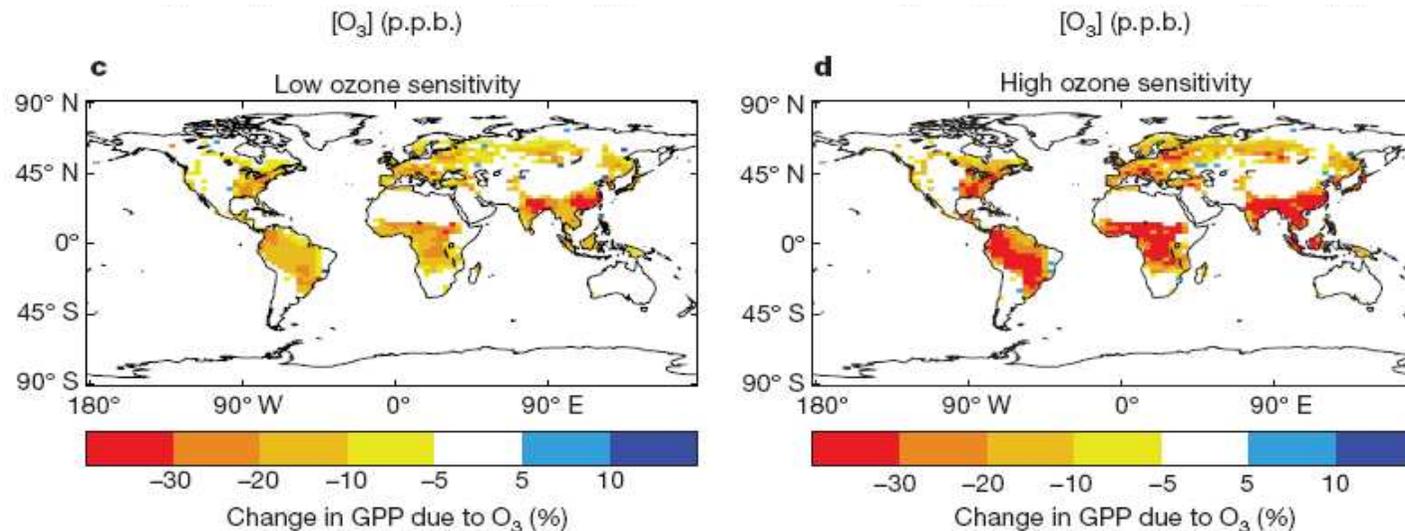


Figure 1 | Temporal changes of modelled ozone concentrations and gross primary productivity. a, b, Modelled diurnal (24-h) mean surface $[O_3]$ in p.p.b. averaged over June, July and August (JJA) for the present day (a) and the year 2100 under the SRES A2 emissions scenario (b). c, d, Simulated

percentage change in gross primary productivity (GPP) between 1901 and 2100 due to O_3 effects at fixed pre-industrial atmospheric $[CO_2]$ for 'low' (c) and 'high' (d) ozone plant sensitivity.

(Sitch et al., 2007)



Effet \pm direct : les dépôts atmosphériques



Des effets positifs : les apports atmosphériques sont une part majeure du bilan de certains éléments

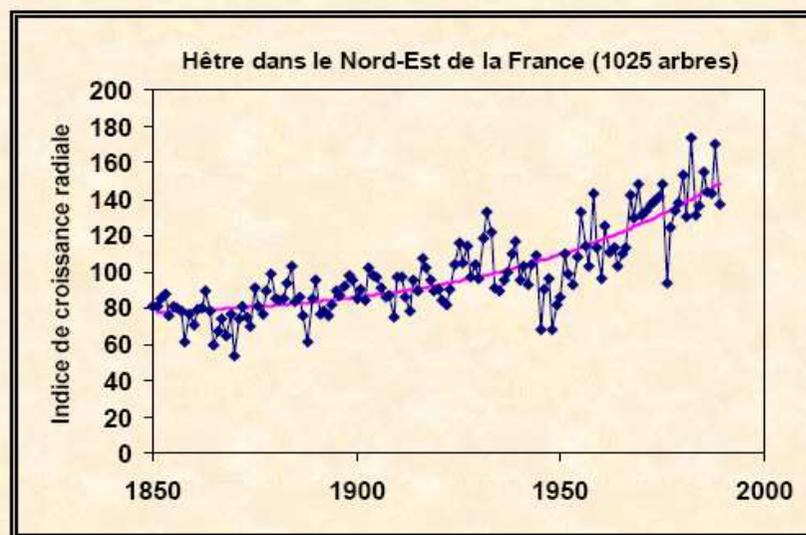
Apports atmosphériques sur un site forestier (Douglas) dans les Monts du Beaujolais

