

TITRE DE LA PRÉSENTATION :

Utilisation des engrais minéraux azotés en grandes cultures : description des différentes formes et leurs impacts en agroenvironnement



AUTEURE :

Noura Ziadi, Ph.D., chercheure scientifique
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Centre de recherche et de développement sur les sols
et les grandes cultures, Québec

COLLABORATEURS : Bernard Gagnon et Athyna Cambouris

1. INTRODUCTION

Il est bien connu que l'azote (N) est un élément essentiel à la croissance et au bon développement de la plupart des plantes supérieures. En effet, il constitue l'élément majeur le plus limitatif pour la croissance de ces plantes. C'est un constituant essentiel des protéines, des acides nucléiques et de la chlorophylle. Il s'agit donc à la fois d'un facteur de croissance et de qualité. L'azote absorbé par la plante, sous forme minérale : ammonium ou nitrate, peut provenir soit de la minéralisation de la matière organique du sol (humus ou résidus de culture), soit de l'apport des engrais organiques et/ou minéraux. L'augmentation considérable des rendements depuis le début du siècle fut attribuée, entre autres, à l'utilisation des engrais (31 %) et l'effet spectaculaire de ces engrais sur la régénération de la fertilité du sol est bel et bien rapporté dans la littérature.

Bien que les engrais azotés soient essentiels pour assurer un meilleur rendement et une bonne qualité, l'azote peut causer des problèmes environnementaux majeurs s'il n'est pas géré convenablement ou s'il n'est pas prélevé par la plante au moment opportun. Les pertes économiques peuvent également être importantes dans le cas d'une gestion non judicieuse de cet élément. Au Québec, environ 100 000 tonnes d'azote sont vendues annuellement sous forme d'engrais minéraux pour répondre aux besoins des différentes cultures. De plus, près de 35 millions de mètres cubes d'engrais de ferme et de matières résiduelles fertilisantes sont utilisés pour combler les besoins en N des cultures. Plusieurs types d'engrais minéraux azotés sont disponibles sur le marché et le choix par le producteur d'un type par rapport à d'autres est influencé notamment par le coût de l'unité fertilisante, par la disponibilité des produits sur le marché et par les équipements dont il dispose. Une fertilisation adéquate est essentielle pour optimiser les rendements, respecter et protéger l'environnement.

2. SOURCE D'ENGRAIS AZOTÉ

Au Québec, l'évolution de l'utilisation des engrais minéraux durant les dix dernières années n'a pas suivi l'augmentation des superficies agricoles, entre autres, celles des grandes cultures (CRAAQ, 2003). Cette situation est essentiellement expliquée par l'utilisation d'autres sources d'engrais telles que les engrais de fermes, les composts, les matières résiduelles fertilisantes, etc. Par ailleurs, plusieurs types d'engrais minéraux azotés sont utilisés par les producteurs québécois : urée, nitrate d'ammonium, solution 32, nitrate d'ammonium calcique, ammoniac anhydre. Toutefois, l'urée reste l'engrais le plus populaire au Québec et même ailleurs au Canada.

Urée (46-0-0) : Avec 46 % d'azote sous forme ammoniacale, l'urée est l'engrais sec le plus riche en azote et il est complètement soluble à l'eau. Il agit moins rapidement que les nitrates, et son effet dure plus longtemps. L'hydrolyse de l'urée dépend de la température du sol. Elle ne nécessite que de trois à cinq jours en sol froid tandis que quelques heures suffisent en sol réchauffé. Son application est recommandée avant une pluie et il doit être enfoui afin d'éviter d'éventuelles pertes par volatilisation.

Nitrate d'ammonium (33.5-0-0) : Cet engrais contient 33,5 % d'azote, dont 50 % sous forme ammoniacale et 50 % sous forme nitrique. Il est appliqué en bandes ou à la volée. Son action est très rapide puisqu'il contient les formes ammonium et nitrates absorbées par les plantes. Il est susceptible d'être perdu par lessivage ou par dénitrification, notamment en raison de sa forme nitrique.

Solutions azotées : Ces types d'engrais peuvent être obtenus à la suite de mélanges d'ammoniac, de nitrate d'ammonium, d'urée et d'eau et contiennent en moyenne entre 28 et 32 % de N. En général, ces engrais sont appliqués en postlevée.

Nitrate d'ammonium calcique (27-0-0) : Il s'agit du nitrate d'ammonium granulé avec de la chaux. Il contient 27 % de N, 5 % de calcium et 2,5 % de magnésium selon le type de chaux utilisé dans sa fabrication. Il peut être appliqué à la volée, en bandes, en pré-semis ou postlevée. Au Québec, il a connu une popularité grandissante depuis les dix dernières années. Ayant les mêmes propriétés que le nitrate d'ammonium, il est alors susceptible d'être perdu par lessivage ou par dénitrification.

Engrais à libération lente (NLL) : L'avantage de ces types d'engrais est de synchroniser la disponibilité de N avec le prélèvement par la plante pour ainsi favoriser l'efficacité de l'utilisation de N. Une gamme de produits a été créée, de types substances organiques de faible solubilité, minéraux peu solubles ou engrais enrobés (Shaviv et Mikkelsen, 1993). Toutefois, les études effectuées jusqu'à présent ont rapporté des conclusions parfois contradictoires.

En effet, dans la pomme de terre, Hutchinson *et al.* (2003) ainsi que Shoji *et al.* (2001) ont rapporté que l'efficacité de l'azote augmente avec l'utilisation des engrais à libération lente. Shoji *et al.* (2001) ont conclu qu'un seul apport au semis de 112 kg N ha⁻¹ sous forme NLL (*polyolefin coated urea, MEISTER-5*) donne des rendements comparables à ceux obtenus avec une fertilisation traditionnelle de 269 kg N ha⁻¹ appliquée à différentes dates sous forme d'urée et de nitrate d'ammonium. D'autres recherches (Waddell *et al.* 1999) ont rapporté un effet négatif sur le rendement de la pomme de terre. Les études récentes effectuées dans l'Ouest canadien (Mahli *et al.*, 2003, Grant *et al.*, 2006) montrent peu d'effets des NLL sur le rendement du canola et de l'orge. Les conditions sèches du sol au début de la saison de croissance ont certainement limité leur effet bénéfique. Au Québec, quelques études sur l'efficacité de l'utilisation de NLL sont en cours (Parent et Ziadi, 2006-2009) ou planifiées (Ziadi *et al.*, 2008-2010).

3. RENDEMENT DES CULTURES ET EFFICACITÉ DE L'UTILISATION DE L'AZOTE

L'azote a un effet significatif sur le rendement de la majorité des grandes cultures. En effet, pour atteindre de hauts rendements et satisfaire leurs exigences nutritionnelles, certaines cultures ont des besoins élevés en N. Des études effectuées au Québec rapportent que l'augmentation des rendements du maïs-grain (Simard *et al.*, 2001; Tremblay, 2006a, 2006b; Ziadi *et al.*, 2003, 2006, 2007), du blé (Cambouris *et al.*, 2004) et des tubercules commercialisables de la pomme de terre est directement attribuable à l'apport de N. Ces résultats corroborent ceux obtenus récemment dans les Maritimes, aux États-Unis et en Ontario (Bélanger *et al.*, 2001; Halvorson *et al.*, 2005; Ma *et al.*, 2005). Plus spécifiquement, dans une récente étude effectuée au Québec portant sur l'effet de différentes sources de N minéral, Ziadi *et al.* (2006) rapportent que les rendements en grains et en biomasse totale du maïs sont significativement influencés par l'apport de N minéral. En moyenne, après trois années de recherche, on note une augmentation significative de 0,3 et 0,8 t ha⁻¹ de maïs-grain avec l'utilisation de la solution 32 par rapport à l'utilisation respective de l'hydroxyde d'ammonium ou celle du nitrate d'ammonium calcique (Tableau 1). L'étude a été réalisée dans la région de Québec sur une argile Kamouraska de 2004 à 2006 et les engrais azotés ont été appliqués en bande entre les rangs de maïs au stade de 6-8 feuilles. Les rendements totaux et en grains ainsi que les indices de récolte ont varié beaucoup avec les années (données non présentées) et démontrent une fois de plus l'effet des conditions climatiques et de la zone de production sur les rendements des cultures (CRAAQ, 2003). Les résultats d'une autre étude récente effectuée durant deux saisons de croissance (2004-2005) sur six sites situés dans les régions de Québec, Saint-Jean-sur-Richelieu et Montérégie (Brassard, 2007; Ziadi *et al.*, 2007) révèlent la variation des rendements du maïs-grain en fonction de l'année, de la région et de la dose de N apporté. En effet, les rendements en grains (14 % d'humidité) variaient entre 2,3 à 10,2 t ha⁻¹ avec la dose la plus faible de N (20-30 kg de N ha⁻¹) et entre 6,3 à 12,5 t ha⁻¹ quand 250 kg N ha⁻¹ étaient appliqués.

