



**Changements  
climatiques:  
comprendre  
pour mieux agir!**

## **ÉMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N<sub>2</sub>O) EN AGRICULTURE, CONTRIBUTION DES AMENDEMENTS ORGANIQUES, DES FERTILISANTS MINÉRAUX ET DU LABOUR**

**Martin Chantigny, Ph. D.**

Chercheur scientifique

Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures  
Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), Sainte-Foy

chantignym@em.agr.ca

M. Martin Chantigny est chercheur au Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Il s'intéresse à la valorisation des résidus organiques d'origine agricole et industrielle. Plusieurs expériences au champ lui ont permis de développer ou d'améliorer des techniques d'investigation fiables afin de mesurer les émissions de gaz à effet de serre relatives à diverses pratiques agricoles et d'identifier ou de proposer des mécanismes régularisant l'intensité des émissions de CO<sub>2</sub>, de N<sub>2</sub>O et de NH<sub>3</sub> consécutives aux pratiques agricoles.



**Ordre  
des agronomes  
du Québec**

# ÉMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N<sub>2</sub>O) EN AGRICULTURE, CONTRIBUTION DES AMENDEMENTS ORGANIQUES, DES FERTILISANTS MINÉRAUX ET DU LABOUR

## INTRODUCTION

---

Au Canada, environ 70 % des émissions de N<sub>2</sub>O sont d'origine agricole (Janzen et autres, 1998). Même si la perte d'azote en agriculture sous forme de N<sub>2</sub>O représente généralement moins de 2 % de l'azote appliqué au champ (Bouwman, 1996; Rochette et autres, 2000; Chantigny et autres, 2001), le producteur se doit de connaître les phénomènes et les pratiques culturales qui favorisent les émissions de N<sub>2</sub>O et les pratiques susceptibles de les minimiser. Le N<sub>2</sub>O émis vers l'atmosphère a une incidence significative sur le réchauffement climatique (Bouwman, 1990). En effet, une molécule de N<sub>2</sub>O a une capacité d'absorption des rayons infrarouges 310 fois supérieure à celle d'une molécule de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). De plus, le N<sub>2</sub>O est depuis une vingtaine d'années reconnu pour provoquer la dissociation de l'ozone stratosphérique, et par conséquent contribue davantage à l'augmentation du rayonnement UV de la planète.

Bien que le N<sub>2</sub>O puisse être produit dans les sols de façon purement chimique, la majeure partie de ce gaz est produite de façon biologique. Le N<sub>2</sub>O est en effet un intermédiaire métabolique des bactéries nitrificatrices et des microorganismes dénitrificateurs. La nitrification consiste pour certaines bactéries à utiliser l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) du sol comme source d'énergie et à le transformer en nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Le N<sub>2</sub>O apparaît comme un intermédiaire au cours de cette réaction et peut s'échapper du système. Même si les pertes de N<sub>2</sub>O via la nitrification semblent survenir de façon à peu près continue sous conditions de sol bien aéré, les quantités émises par cette voie ne représenteraient que 10 à 20 % des émissions totales (Cellier et autres, 1997). Le N<sub>2</sub>O apparaît également comme un intermédiaire métabolique du processus de la dénitrification qui consiste, pour certains microorganismes, à transformer le NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en N<sub>2</sub>O puis en azote moléculaire (N<sub>2</sub>) en absence d'oxygène. Par conséquent, ce phénomène se produit principalement dans les sols gorgés d'eau mais aussi au centre d'agrégats de sol assez gros et compacts pour restreindre la diffusion de l'oxygène vers leur centre (Hojberg et autres, 1994). La plupart des sols agricoles sont généralement bien aérés. Pourtant, même dans ce cas, les courtes périodes de mauvaise aération (après une pluie ou une irrigation, tard à l'automne et à la fonte des neiges) peuvent provoquer les épisodes d'émission de N<sub>2</sub>O les plus importants.

Comme mentionné plus haut, la dénitrification se produit obligatoirement en absence d'oxygène. Toutefois, les microorganismes impliqués ont aussi besoin d'un substrat carboné pour y puiser leur énergie et de  $\text{NO}_3^-$  comme accepteur d'électrons. La dénitrification ne survient donc de façon significative que si ces trois éléments sont présents simultanément. Les conditions les plus propices surviennent principalement lorsque des sols récemment fertilisés ou amendés se gorgent d'eau. Par conséquent, les opérations agricoles ayant un impact direct sur la disponibilité du  $\text{NO}_3^-$ , du carbone et sur la porosité du sol sont susceptibles d'influencer la dénitrification et la quantité de  $\text{N}_2\text{O}$  émise des sols agricoles. Trois situations vous sont présentées ici, soit : la fertilisation azotée minérale, les apports de fumier solide et de lisiers et l'effet du labour.