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)

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

Beech productivity in the North East of France

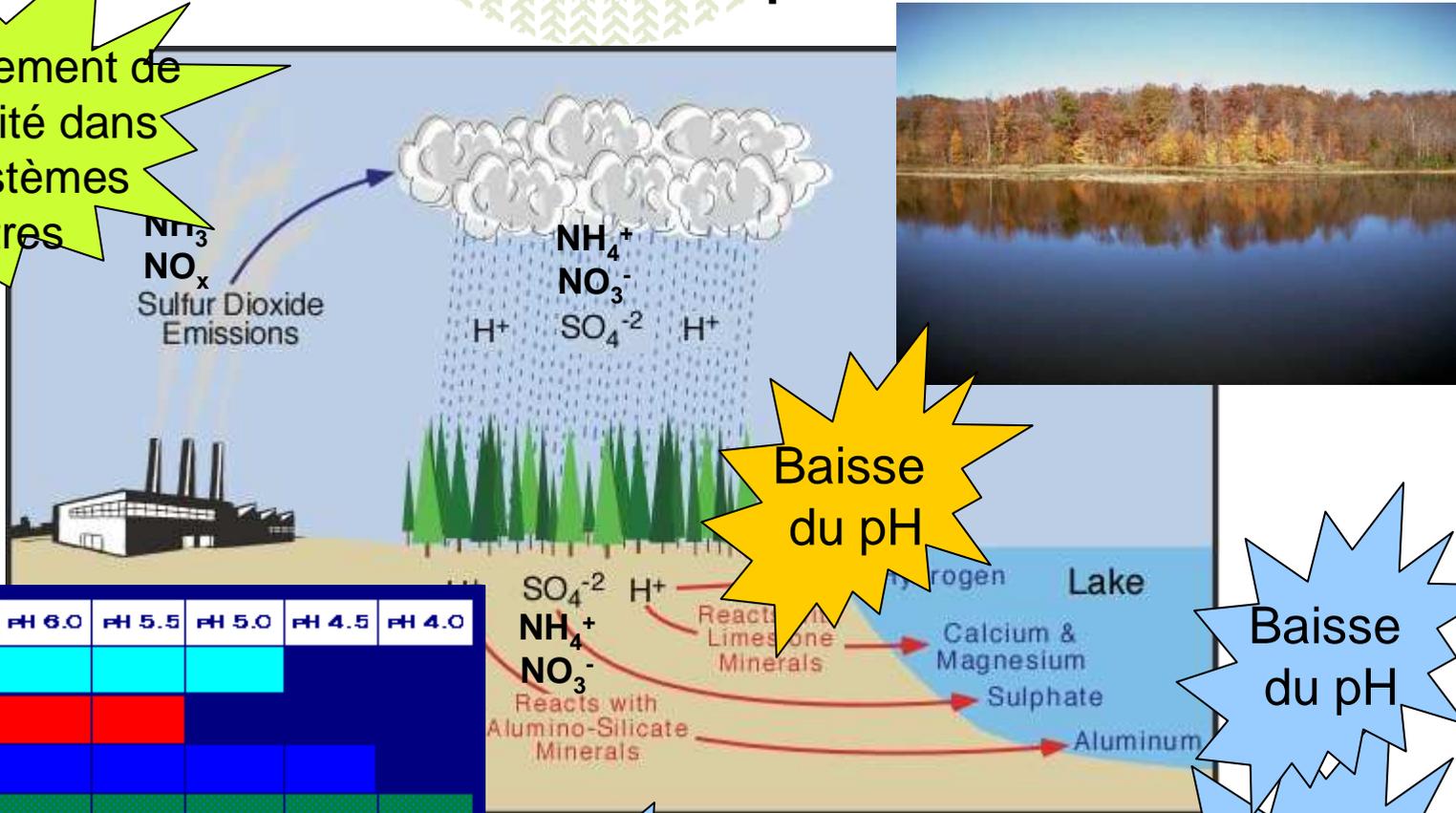


→ 30-70 kg C / kg N (de Vries *et al.*, 2008)



Conséquences négatives des dépôts: acidification, eutrophisation

Changement de biodiversité dans les écosystèmes terrestres



Baisse du pH

Baisse du pH

Toxicité aluminique, ...

	pH 6.5	pH 6.0	pH 5.5	pH 5.0	pH 4.5	pH 4.0
TROUT	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