Les données présentées dans le tableau 1 révèlent que l'efficacité de l'utilisation de N varie avec le type d'engrais minéral et est supérieure avec la solution 32. Les résultats sont comparables à ceux obtenus au Québec par d'autres équipes de recherche (Chantigny, 2006, données non publiées; Thibodeau *et al.*, 2006).

Tableau 1. Effets de différentes sources de N sur le rendement du maïs, le prélèvement en N par la culture et l'efficacité d'utilisation de N (moyenne de trois ans : 2004-2006; Ziadi *et al.* 2006)

Engrais	Dose de N	Rendement en grains (100 % MS)	Biomasse totale	Prélèvement de N	Efficacité d'utilisation du N
	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	% N ajouté
Témoin	0	5,0	7,7	87	
CAN ¹	100	7,0	10,5	133	46
	150	7,3	10,9	142	36
	200	7,6	11,8	157	35
NH ₄ OH ²	100	6,6	10,2	131	44
	150	7,2	10,7	138	34
	200	7,0	10,5	137	25
Solution 32 (S32)	100	7,7	11,8	152	65
	150	7,7	11,7	156	45
	200	7,7	11,9	162	37
LSD _{0,05}		0,7	1,0	15	
Contrastes		-----Pr>F-----			
CAN effet linéaire		0,0001	0,0001	0,0001	
NH ₄ OH effet linéaire		0,0001	0,0001	0,0001	
S32 effet linéaire		0,0001	0,0001	0,0001	
CAN vs NH ₄ OH		N.S.	0,0304	N.S.	
CAN vs S32		0,0413	0,0230	0,0383	
S32 vs NH ₄		0,0008	0,0001	0,0034	

¹ : Nitrate d'ammonium calcique; ² : Hydroxyde d'ammonium 23,9% de N (L/L).

4. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'UTILISATION DE L'AZOTE

4.1 Effet de la fertilisation minérale sur la teneur du sol en nitrates à la récolte

Des études effectuées au Québec révèlent que l'efficacité des engrais azotés est de l'ordre de 45 % (Chantigny, 2006, données non publiées; Thibodeau *et al.*, 2006; Ziadi *et al.*, 2006). Ainsi, la partie non utilisée par la plante peut subir d'autres transformations et être soit immobilisée, soit perdue par volatilisation, dénitrification ou lessivage. L'impact environnemental de l'utilisation non adéquate de N peut alors être très problématique. L'effet de la fertilisation azotée, principalement sur les risques de lessivage de nitrates résiduels et sur la perte de N sous forme de N₂O, sera ci-dessous discuté.

Des études effectuées au Québec au cours des années 1990 ont révélé que la quantité résiduelle sous forme de nitrates dans des sols cultivés en céréales se situe généralement entre 2 et 10 % de la dose appliquée (Isfan *et al.*, 1995; Tran *et al.*, 1996). La quantité de nitrates résiduels dans le sol peut provenir aussi de la minéralisation de la matière organique du sol. D'autres études plus récentes ont clairement révélé que les nitrates résiduels varient avec la saison de croissance, le type d'engrais utilisé ainsi que la quantité de N appliquée (Bélanger *et al.*, 2003; Ziadi *et al.*, 2003, 2006). Ainsi, il ressort du tableau 2 que les nitrates résiduels dans la couche 0-60 cm sont environ deux fois plus élevés (70 mg kg^{-1}) lorsque l'azote est apporté sous forme de nitrate d'ammonium ou de solution 32 que sous forme d'hydroxyde d'ammonium (35 mg kg^{-1}). Ces résultats peuvent être expliqués, en partie, soit par une fixation de l'ammonium (Chantigny *et al.*, 2004), soit par la perte par volatilisation au moment de l'application (Rochette *et al.*, 2004). Dans une culture de pomme de terre, Bélanger *et al.* (2003), rapportent une augmentation significative de N résiduel dans la couche 0-90 cm avec l'augmentation de la dose de N. Toutefois, la quantité de nitrates résiduels ($< 70 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) et par conséquent le risque de lessivage peuvent être relativement faibles si la fertilisation azotée de la pomme de terre est basée sur la dose de N économique. Ces résultats corroborent ceux de Ziadi *et al.* (2003) pour le maïs-grain.

Tableau 2. Effets des doses et de la source de N sur la teneur en nitrates du sol sous la bande d'engrais à la récolte du maïs (Ziadi *et al.*, 2006)

Engrais	Dose de N kg ha ⁻¹	Profondeur du sol		
		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
		-----mg kg ⁻¹ -----		
Témoin	0	6	5	3
CAN ¹	100	17	10	4
	150	30	15	11
	200	66	39	21
NH ₄ OH ²	100	12	9	3
	150	15	12	6
	200	21	17	9
Solution 32 (S32)	100	11	8	6
	150	34	32	17
	200	38	37	23
LSD _{0.05}		14	11	11
Contrastes		-----Pr>F-----		
CAN effet linéaire		0,0001	0,0001	0,0010
NH ₄ OH effet linéaire		0,0005	0,0038	N.S.
S32 effet linéaire		0,0001	0,0001	0,0008
CAN vs NH ₄ OH		0,0010	N.S.	0,0359
CAN vs S32		N.S.	N.S.	N.S.
S32 vs NH ₄ OH		0,0278	0,0186	0,0065

¹ : Nitrate d'ammonium calcique; ² : Hydroxyde d'ammonium 23,9 % de N (L/L).

4.2 Effet de la fertilisation azotée minérale sur l'émission de protoxyde d'azote (N₂O)

La fertilisation minérale azotée a un effet sur les pertes de N sous forme de N₂O, un puissant gaz à effet de serre. Les conditions climatiques (surtout la pluviométrie), le type de sol, la quantité et le type d'engrais utilisé constituent les principaux facteurs qui peuvent influencer ces pertes (Bremner *et al.*, 1981; Breitenbeck et Blackmer, 1986; Chantigny *et al.*, 1998; Rochette *et al.*, 2004; Ziadi *et al.*, 2006). Dans une étude effectuée au Québec sur du maïs-grain fertilisé avec de l'ammoniac anhydre, Rochette *et al.* (2004) ont démontré que la texture de surface du sol (loam sableux vs loam argileux vs argile) a un effet significatif sur les taux de N₂O émis à plusieurs dates d'échantillonnage. Par ailleurs, cet effet est non cohérent à cause des interactions complexes entre les propriétés physiques du sol et les mécanismes de production, d'utilisation et de diffusion du N₂O. La même étude a également révélé que les émissions de N₂O étaient beaucoup plus importantes en 2001 qu'en 2002 et souligne l'importance des études pluriannuelles pour évaluer l'effet des conditions météorologiques sur la dynamique du N₂O dans le sol, effet récemment confirmé par l'étude de Ziadi *et al.* (2006, Figure 1). Ainsi, il ressort clairement que l'émission du N₂O varie significativement avec le type d'engrais appliqué et la saison de croissance (Figure 1). Des émissions cumulatives de N₂O aussi élevées que 3054 mg N m⁻² ont été enregistrées en 2004. Cette variation d'émissions est principalement expliquée par la différence de quantité de pluie enregistrée sur le site expérimental juste après l'apport de fertilisant durant les trois années. (195, 98 et 88 mm en juillet 2004, 2005 et 2006 respectivement).

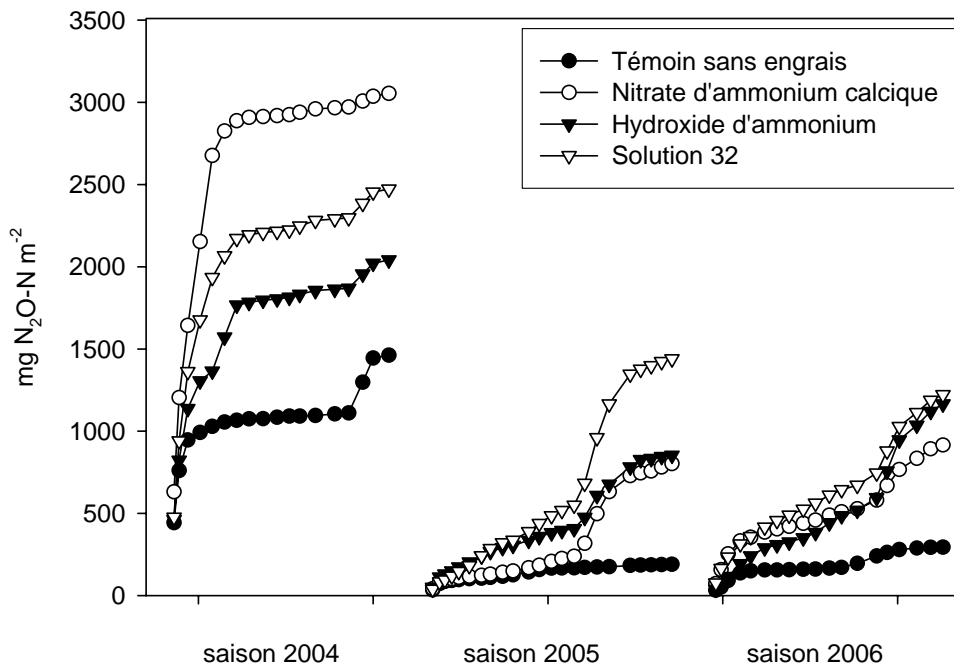


Figure 1. Émissions cumulatives de N₂O-N comme suite à l'application à 200 kg N ha⁻¹ de différentes formes d'engrais minéraux à une culture de maïs-grain

