

TITRE DE LA PRÉSENTATION :

Les effets de la saison : quelle importance ont-ils et comment y réagir?



AUTEURS : **Nicolas Tremblay**, Ph.D., agronome, chercheur
Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)
Carl Bélec, M.Sc., assistant de recherche, AAC
Philippe Vigneault, assistant de recherche, AAC
Mohammed Yacine Bouroubi, M.Sc., étudiant au doctorat, AAC
Édith Fallon, M.Sc., assistante de recherche, AAC
Gilles Tremblay, M.Sc., agronome, chercheur, CÉROM
Éric Thibault, M.Sc., agronome, Club Techno-Champ 2000

INTRODUCTION

L'efficacité des engrais azotés (NUE) appliqués au maïs au Québec est de l'ordre de 44 % (Thibodeau et coll. 2006; Tran et coll. 1997). En clair, cela signifie que, pour chaque 100 \$ dépensé, 56 \$ en moyenne n'ont pas d'impact sur les rendements. Le problème est que l'azote appliqué entre dans le système sol-plante où il est soumis aux multiples composantes du « cycle de l'azote » (Tremblay et coll., 2001). Il peut être absorbé par la plante, mais il peut aussi être séquestré par les microorganismes du sol, perdu dans l'eau de drainage ou être libéré dans l'air.

Les recommandations officielles du CRAAQ (2003) sont d'appliquer un total de 120 à 170 kg N/ha, dont 20 à 50 kg N/ha en bandes au semis. On recommande aussi de considérer la région de production et la texture du sol. Il s'agit là d'un premier niveau de difficulté qu'il faut franchir avant d'aller plus loin.

Certaines des composantes du cycle de l'azote sont largement imprévisibles parce qu'assujetties aux effets du climat (température et précipitations). Cette incertitude amène les prescripteurs d'engrais à recommander des doses dites « d'assurance », supérieures à l'optimum économique (Schröder et coll., 2000). Elles constituent une bonne façon de maximiser et d'uniformiser les rendements dans l'ensemble du champ. Malheureusement, la rentabilité n'est pas toujours au rendez-vous et l'hypothèque environnementale s'accroît chaque fois que l'on souscrit trop à cette assurance. Ma *et al.* (2003) en Ontario rapportent que, dans leurs essais sur trois saisons consécutives, il n'était pas justifié d'appliquer plus qu'un total de 60 ou 80 kg N/ha au maïs. Pour la saison suivante, aucun apport n'a eu un effet significatif sur les rendements. Ma *et al.* (2005) affirment que les applications supérieures à 120 kg N/ha ne sont pas justifiables alors qu'Elmi *et al.* (2002) ont obtenu des rendements meilleurs avec 200, par rapport à 120 kg N/ha, seulement deux années sur trois.

Les travaux de Ma ont été réalisés dans la région de l'Est de l'Ontario, reconnue pour nécessiter moins de fertilisation azotée que le reste de la province (OMAFRA, 2006).

IMPORTANCE DES EFFETS DE LA SAISON

Les saisons influencent grandement la croissance et le rendement des cultures. La température et les précipitations sont les principaux facteurs en cause. Non seulement l'intensité des épisodes de températures ou de précipitations au-dessous ou au-dessus de la normale a de l'importance, mais aussi leur répartition au cours de la saison. S'il est assez facile d'imaginer les phénomènes qui lient le comportement des cultures aux caractéristiques de la saison, il est plus difficile de comprendre jusqu'à quel point la fourniture et le sort de l'azote minéral du sol leur sont aussi fortement assujettis.