## **FERTILISATION AZOTÉE MINÉRALE**

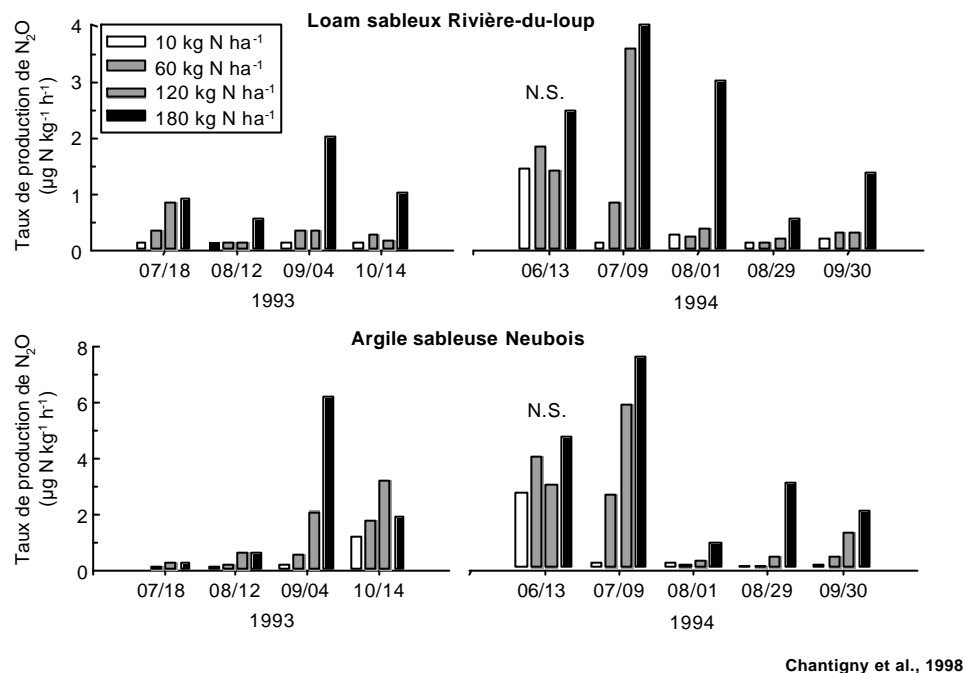
---

Les fertilisants minéraux peuvent augmenter de façon immédiate la teneur d'un sol en  $\text{NO}_3^-$ . S'il s'agit d'un engrais essentiellement ammoniacal (ex. : sulfate d'ammonium, urée, ammoniac anhydre), le  $\text{NO}_3^-$  n'apparaîtra qu'à partir du moment où l'ammonium sera nitrifié. En cours de saison de croissance et lorsque le sol est bien aéré, la nitrification est rapide (Nicolardot et autres, 1997) et peut transformer un apport important de  $\text{NH}_4^+$  en 7 à 15 jours sous les conditions du Québec (Rochette et autres, 2000; Chantigny et autres, 2001). Par conséquent, peu importe la forme de l'engrais, de grandes quantités de  $\text{NO}_3^-$  deviennent disponibles dans les jours suivant l'application et sont susceptibles d'être transformées en  $\text{N}_2\text{O}$ . La solution la plus facile pour réduire les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  consiste à ajouter un inhibiteur de la nitrification, comme le N-Serve (ou dicyandiamide), au fertilisant. Toutefois, cette approche est nécessairement plus coûteuse et pourrait peut-être, dans certains cas, interférer avec la vitesse de fourniture de  $\text{NO}_3^-$  à la culture.

Une autre approche consiste à appliquer l'azote minéral au stade où la culture est la plus apte à le prélever rapidement. Une étude de champ menée en 1993 et 1994 sur les émissions potentielles de  $\text{N}_2\text{O}$  en fonction de la dose de fertilisant azoté appliquée au maïs, a permis de mettre en évidence que la partie de l'apport d'engrais excédant les besoins de la culture, bien plus que la dose totale elle-même, est responsable de la majeure partie des émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  (Figure 1). En effet, avec des doses d'azote variant de 10 à 180 kg/ha, les émissions potentielles de  $\text{N}_2\text{O}$  ont augmenté de façon exponentielle et n'ont été significatives qu'au-dessus de 120 kg N/ha, dose recommandée pour la région de l'étude. Ces résultats ont

démonstré l'aspect crucial d'établir la meilleure recommandation possible en terme d'apport d'engrais azoté et la nécessité de respecter cette recommandation. De plus, il apparaît évident qu'un fractionnement de l'apport à différents stades de croissance évitera d'excéder la capacité à court terme d'une culture à prélever l'azote et réduira les risques d'émissions de  $N_2O$ .