5. CONCLUSION

L'apport des engrais minéraux azotés en grandes cultures est indispensable pour répondre à leurs exigences nutritionnelles et l'effet bénéfique de ces engrais à la fois sur le rendement et sur la qualité des cultures est bel et bien connu. Toutefois, un effet négatif à la fois économique et environnemental peut être observé si ces engrais ne sont pas efficacement gérés. En effet, les résultats bénéfiques de l'apport de N sont dépendants de plusieurs facteurs, raison pour laquelle les coefficients d'utilisation de N se situent aux alentours de 45 % au Québec. Il est indispensable alors de faire un compromis entre la dose d'azote nécessaire pour atteindre un rendement rentable et celle qui assure la protection de notre environnement. Plusieurs types d'engrais azotés sont disponibles sur le marché et fournissent le plus souvent des rendements comparables. Le producteur doit donc faire son choix en fonction de la disponibilité des produits sur le marché, du matériel dont il dispose, du coût de l'azote au kilogramme et des coûts d'application.

Une fertilisation raisonnée en azote doit se baser sur une approche intégrée qui tient compte de plusieurs facteurs, notamment les rendements visés, la rentabilité de la culture, les exigences de la plante, la capacité du sol à fournir l'azote, les précédents culturaux et la texture du sol. **Une fertilisation raisonnée basée à la fois sur le rendement et la protection de notre environnement va certainement assurer une agriculture durable.**

6. RÉFÉRENCES

- Bélanger, G., J.R. Walsh, J.E. Richards, P.H. Milburn et N. Ziadi. 2001. *Amer. J. of Potato Res.* 78: 109-117.
- Bélanger, G., N. Ziadi., J.R. Walsh, J.E. Richards et P.H. Milburn. 2003. *J. Environ. Qual.* 32 : 607-612.
- Brassard, M. 2007. *Développement d'outils diagnostiques de la nutrition azotée du maïs-grain pour une gestion optimale de l'engrais azoté.* Mémoire de maîtrise. Université Laval. 105 pages.
- Bremner, J.M., Breitenbeck, G.A. et J.M. Blackmer. 1981. *J. Environ. Qual.* 10 : 77-80.
- Breitenbeck, G.A. et J.M. Blackmer. 1986. *Biol. Fert. Soils* 2 : 195-199.
- Cambouris, A.N., C. Bélec, N. Tremblay, N. Ziadi et M.C. Nolin. 2004. *Gestion environnementale de l'application d'azote dans les champs de maïs-grain et de blé panifiable à partir des caractéristiques des sols et des couverts végétaux.* Rapport d'étape. 44 p.
- CRAAQ. 2003. *Guide de référence en fertilisation.* ISBN 2-7649-0034-1. 294 p.
- Chantigny, M.H., D. Angers, T. Morvan et C. Pomar, 2004. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68 : 637-643.
- Chantigny, M.H, D. Prévost, D.A. Angers, R.R. Simard et F.-P. Chalifour. 1998. *Can J. Soil Sci.* 78 : 589-596.

- Grant, C. et al. 2006. *Nutrient Release and loss dynamics as affected by tillage System and N Management across Environments*. Rapport d'un projet de recherche national. 162 pages.
- Halvorson, A.D., F.C. Schweissing, M.E. Bartolo et C.A. Reule. 2005. *Agron. J.* 97 : 1222-1229.
- Hutchinson, C., E. Simonne, P. Solano, J. Meldrum et W.P. Livingston. 2003. *J. Plant Nutr.* 26(9) : 1709-1723.
- Isfan, D, J. Zizka, A. D'Avignon et M. Deschênes. 1995. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26 (15-16) : 2531-2557.
- Ma, B.L., K.D. Subedi et C. Costa. 2005. *Agron. J.* 97 : 462-471.
- Malhi, S.S., E. Oliver, G. Mayerle, G. Kruger et K.S. Gill. 2003. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34 : 1709-1727.
- Rochette, P., R.R. Simard., N. Ziadi, M. Nolin et A.N. Cambouris. 2004. *Can. J. Soil Sci.* 84 : 339-352.
- Shaviv, A. et R.L. Mikkelsen. 1993. *Fertilizers Research* 35-1 : 12.
- Shoji, S., J. Delgada, A. Mosier, et Y. Miura. 2001. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32 : 1051-1070.
- Simard, R.R., N. Ziadi, M.C. Nolin et A.N. Cambouris. 2001. *The Scientific World* 1(S2), 135-141.
- Thibodeau, S., J. Cantin, P. Fillion, D. Guay, R. Rivest, É. Thibault et G. Tremblay. 2006. *Fertilisation azotée dans le maïs-grain*. Programme d'atténuation des gaz à effets de serre. Brochure. 8 p.
- Tran, T.S., M. Giroux et M.P. Cescas. 1996. *Can. J. Soil Sci.* 77 : 9-19.
- Tremblay, G. 2006a. *Azote et maïs-grain. Quelle est la dose optimale?* Le Coopérateur agricole, mai-juin. 50-53.
- Tremblay, G. 2006b. *Les besoins en azote du maïs-grain cultivé au Québec*. Conférence lors d'une journée d'échanges scientifiques de la Commission chimie et fertilité des sols du CRAAQ, Saint-Hyacinthe, 16 mars 2006.
- Waddell, J.T., S.C. Gupta, J.F. Moncrief, C.J. Rosen et D.D. Steele. 1999. *Agron. J.* 991-997.
- Ziadi, N., M.C. Nolin, A.N. Cambouris et R.R. Simard. 2003. *Calibrage des besoins en azote de groupes homogènes de sols dans la production de maïs-grain*. Rapport final. 44 p.
- Ziadi, N., B. Gagnon, P. Rochette, D. Angers, et M. Chantigny. 2006. *Nitrogen use efficiency and N₂O emission reduction in corn receiving mineral fertilizers*. Rapport de projet. 12 p.
- Ziadi, N., G. Bélanger, A.N. Cambouris, N. Tremblay, M.C. Nolin et A. Claessens. 2007. *Relationship between P and N concentrations in corn*. *Agron. J.* Vol. 99, mai-juin (sous presse).

Utilisation des engrais minéraux azotés en grandes cultures : description des différentes formes et leurs impacts en agroenvironnement

Noura Ziadi

En Collaboration avec:

Bernard Gagnon et Athyna Cambouris



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Ordre
des agronomes
du Québec



Centre de recherche en agriculture
et agroalimentaire du Québec
CRAAQ
Commission d'innovation et
fertilité des sols

Introduction : importance de N

- N : Pivotal de la fertilisation;
- Augmentation des rendements :
 - Amélioration génétique (36 %);
 - Effet de la fertilisation (31%);
 - Maladies;
 - Etc.
- Annuellement : 100 000 T unités de N et 35 millions de m³ d'engrais de fermes.



Vente d'engrais azotés en 2001 (X 10³ tonnes)

Type d'engrais	Québec	Canada
Urée	94	1520
Nitrate d'ammonium	70	297
Solution azotée	42	366
Ammoniac anhydre	5	564



Choix des types d'engrais

- Coût par unité;
- Disponibilité sur le marché;
- Équipement disponible.
- Engrais à libération lente
 - Synchroniser la disponibilité avec le prélèvement (améliorer l'efficacité azotée);
 - Effet bénéfiques mais :
 - Dispendieux;
 - Les conditions climatiques ont un effet sur les résultats;
 - Au Québec, quelques études en cours (Parent et Ziadi; Ziadi, Cambouris et Gagnon, PDT)



Résultats

- 1. Agronomique
 - Rendements
 - Efficacité
- 2. Environnemental
 - Nitrates résiduels
 - GES (émission de N_2O)



Cultures/Projets

- Maïs : Calibration intra champ de N (Promarc N : (Ziadi, Nolin et Cambouris, 2000-2003);
- Maïs : Émission de N_2O selon les sources de N (PERD : Ziadi, Gagnon, Rochette, Chantigny et Angers, 2004-2006);
- Maïs et blé : Calibration spécifique de N en fonction de la texture de surface des sols dans le maïs grain et le blé panifiable (Synagri + GAPS : AAC Ste-Foy et St-Jean sur Richelieu, 2004-2006).