BASS	Yes	Yes	Yes	No	No	No
PERCH	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
FROGS	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
SALAMANDERS	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
CLAMS	Yes	Yes	No	No	No	No
CRAYFISH	Yes	Yes	Yes	No	No	No
SNAILS	Yes	Yes	No	No	No	No
MAYFLY	Yes	Yes	No	No	No	No

Changement de biodiversité dans les lacs et rivières

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

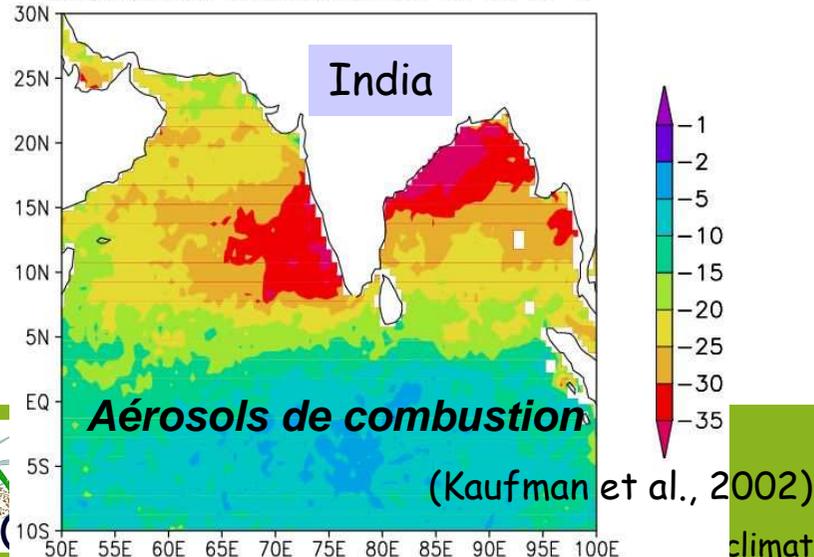
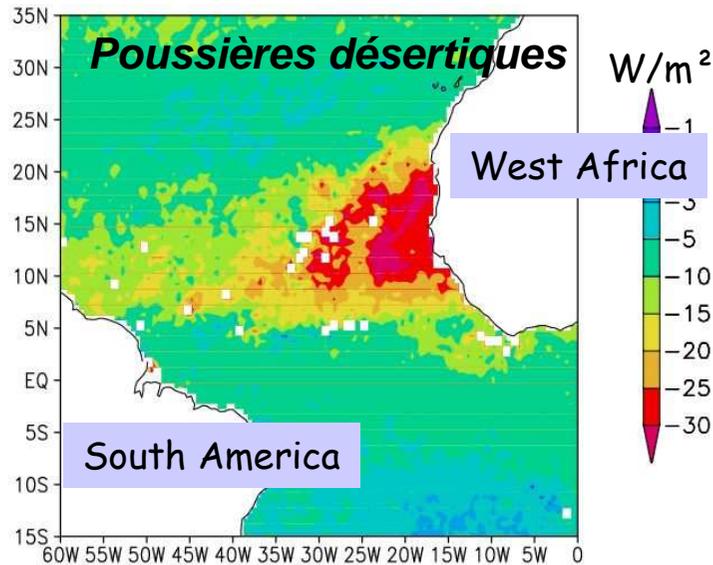