Selon l'année, les expérimentations sur la fertilisation azotée du maïs à la ferme expérimentale de L'Acadie oscillent entre 86 et 184 kg N/ha pour la dose économique optimale. Si l'on pouvait anticiper les effets de la saison, on pourrait donc y ajuster les apports d'environ 100 kg/ha. Dans une étude semblable en Ontario, l'écart est encore plus considérable [170 kg N/ha; de 100 à 270 kg N/ha; Coelho *et al.* (2005)]. Dans l'État de New York, l'écart est de 110 kg N/ha [de 110 (en saisons sèches) à 220 kg N/ha (saisons avec un printemps chaud et humide); Kahabka *et al.* (2004)]. En 2002, au Québec (Figure 1), la dose optimale médiane était de 70 kg N/ha et, en 2005, de 170 kg N/ha. Le contenu en N minéral du sol est positivement lié à celui en carbone organique, mais moins en conditions sèches qu'en conditions humides (Dharmakeerthi *et al.*, 2004). Pendant les périodes sèches, on observe que les concentrations en azote dans les tissus du maïs ont tendance à passer sous le seuil critique (situation de carence; Dharmakeerthi *et al.*, 2006).

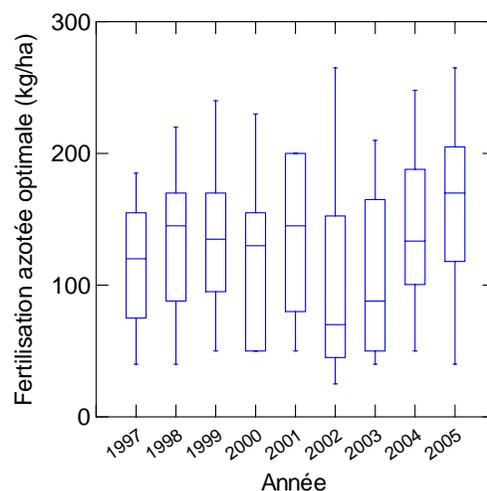


Figure 1. Box plot des fertilisations azotées (minérales et organiques) optimales pour le maïs-grain au Québec selon les années de production (calculs réalisés sur un extrait (840 observations) de la base de données provinciale gracieusement mise à disposition par Gilles Tremblay du CÉROM). La boîte rectangulaire est limitée par les 25^e et 75^e percentiles de la distribution des données alors que la médiane (50^e percentile) se trouve à l'intérieur.

COMMENT RÉAGIR?

De multiples travaux scientifiques ont été réalisés pour mieux comprendre les phénomènes en cause et la façon de les gérer. Ils se présentent en trois niveaux de complexité.

Première étape : ajuster le niveau général

Des économies récurrentes en matière d'engrais azoté sont à portée de main si l'on s'attarde en premier à deux facteurs : le sol et les précédents culturaux. En effet, les sols naturellement généreux à libérer l'azote, ou ayant reçu dans le passé des cultures qui vont libérer beaucoup d'azote en se décomposant, risquent fort de ne pas valoriser les apports supplémentaires qui sont alors gaspillés, en plus de contribuer au problème environnemental. En Ontario, une méthode de calcul de la dose rentable de fertilisant azoté à appliquer est proposée pour le maïs (OMAFRA, 2006). Elle tient compte de l'ensemble des facteurs reconnus pour avoir de l'influence, sauf les considérations météorologiques particulières à la saison.

Bilan azoté

Les crédits d'azote en provenance des résidus des cultures précédentes sont disponibles, pour peu que l'on prenne la peine de les considérer à leur juste valeur. Le guide de référence en fertilisation du CRAAQ (2003) contient des tableaux à cette fin. L'apport d'amendements organiques (en particulier des fumiers) est grandement bénéfique au maïs. Il doit aussi être comptabilisé parce qu'il a un effet considérable tant sur les rendements que sur les besoins en fertilisants azotés. Son usage complique malheureusement le recours aux tests rapides de l'azote du sol ou de la plante que nous verrons plus loin. En effet, les fumiers solides « cachent » une partie de l'azote à l'attention des tests, pour la libérer plus tard en saison dans une quantité et un moment difficiles à prévoir (McGonigle *et al.*, 2004).