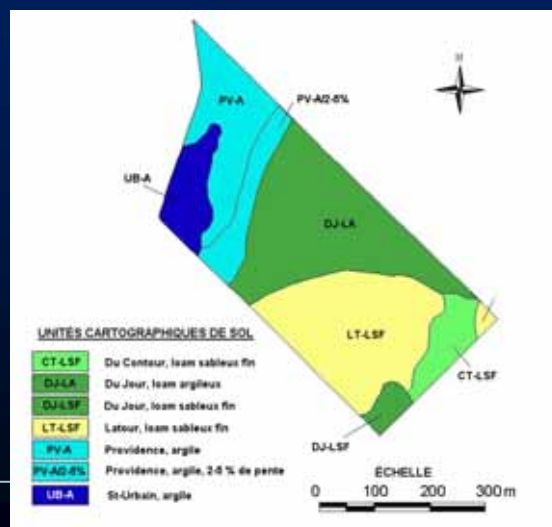


Promarc N (2000-2002)

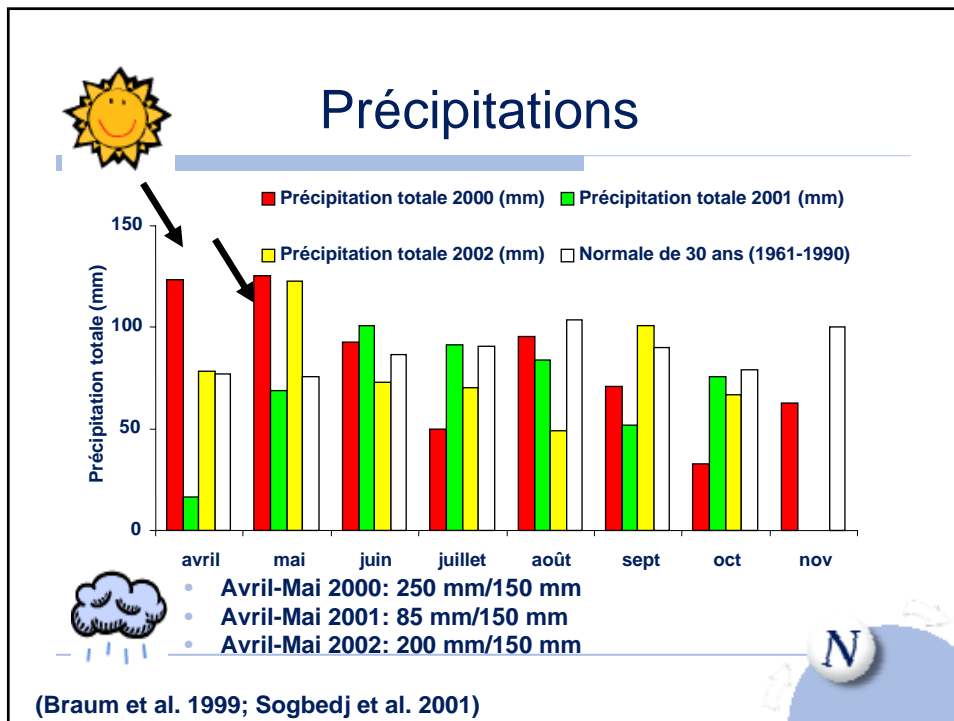
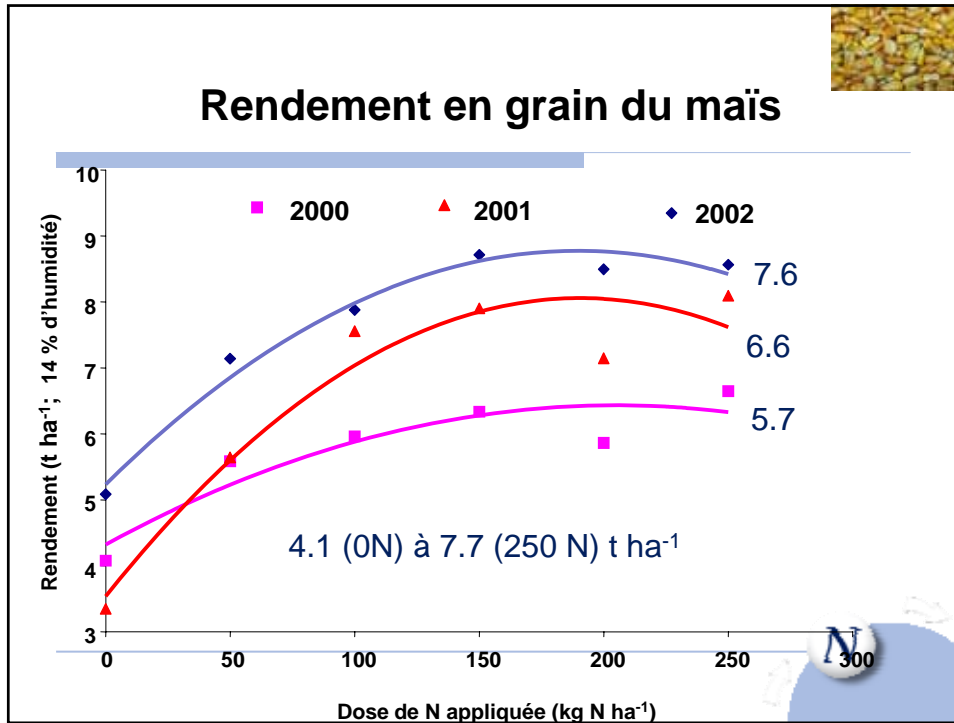
- Champ de 15 ha à St-Marc sur Richelieu;
- Bloc complet aléatoire; Cinq répétitions;
- Six doses de N (0, 50, 100, 150, 200 et 250 kg N ha⁻¹);
- Bandes-essais d'une largeur d'un semoir (12 rangs);
- Cinq sous-échantillons par bandes-essais;
- Total : 150 points d'échantillonnage (rendement N- résiduel);
- Mesure de N₂O (Rochette).



Carte très détaillée des sols



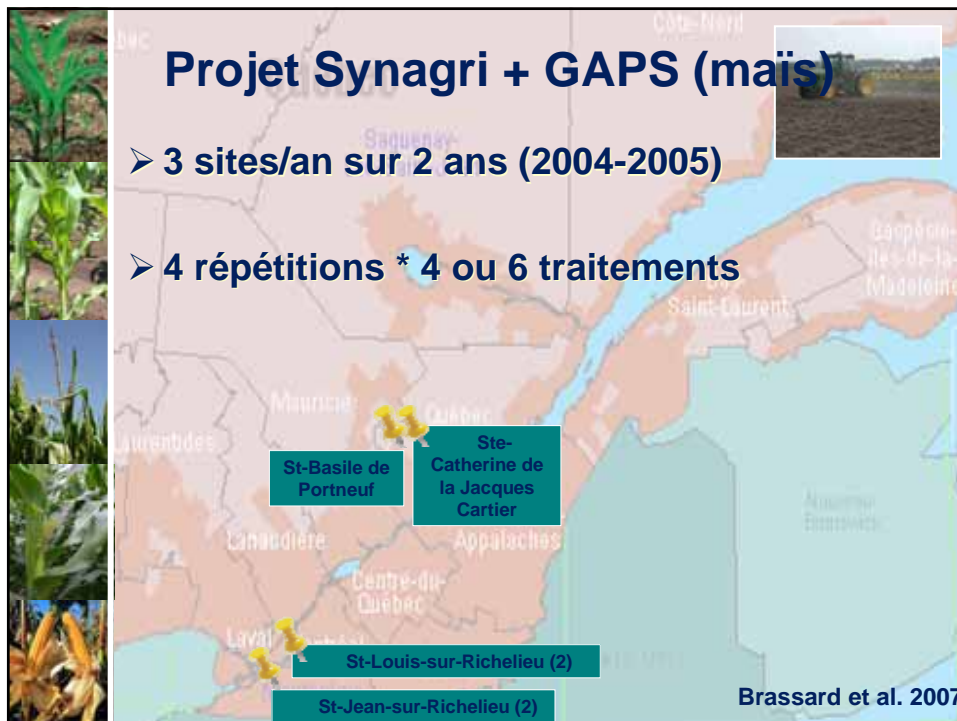
Nolin et al. 2003



Rendement par classe texturale

	2000	2001	2002	moyenne
	-----t ha ⁻¹ -----			
Argile	4,9	6,1	7,3	6,1
Loam argileux	5,9	6,5	7,6	6,6
Loam sableux fin	6,5	7,2	8,1	7,2

Drainage du sol : Simard et al. (2001);
Liang et MacKenzie (1994).