Modification du climat local, régional ou global

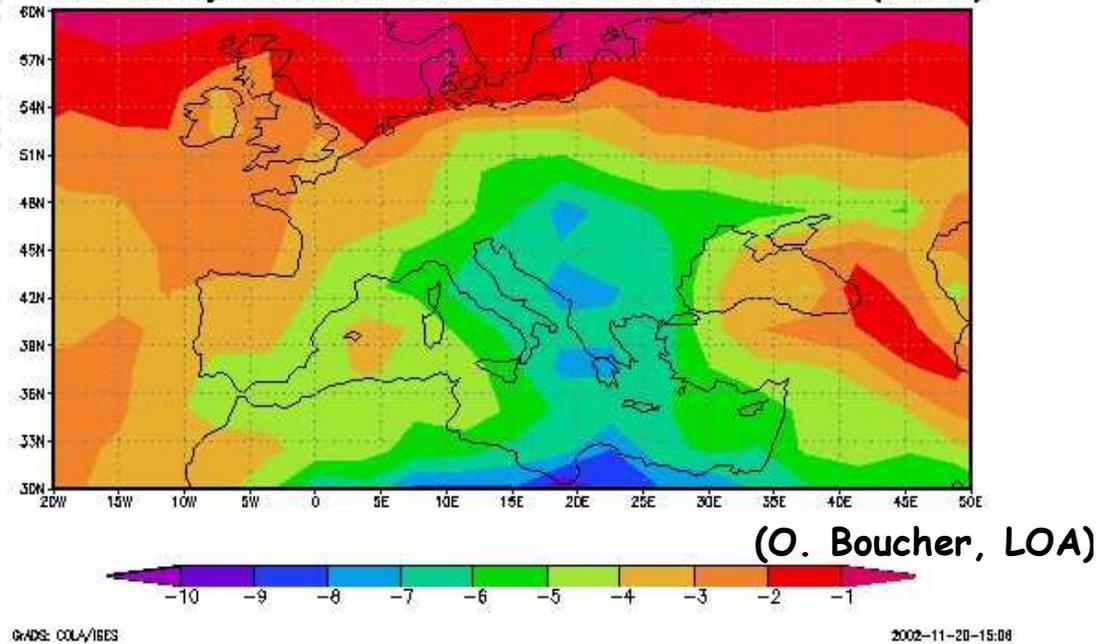
- Bilan radiatif
- Nébulosité
- Pluviométrie