Essais à la ferme

Les essais à la ferme de différentes doses d'azote selon un protocole simple sont une façon convaincante d'apprécier le potentiel d'économie de fertilisants azotés. Il convient toutefois de réaliser ces essais de manière sérieuse sur un nombre suffisant d'années et de sites pour en tirer les bonnes conclusions. Les agronomes sont des ressources toutes indiquées à cet effet. En général, l'application d'azote dans les sols à textures grossières (sols légers; LS, S, SL) a de l'impact sur le rendement dans 70 % des cas, et ce, année après année. Les effets de l'azote sont toutefois beaucoup moins prévisibles sur les sols lourds (A, ALi). C'est dans les textures intermédiaires (L, LA, LLi, LLiA) que les caractéristiques de la saison peuvent favoriser ou défavoriser le plus l'effet du fertilisant azoté. Ces conclusions sont valables tant à l'échelle provinciale (Tremblay *et al.*, 2007a) qu'à l'échelle régionale (figure 2).

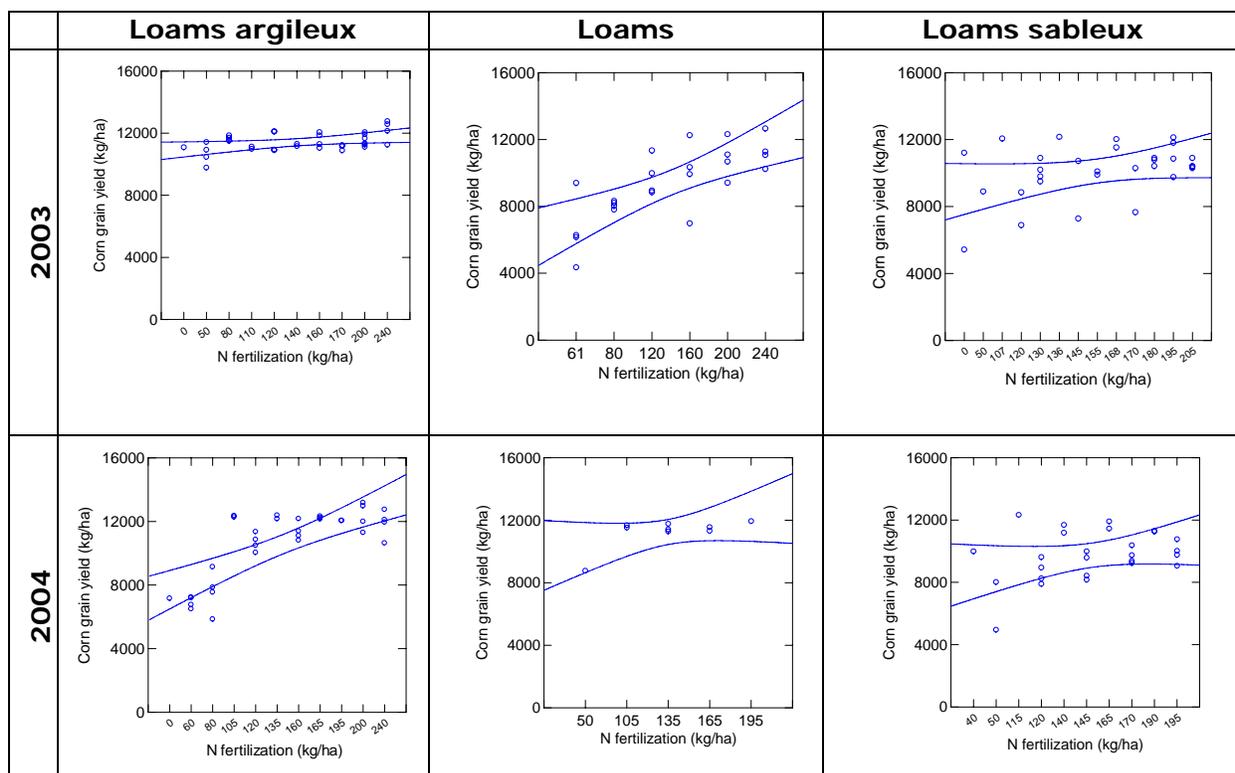


Figure 2. Réponse du maïs à la fertilisation azotée minérale selon le type de sol et l'année de production. Les intervalles de confiance à 95 % sont présentés. Données gracieuseté du Club Techno-Champ 2000, Sherrington.