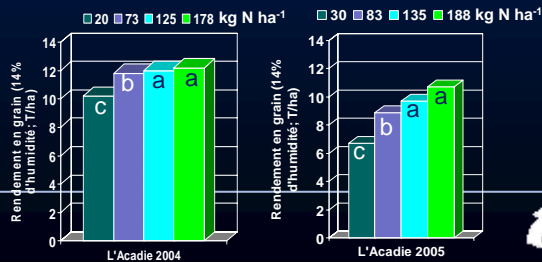
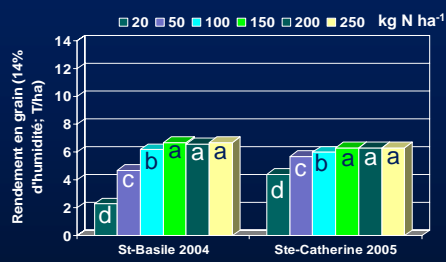
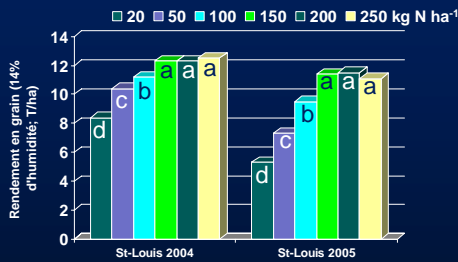


Traitements maïs grain

Dose de N (kg ha ⁻¹)	4 sites		2 sites				
	Fractionnement (kg ha ⁻¹)		Dose de N (kg ha ⁻¹)		Fractionnement (kg ha ⁻¹)		
	Au semis	8 F	2004	2005	Au semis	8 F	2004/2005
20	20	0	20	30	20	30	0
50	20	30	73	83	20	30	53
100	20	80	125	135	20	30	105
150	20	130	178	188	20	30	158
200	20	180					
250	20	230					

N
Brassad et al. 2007

Rendement en maïs grain 2004-2005

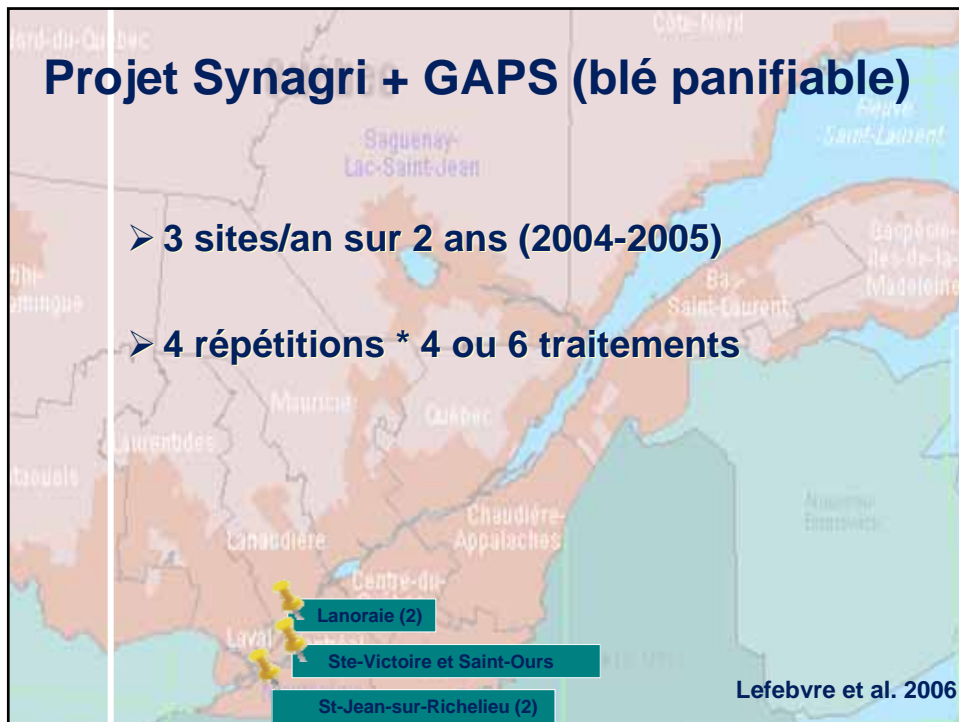


N
(Tiré de :
Ziadi et al. 2007
Agron. J. sous presse)

Projet Synagri + GAPS (blé panifiable)

➤ 3 sites/an sur 2 ans (2004-2005)

➤ 4 répétitions * 4 ou 6 traitements



Traitement blé

4 sites		
Dose de N (kg ha ⁻¹)	Fractionnement (kg ha ⁻¹)	
	Au semis	Montaison
0	0	0
40	30	10
80	30	50
120	30	90
160	30	130
200	30	170
120	60	60 ^a

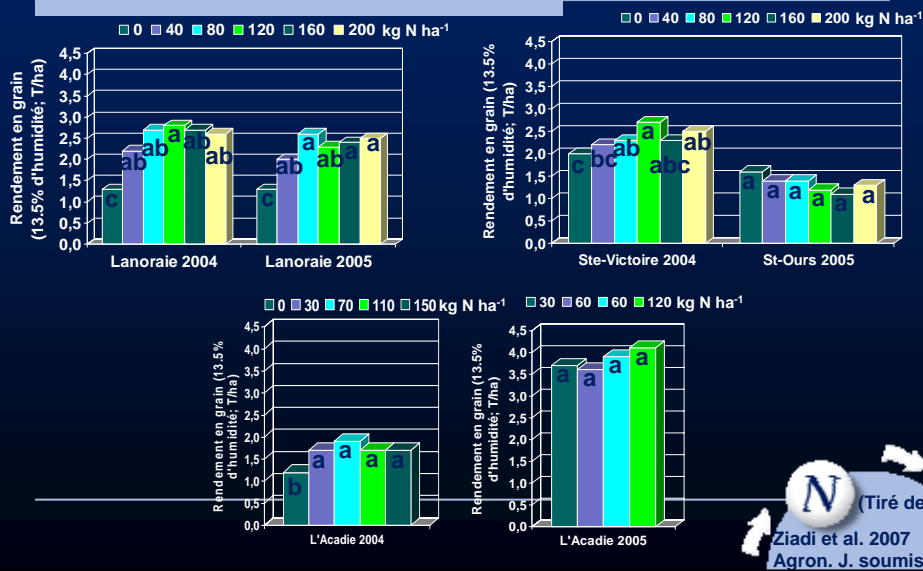
2 sites		
Dose de N (kg ha ⁻¹)	Fractionnement (kg ha ⁻¹)	
	Au semis	Tallage
0	0	0
40	30	10
80	30	50
120	30	90
160	30	130

^a: appliqué au tallage

Lefebvre et al. 2006



Rendement en Blé 2004-2005



Projet PERD (2004-06)

- Site: Ferme Harlaka d'AAC, région de Québec
- Argile Kamouraska
- Culture de maïs grain, cv. Élite 30A03 (2275 UTM)
 - densité de population 86 400 plants ha⁻¹
 - engrais granulaire (20 N- 30 P- 25 K) au démarrage
- Traitements: Types d'engrais minéraux
 - Nitrate d'ammonium calcique (27-0-0)
 - Solution 32
 - Hydroxyde d'ammonium (NH₄OH: 23.9% de N (l/l))
- Dose d'application: 0, 100, 150 et 200 kg N ha⁻¹
- 30 parcelles: 3 m × 7 m
- Traitements appliqués en bande
 - stade 6 -8 feuilles du maïs
 - sillon au centre des entrerangs
 - enfouissement immédiat

Application des engrais azotés



Photos: Pascal Gilet



Projet PERD

- Mesures des gaz depuis l'application des traitements (ou tôt au printemps) jusqu'à l'automne;
- Mesures périodiques des teneurs en nitrates et ammonium du sol;
- Récolte : rendement, EUN et NO_3^- résiduel.