**Figure 1 : Taux de production de  $N_2O$  mesuré dans des carottes de sol prélevées dans un loam sableux et une argile sableuse à différentes dates sous une culture de maïs-grain fertilisée avec des doses croissantes de nitrate d'ammonium (34-0-0) (Chantigny et autres, 1998).**



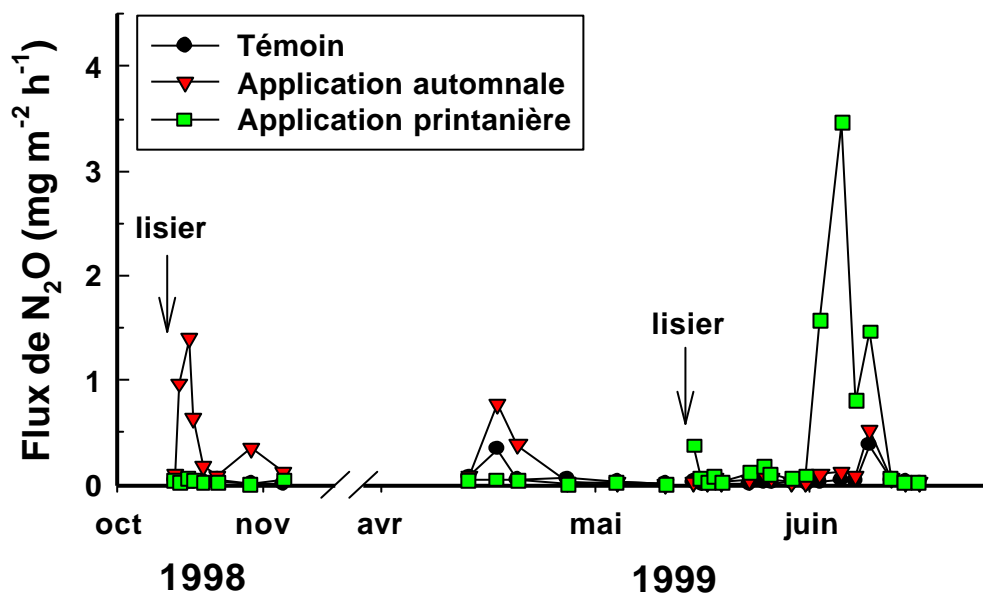
Chantigny et al., 1998

## APPORTS DE FUMIER SOLIDE ET DE LISIER

Les apports d'engrais de ferme sont reconnus pour activer l'activité biologique du sol et, par conséquent, stimuler la production de  $N_2O$  (Lessard et autres, 1996; Rochette et autres, 2000; Chantigny et autres, 2001). Comme ces amendements apportent le carbone et qu'une partie de l'azote est déjà sous forme minérale ( $NH_4^+$ ), il ne reste en général qu'à attendre la première pluie suivant l'épandage pour connaître des épisodes d'émissions de  $N_2O$  très élevées (Figure 2). Toutefois, des émissions immédiates de  $N_2O$  peuvent aussi survenir (Lessard et autres, 1996; Rochette et autres, 2000). Comme dans le cas des engrais minéraux, l'ajustement de la dose d'azote à la capacité d'absorption de la plante et le fractionnement de la dose totale à appliquer sont les meilleures approches à utiliser pour restreindre la production de  $N_2O$ . Les

épandages sur sol nu ou en pré-semis devraient être évités si possible, surtout pour les cultures à établissement lent (ex : maïs), car la majeure partie de l'azote appliquée est transformée en  $\text{NO}_3^-$  en quelques jours (Morvan et autres, 1996 et 1997; Rochette et autres, 2000; Chantigny et autres, 2001) et devient disponible pour produire du  $\text{N}_2\text{O}$ . Le semis d'une culture intermédiaire à l'automne ou d'une culture intercalaire à croissance rapide au printemps peut aider à immobiliser temporairement l'azote de façon à le rendre disponible au moment où la culture principale en aura le plus besoin (Machet et autres, 1997). Les exemples les plus connus d'espèces se prêtant bien à cette approche sont le sarrasin, la moutarde, le seigle, le blé, le colza et le ray-grass. On a noté une capacité d'absorption d'azote pouvant atteindre 200 kg/ha pour certaines de ces cultures (Machet et autres, 1997).