Absorption du rayonnement solaire



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



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

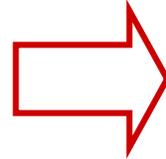


ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

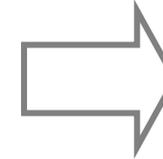


Interaction avec les nuages

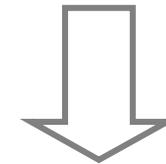
Augmentation
des CCN



Accroissement
du nombre et
gouttelettes et
diminution de
taille

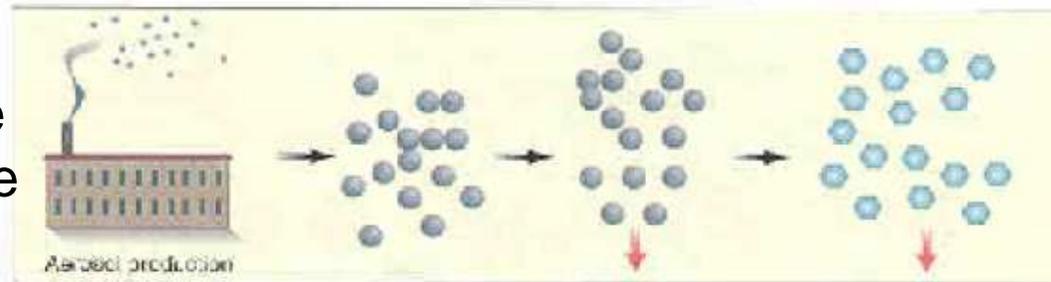


Accroissement
de la durée de
vie des
gouttelettes

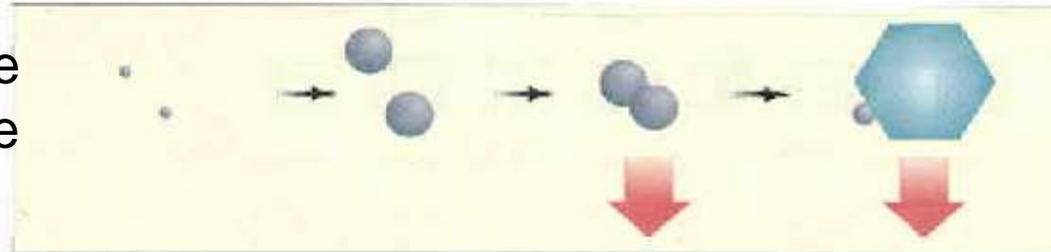


Augmentation
de la probabilité
de « brumes »,
diminution de
l'ennuagement

Atmosphère
polluée



Atmosphère
naturelle



Diminution
des
précipitations



Effet des aérosols en Chine

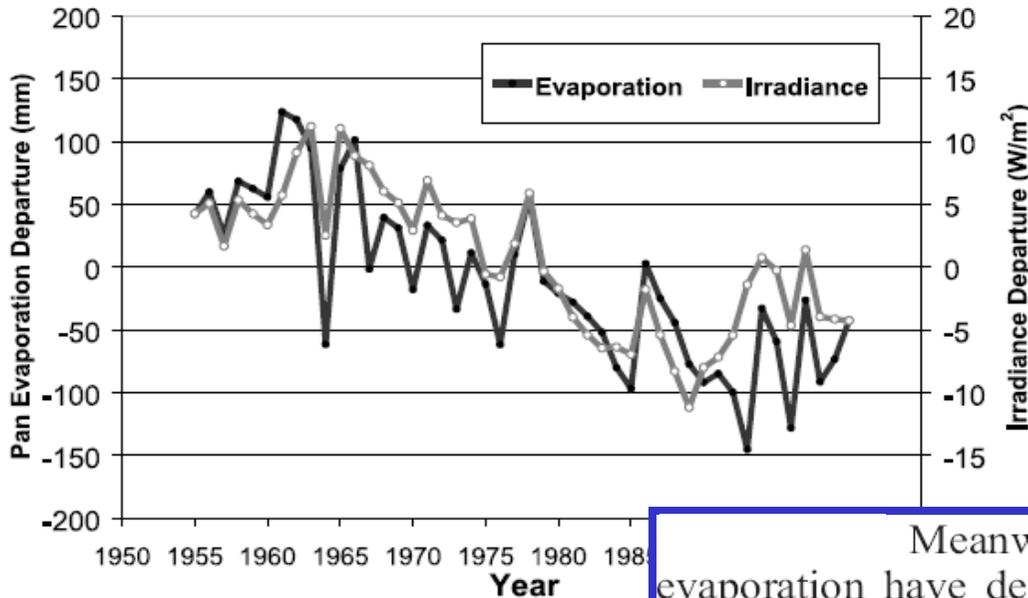


Figure 2. Time series of annual pan evaporation and solar irradiance for over all stations in China.

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.



Synthèse

Des impacts directs peu significatifs, sauf pour l'**ozone**.

Effets locaux possibles

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 les impacts radiatifs et sur la formation des nuages*
 - *Liens avec le changement climatique*
 - *Modification de la circulation atmosphérique ??*

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)