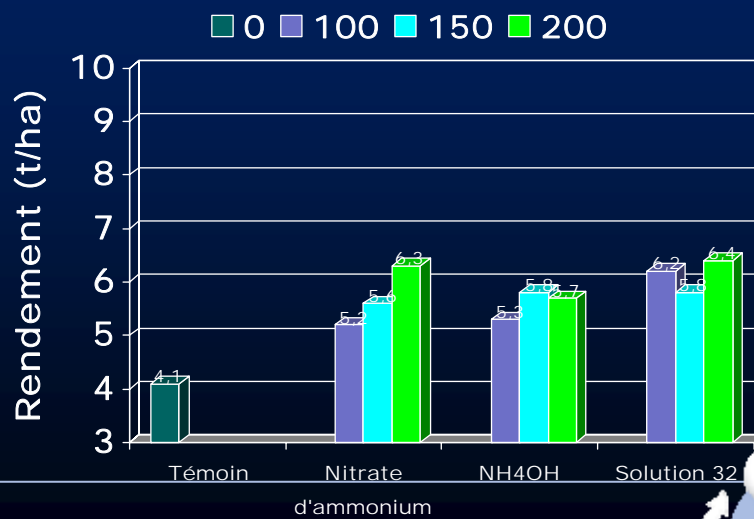
Prise des mesures de gaz



Photos: Pascal Gilet

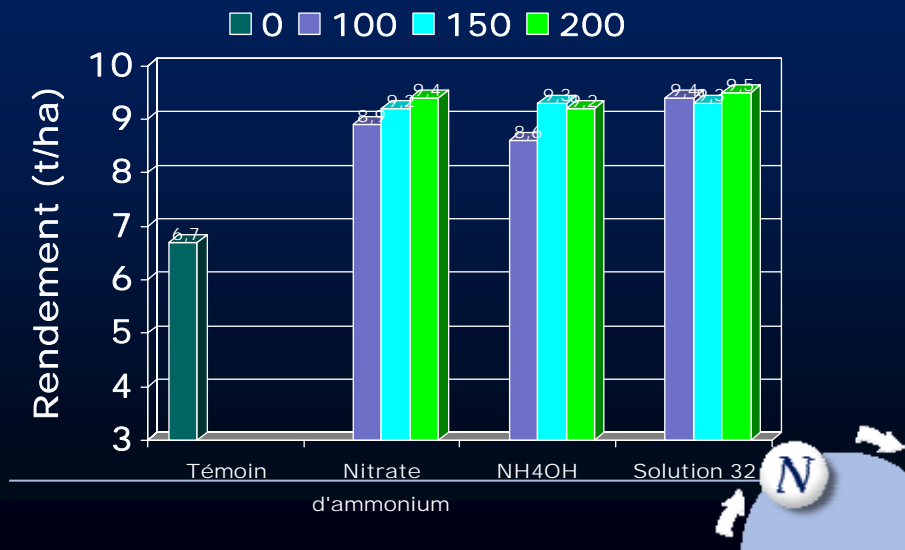
N
Rochette et al. 2000

Rendement en maïs-grain 04

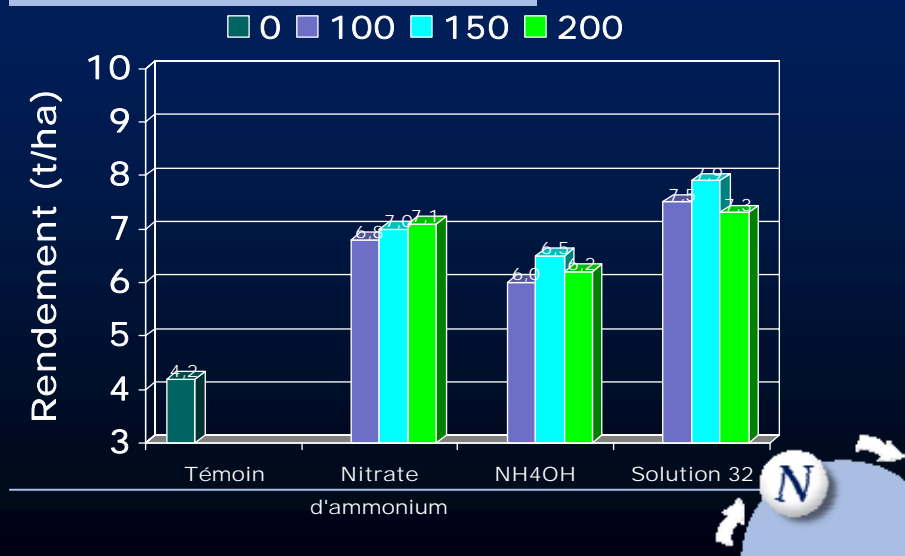


N

Rendement en Mais-grain 05



Rendement en Mais-grain 06



	Dose de N	Grain	Biomasse Total	Prélèvement N	EUN
	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	% N ajouté
Témoin	0	5.0	7.7	87	
CAN	100	7.0	10.5	133	46
	150	7.3	10.9	142	36
	200	7.6	11.8	157	35
NH ₄ OH	100	6.6	10.2	131	44
	150	7.2	10.7	138	34
	200	7.0	10.5	137	25
Solution 32 (S32)	100	7.7	11.8	152	65
	150	7.7	11.7	156	45
	200	7.7	11.9	162	37
LSD _{0.05}		0.7	1.0	15	
Contrastes		-----Pr>F-----			
CAN Linéaire		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
NH ₄ OH Linéaire		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
S32 Linéaire		0.0001	0.0001	0.0001	
CAN vs NH ₄ OH		N.S.	0.0304	N.S.	
CAN vs S32		0.0413	0.0230	0.0383	
S32 vs NH ₄		0.0008	0.0001	0.0034	

EUN: Chantigny 2006; Thibodeau et al. 2006

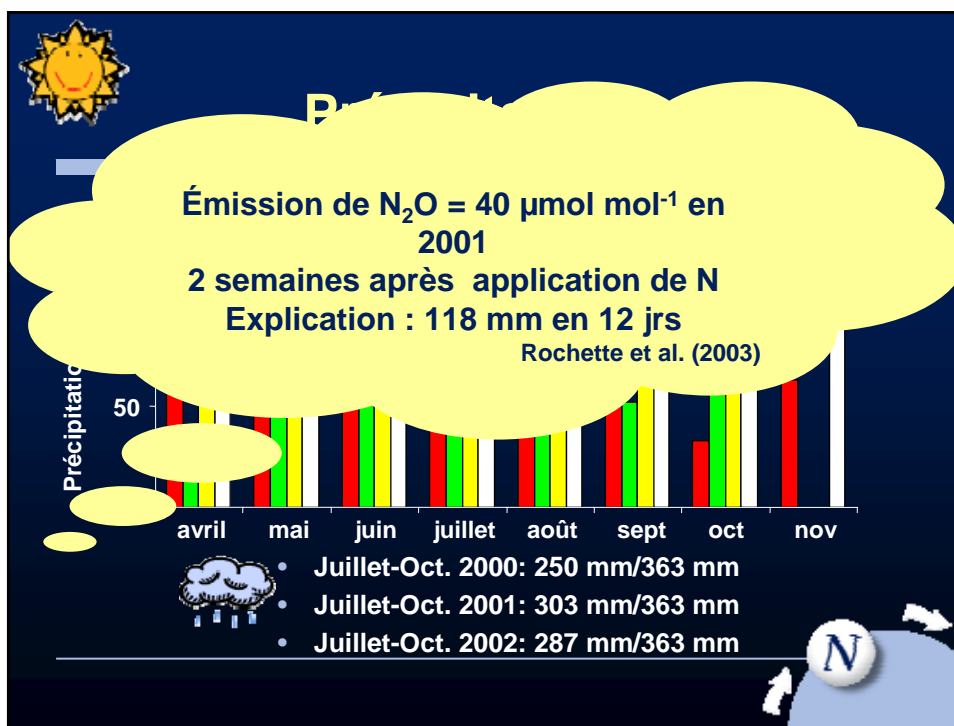
N

Promarc : Nitrate résiduel

NO ₃ -KCl 1M	NO ₃ (kg ha ⁻¹)				
	2000	2001	-----2002-----		
	-----0-20 cm----		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Pour l'ensemble du site (n=150)					
	165	31	74	58	39
Classe texturale					
A	160	26	89	76	46
LA	161	24	73	51	37
LSF	174	43	61	48	34
P _{class.}	ns	ns	**	ns	ns
P _N	ns	ns	ns	ns	**

2000: rendement et prélèvement de N faibles / 2001 et 2002

N



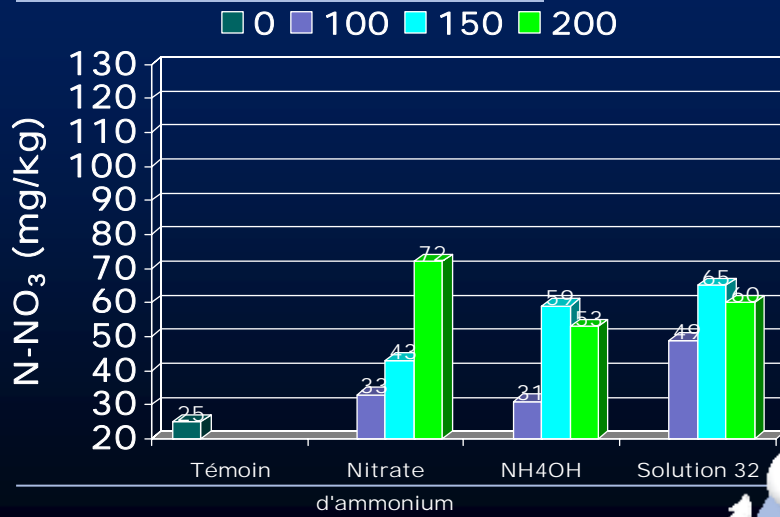
N-résiduel à Nop

		N-résiduel	Nop	N-résiduel à Nop	N-résiduel (mesuré-prédit)
2000	A	160	-	-	-
	LA	161	-	-	19
	LSF	-	-	-	-
2001	A	-	-	-	-
	LA	-	-	-	-
	LSF	-	-	-	27
2002	A	-	175	-	-
	LA	73	184	31	42
	LSF	61	140	-	-