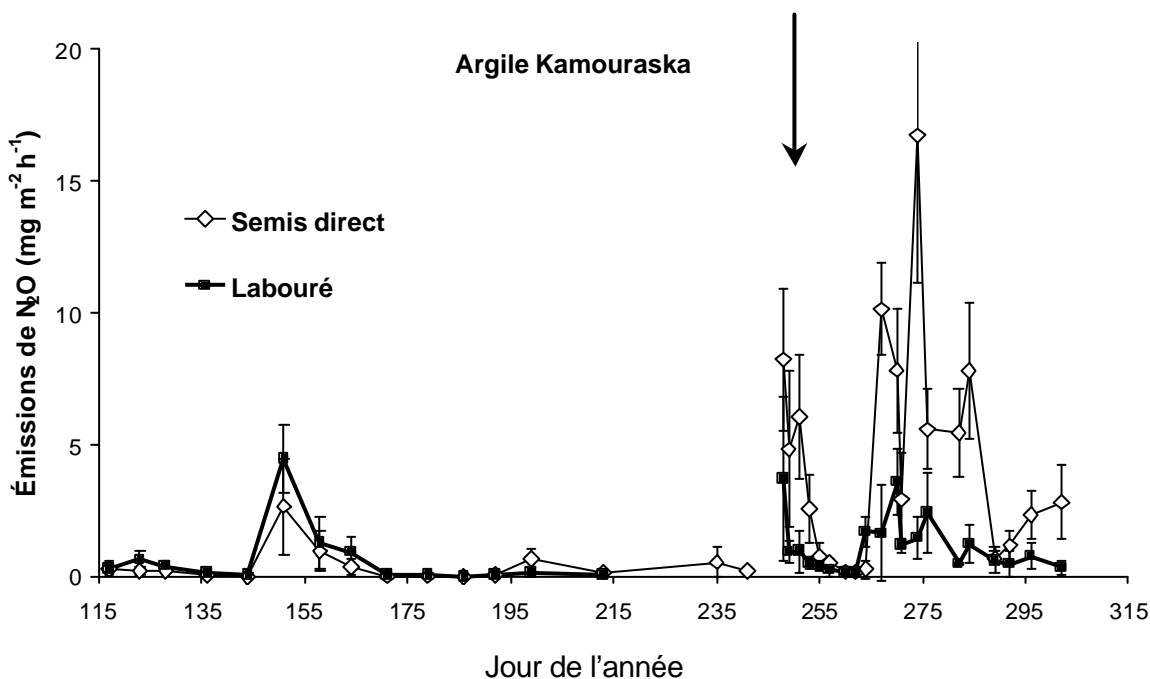
Figure 2 : Flux de  $\text{N}_2\text{O}$  sur un loam limono-argileux Le Bras à la suite d'une application automnale ou printanière de lisier de porc ( $60 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). Notez le décalage entre l'application et le pic d'émission à la suite à d'un épandage printanier sur sol sec (Rochette et autres, non publié).



## EFFET DU LABOUR

Très peu de choses sont connues à propos de l'impact d'un travail réduit des sols agricoles sur les émissions de  $N_2O$ . Un essai démarré en 1999 vise à comparer les émissions de gaz à effet de serre dans les sols labourés de façon conventionnelle à l'automne par rapport aux mêmes sols soumis au semis direct. Cette étude a permis de démontrer que les émissions de  $N_2O$  dans un sol léger (loam sableux St-André) sont peu influencées par le fait que le sol soit labouré après la récolte ou soumis au semis direct. Par contre, dans un sol lourd (argile Kamouraska), les émissions de  $N_2O$  se sont avérées beaucoup plus élevées en automne lorsque le sol n'est pas travaillé (Figure 3). Ceci pourrait être lié à une diminution de la macroporosité des sols non labourés, qui favorise le développement de zones anaérobies propices à la dénitrification. Ces conditions, associées à une augmentation de  $NO_3^-$  du sol après la récolte, pourraient conduire à une augmentation des émissions de  $N_2O$ . De plus amples investigations sont toutefois nécessaires afin d'éclaircir ce point. Si ce fait s'avère positif, l'implantation d'une culture intermédiaire à l'automne sur les sols soumis à un travail minimum pourrait être une avenue efficace de mitigation des émissions de  $N_2O$ .

