

INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES DES ÉMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE PAR LES CULTURES AGRICOLES

par Pierre Cellier¹ et Jean-Claude Germon²

Les sols sont une source importante d'oxydes d'azote à l'échelle de la planète. On estime qu'ils peuvent représenter de 10 à 20% des émissions de ces composés, et sont de ce fait à l'origine de la moitié des émissions d'oxyde d'azotes, l'autre moitié étant générée suite aux processus de combustion (transport et production d'énergie).

Mécanismes de production de NO par les sols

Les processus biologiques d'oxydation ou de réduction de l'azote dans les sols sont en majorité capables de produire du NO (Firestone et Davidson, 1993). La nitrification, transformation microbienne de l'ion ammonium en ion nitrate, est toutefois reconnue comme le principal processus de production de NO conduisant à des émissions significatives vers l'atmosphère (Garrido *et al.*, 2002). Toutefois, les mécanismes biochimiques conduisant à l'émission de NO sont encore mal compris. L'hypothèse la plus couramment admise est qu'une synthèse de NO pourrait se produire suite à l'oxydation de NH₂OH, ou à la réduction de l'ion nitrite (Firestone et Davidson, 1993). Les principaux facteurs de régulation de ces émissions sont les teneurs en ammonium et en eau et la température du sol (Firestone et Davidson, 1993 ; Garrido *et al.*, 2002 ; Laville *et al.*, 2005).

Contribution des sols aux émissions d'oxydes d'azote à différentes échelles

Les sols sont une des sources principales de la production de NO, les autres sources étant essentiellement les processus de combustion (combustibles fossiles et biomasse), d'oxydation de l'ammoniac atmosphérique, les éclairs et les injections stratosphériques de NO. Les sols qui émettent le plus de NO sont d'une part les sols tropicaux, en raison du fort recyclage de la matière organique résultant des conditions de température et d'humidité de ces zones climatiques, et, d'autre part les sols cultivés en raison des apports d'azote pour les cultures. Dans les régions d'agriculture intensive d'Europe de l'Ouest, cette émission est proportionnellement plus faible en raison des températures plus basses et de l'importance des sources liées aux transports et à la production d'énergie. Elle n'en demeure pas moins tout à fait significative du fait des apports d'importants d'azote sur les terres agricoles. La production de NO par les sols cultivés est à relier au niveau de la fertilisation azotée (Skiba *et al.*, 1997 ; Laville *et al.*, 2005). Les résultats montrent une forte variabilité, entre quelques dixièmes de % à quelques % des apports d'azote. Le chiffre moyen retenu à l'heure actuelle est de 0,3% de l'azote appliqué émis sous forme de NO par les sols (Skiba *et al.*, 1997). En Europe de l'ouest, les émissions d'oxydes d'azote par les sols pourraient représenter de l'ordre de 5% des émissions totales pour des pays comme la France (Serça *et al.*, 2004) et les autres pays européens (Simpson *et al.*, 1999). Dans les régions très rurales, à forte activité agricole et faible activité industrielle, les émissions d'oxydes d'azote par les sols peuvent être plus élevées que les émissions dues aux transports et à l'industrie.

¹ INRA UMR Environnement et Grandes Cultures, Thiverval-Grignon. Courrier : Pierre.Cellier@bcgn.grignon.inra.fr

² INRA UMR Microbiologie et Géochimie des Sols, Dijon.

Impacts environnementaux des oxydes d'azote

Les émissions d'oxydes d'azote par les sols et les plantes ne sont en général pas significatives vis à vis du bilan d'azote d'une culture. Par contre, leurs impacts environnementaux, sur la qualité de l'air ou les écosystèmes par exemple, peuvent être importants.

Les oxydes d'azote jouent un rôle central dans la production d'ozone troposphérique (Acad. Sc., 1993) qui est l'un des principaux oxydants atmosphériques avec le radical OH. Ils interviennent en effet à la fois dans les processus de production lente d'ozone, impliquant le méthane et le monoxyde de carbone, et les processus rapides impliquant les composés organiques volatils (COV), d'origine anthropique ou biologique (émissions d'isoprènes et mono-terpènes par les arbres, émissions de COV oxygénés par les arbres ou les cultures). Les réactions chimiques et les vitesses de conversion dépendent notamment des teneurs en oxydes d'azote. Dans des zones à faible teneur en oxydes d'azote comme les zones rurales, toute émission, même faible, peut augmenter très significativement la production d'ozone : une molécule de NO émise peut conduire à la production de plusieurs molécules d'ozone. Des études par simulation (Serça *et al.*, 2004) montrent que les émissions par les sols peuvent augmenter la concentration d'ozone de plusieurs ppb. L'effet calculé dépend toutefois fortement des hypothèses prises pour simuler les émissions de NO.

Les oxydes d'azote peuvent également être absorbés par les plantes ; c'est principalement le cas de NO₂, résultat de l'oxydation de NO. Cette conversion de NO en NO₂ peut se produire au sein du couvert végétal par réaction entre le NO émis par le sol localement et l'ozone présent dans l'atmosphère. S'il peut être utilisé comme source d'azote, cet apport est en général faible. Par contre cette absorption peut avoir un effet négatif sur le fonctionnement des plantes par la perturbation des équilibres acido-basiques qu'elle occasionne au niveau de la feuille (Wellburn, 1990) et les modifications physiologiques qu'elle peut entraîner (*confer* exposés précédents).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) ACADÉMIE DES SCIENCES, 1993. – Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère. Essai d'évaluation scientifique. Lavoisier, Paris, Rapport de l'Académie des Sciences, **30**, 262 p.
- (2) DAVIDSON E.A. et KINGERLEE W., 1997. – A global inventory of nitric oxide emissions from soil. *Nutr. Cycling Agroecosy.*, **48**, 47-50.
- (3) FIRESTONE M.K. et DAVIDSON E.A., 1989. – Microbiological basis for NO and N₂O production and consumption in soil. *In* : M.O. Andreae et D.S. Schimel (Eds.), Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. John Wiley & Sons, Chichester (UK), 7-21.
- (4) GARRIDO F., HÉNAULT C., GAILLARD H., PEREZ S. et GERMON J.C., 2002. – N₂O and NO emissions by agricultural soils with low hydraulic potentials. *Soil Biology and Biochemistry*, **34**, 559-575.
- (5) LAVILLE P., HÉNAULT C., GABRIELLE B. et SERÇA D., 2005. – Measurement and modelling of NO fluxes over maize and wheat crops during their growing season: effect of crop management. *Nutr. Cycling Agroecosys.* (à paraître).
- (6) SERÇA D., LAVILLE P., BEEKMANN M., HÉNAULT C., GABRIELLE B., RAVETTA F. et CORTINOVIS J., 2004. – Émissions d'oxydes d'azote par les sols. Mesures, modélisation, cadastre et inventaire. Impact sur la qualité de l'air, le changement climatique, et évaluation des gisements de réduction de ces émissions. *Rapport final, projet GICC*, à paraître.
- (7) SIMPSON D. et al., 1999. – Inventorying emissions from nature in Europe. *J. Geophys. Res.*, **104**, 8113-8152.

- (8) SKIBA U., FOWLER D. et SMITH K.A., 1997. – Nitric oxide emissions from agricultural soils in temperate and tropical climates: sources, controls and mitigation options. *Nutr. Cycling Agroecosys.*, **48**, 139-153.
- (9) WELLBURN A.R., 1990. – Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers? Tansley Review No 24, *New Phytol.*, **115**, 395-429.

(Reçu le 10 janvier 2005)