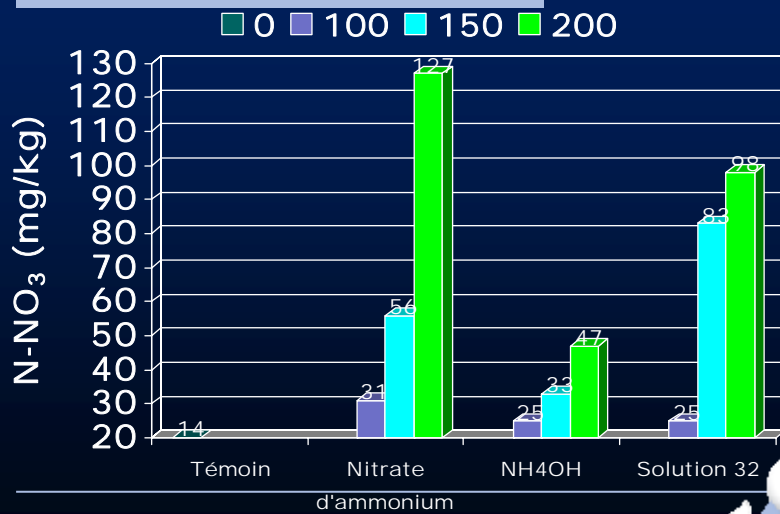
Avec Nop, réduction de N-résiduel (50 kg NO₃ ha⁻¹)
 (Bélangier et al. 2003)

Ziadi et al. 2003

PERD : N-NO₃ (0-60 cm) 2004



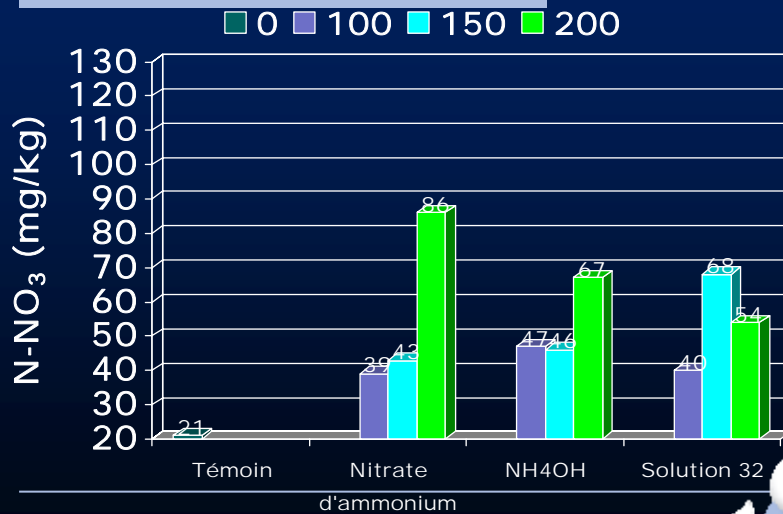
PERD : N-NO₃ (0-60 cm) 2005



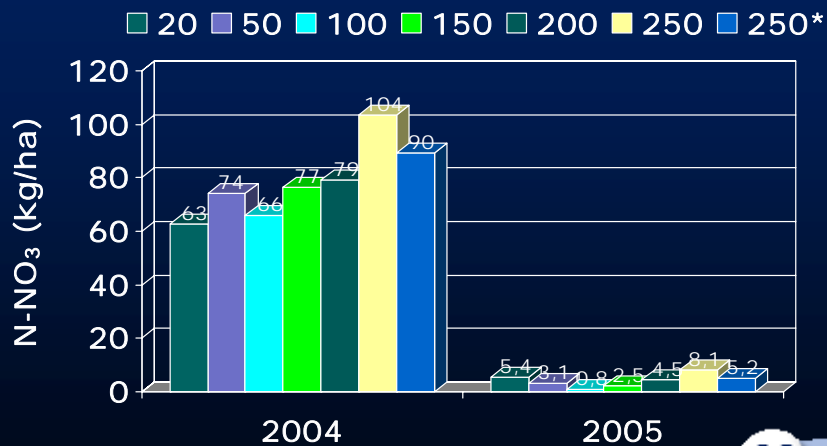
NH₄OH vs CAN et S32:

Fixation et/ou Volatilisation: Chantigny (2006); Rochette et al. (2003)

PERD : N-NO₃ (0-60 cm) 2006



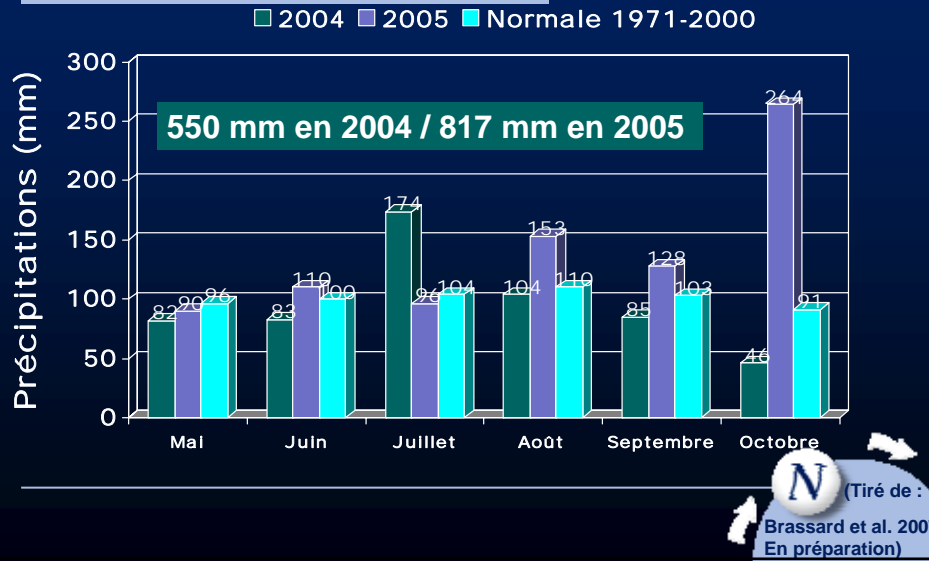
Synagri : Site Saint-Louis Teneur en N-NO₃ (0-90 cm)



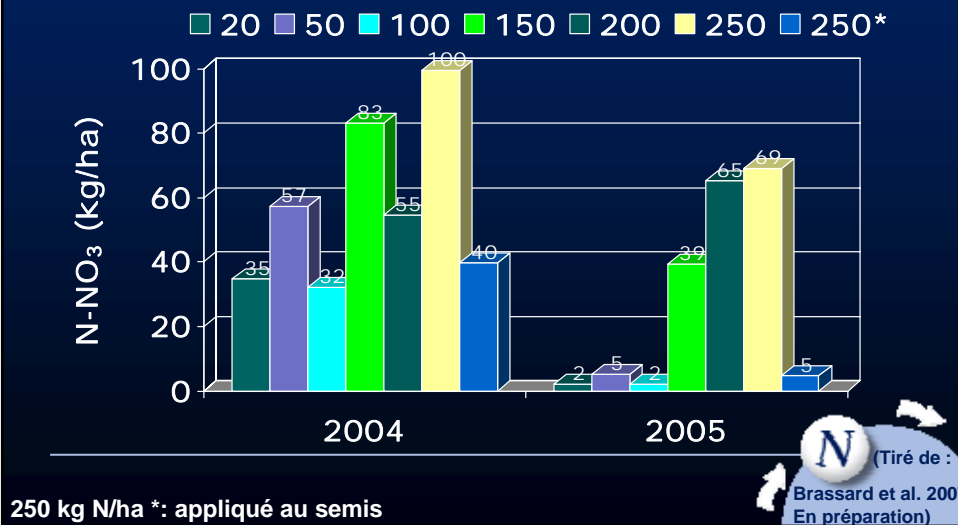
250 kg N/ha *: appliqué au semis

(Tiré de :
Brassard et al. 200
En préparation)