Figure 3 : Émissions de  $N_2O$  dans une argile soumise à un labour conventionnel ou à un semis direct. La flèche indique le moment où la récolte de l'orge a été effectuée. (Rochette et autres, non publié).



## CONCLUSION

---

On ne peut empêcher de façon systématique les émissions de N<sub>2</sub>O en agriculture en raison, entre autres, des aléas climatiques (ex. : précipitations) que nous ne pouvons contrôler ni prévoir de façon très précise. Toutefois, le respect de certains principes simples permet de minimiser les risques d'émissions importantes de N<sub>2</sub>O :

***Ajuster les recommandations d'engrais le mieux possible à la réalité de la parcelle et aux besoins des cultures et respecter cette recommandation.***

Dans le cas de tout apport d'éléments nutritifs, engrais minéraux ou amendements, ce qui provoque les émissions de N<sub>2</sub>O est principalement lié à la fraction inutilisée de l'engrais par la culture, et non à la dose totale. Il faudra, dans les prochaines années, établir de façon plus précise la contribution du sol et des précédents culturaux à la nutrition des cultures afin de mieux ajuster les recommandations d'engrais.

***Utiliser des cultures intermédiaires ou intercalaires afin de minimiser les quantités de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> libres dans le sol.***

Étant donné la grande capacité d'absorption d'azote par des espèces comme la moutarde, le ray-grass italien ou le sarrasin, cette pratique de cultures intermédiaire ou intercalaire peut s'avérer judicieuse lorsque des épandages de lisier ou de fumier sont faits en dehors de la période de croissance de la culture principale. En somme, toute pratique agricole visant à améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote d'un fertilisant ou d'un amendement par la culture aura un effet dépressif sur les émissions de N<sub>2</sub>O.

## RÉFÉRENCE

---

BOUWMAN, A.F. 1990. *Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere, Soils and the greenhouse effect*, A.F. Bouwman éditeur, Wiley, Chichester. 61 pages.

BOUWMAN, A.F. 1996. *Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils, Nutrient cycling in the agroecosystems*, vol. 46. 53 pages.

CELLIER, P. et autres. 1997. *Les émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et d'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub> et N<sub>2</sub>O) par les sols cultivés : mécanismes de production et quantification des flux*. Maîtrise de l'azote

dans les agrosystèmes, Les Colloques, n° 83, G. Lemaire et B. Nicolardot éditeurs, INRA Éditions, France. 25 pages.

CHANTIGNY, M.H. et autres. 1998. *Nitrous oxide production in soils cropped to corn with varying N fertilization*, Can. J. Soil Sci., vol. 78. 589 pages.

CHANTIGNY, M.H., P. ROCHETTE et D.A. ANGERS. 2001. *Short-term C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: a field experiment*, Can. J. Soil Sci., vol. 81. 131 pages.

HOJBERG, O., N.P. Revsbech et J.M. Tiedje. 1994. *Denitrification in soil aggregates analyzed with microsensors for nitrous oxide and oxygen*, Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 58, 1691 pages.

JANZEN, H.H. et autres. 1998. *La santé de l'air que nous respirons. Vers une agriculture durable au Canada.*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction de la Recherche, Ottawa, ON. 100 pages.

LESSARD, R. et autres. 1996. *Nitrous oxide fluxes from manure-amended soil under maize*, J. of Environ. Qual., vol. 25. 1371 pages.

MACHET, J.M. et autres. 1997. *Maîtrise de l'azote dans les intercultures et les jachères. Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Les Colloques, n° 83, G. Lemaire et B. Nicolardot éditeurs, INRA Éditions, France. 271 pages.

MORVAN, T., P. LETERME et B. MARY. 1996. *Quantification des flux d'azote consécutifs à un épandage de lisier de porc sur triticales en automne par marquage isotopique <sup>15</sup>N*, Agronomie, vol. 16. 541 pages.

MORVAN, T. et autres. 1997. *Nitrogen transformations after the spreading of pig slurry on bare soil and ryegrass using <sup>15</sup>N-labelled ammonium*, Eur. J. Agron., vol. 7, 181 pages.

NICOLARDOT, B. et autres. 1997. *La dynamique de l'azote dans les sols cultivés*, Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, Les Colloques, n° 83, G. Lemaire et B. Nicolardot éditeurs, INRA Éditions, France. 25 pages.

ROCHETTE, P. et autres. 2000. *Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for the 19th consecutive year: II- N<sub>2</sub>O fluxes and mineral nitrogen*, Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 64. 1396 pages.