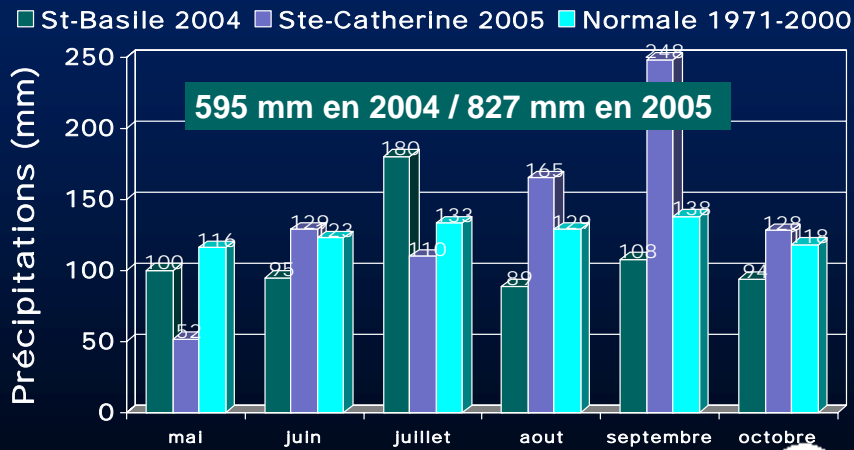
Synagri : Site Saint-Louis Précipitations



Sites Saint-Basile (2004) et Sainte-Catherine (2005) Teneur en N-NO₃ (0-90 cm)

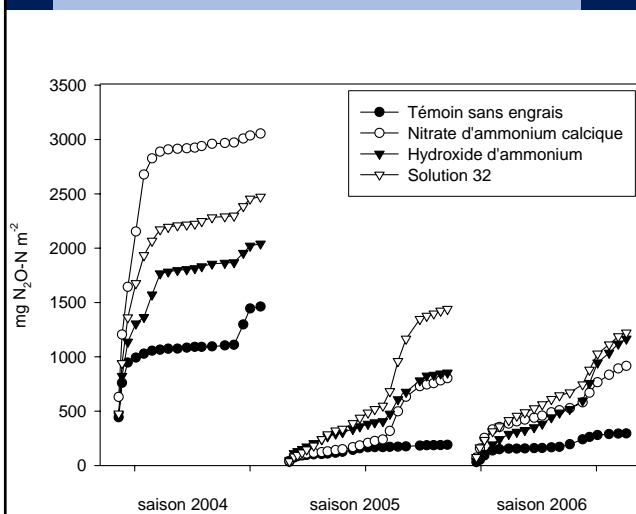


Sites Saint-Basile 2004 et Sainte-Catherine 2005 Précipitations



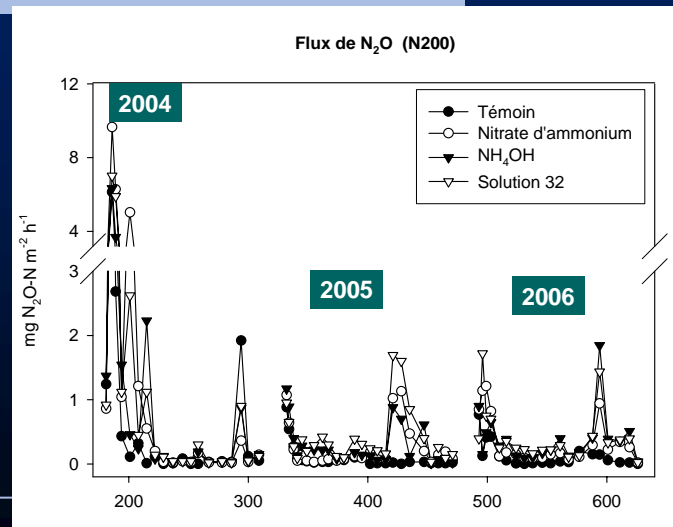
(Tiré de :
Brassard et al. 200
En préparation)

PERD: Émission cumulative de N₂O au site Harlaka saison 2004-2005-2006

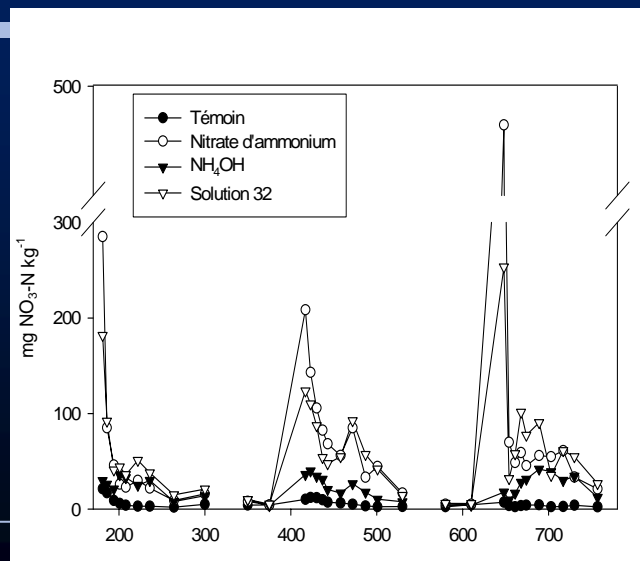


Juillet 04 : 194.7 mm
Juillet 05 : 97.8 mm;
Juillet 06 : 88.4 mm.
N appliqué : 28 juin 2004

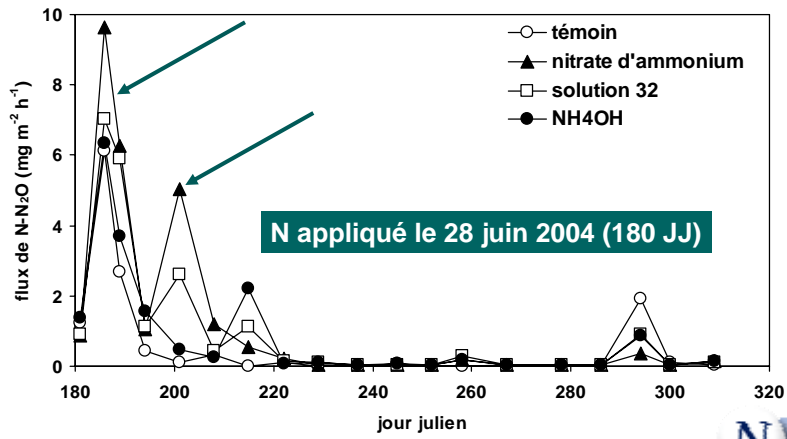
Projet PERD



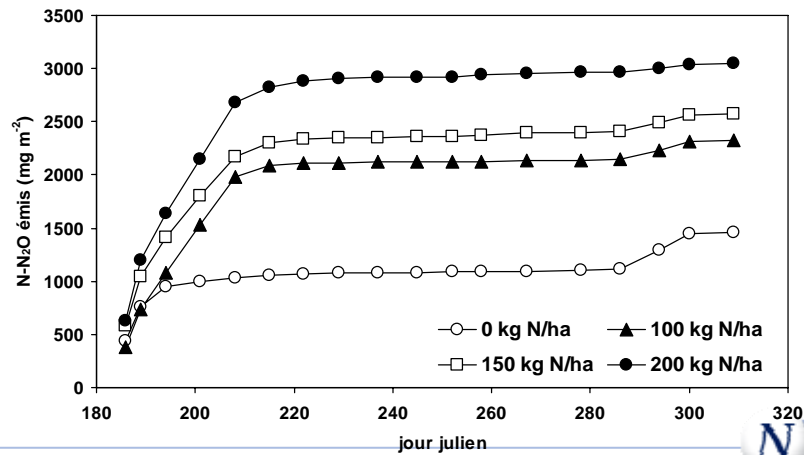
N- NO_3 (dose N= 200 kg ha^{-1})



Flux de N₂O en 2004 (N200)

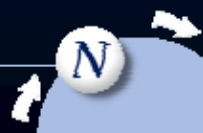


Émission cumulative de N₂O (CAN-2004)



Conclusions

- **Oui N est indispensable;**
- **Approche intégrée;**
- **Fertilisation raisonnée**
 - Rendement;
 - Protection de notre environnement.



Un gros merci à

- **Projet Promarc N:** Ferme Promarc; SynAgri; Innotag Inc.; Lucie Grenon; Alain Larouche; Valérie Boucher; Mario Deschênes; Claude Lévesque.
- **Projet PERD:** Philippe Rochette; Martin Chantigny; Denis Angers; Normand Bertrand et Marc-André Ouellet.
- **Projet Synagri + GAPS:** Équipe de Nicolas Tremblay (E. Fallon, C. Bélec, M. Tétreault et P. Vigneault); Michel Nolin; Mario Deschênes; Sylvie Michaud; Alain Larouche; Danielle Mongrain; étudiants gradués et d'été.
- **Programme PPFi; PERD.**