Analyses de la teneur en nitrates ou coloration des tiges en fin de saison

Ces deux méthodes permettent de juger *a posteriori* si la fourniture en azote a été bonne pour la culture arrivée à maturité. La procédure d'échantillonnage et d'analyse de la teneur en nitrate est décrite par Murdock et Schwab (2004). La coloration des tiges de maïs en fin de saison consiste à déposer une solution de diphénylamine et d'acide sulfurique concentré sur l'intérieur de tiges de maïs coupées dans le sens longitudinal à partir de leur base. L'intensité de la coloration donne une indication de la concentration en azote. Il faut noter que cet acide est du vitriol et qu'il est très corrosif.

Évaluation visuelle du nombre de feuilles vertes sous l'épi (« leaf firing »)

L'observation de l'état des feuilles basses sur la tige peut indiquer un état de manque ou de suffisance d'azote. Les feuilles « brûlées » prématurément à leur extrémité et jaunissant le long de la nervure centrale sont symptomatiques d'un manque de N. À terme, ces feuilles meurent complètement et tombent en nombre supérieurs à la normale. Toutefois, l'état de nutrition potassique, le manque d'eau, la compacité du sol et le travail d'un sol trop humide peut engendrer de la confusion (Stewart, 2004). L'examen doit être fait en comparaison avec des « parcelles (ou des bandes) de références » pour que des conclusions fiables puissent être tirées (Blackmer, 1997).

Seconde étape : tenir compte du début de la saison

Application fractionnée

La saison 2006 a été éloquentes quant aux risques de pertes que représente l'application de tout l'azote au semis. Entre le 1^{er} mai et le 20 juin, un total de précipitations de 277 mm a été mesuré à la ferme expérimentale de L'Acadie. Selon Kay et coll. (2006), les applications printanières de N sont disponibles bien avant que la culture puisse les absorber et elles risquent donc fortement d'être perdues si un épisode de pluie se produit à ce moment critique. L'absorption d'azote par le maïs décrit un patron sigmoïde. Le taux d'absorption entre 0 et 150 UTM est virtuellement nul, et il est inférieur à 2 kg N/ha par jour jusqu'à 500 UTM (stade V6) (Karlen et coll., 1988). Le recours au fractionnement est une bonne façon de réduire les pertes lors d'années humides et d'améliorer la NUE (Scharf *et al.*, 2002; Ma *et al.*, 2005). Il est vrai que le recours au sarclage est moins fréquent et que les producteurs doivent s'occuper de très grandes superficies. Ainsi, la proportion de producteurs qui pratiquerait le « top dressing » au Québec serait actuellement de l'ordre de seulement 12 % contre le double (24 %) en Ontario (G. Stewart, communication personnelle, 2007). Mais si l'on veut profiter du potentiel d'économie en engrais azotés en s'adaptant aux conditions saisonnières, il faudra faire davantage la promotion de l'application de N en saison. Pour certaines cultures comme le blé, la fenêtre propice à l'application en saison est très courte et notre système de production ne se prête pas à des interventions en cours de végétation comme c'est le cas en Europe. Elle est toutefois envisageable pour une culture comme le maïs sans craindre de pertes de rendements.

Tests de nitrate de sol en postlevée (Presidedress nitrogen test; PSNT)

Les tests de nitrate de sol en postlevée ont été l'objet d'une autre conférence dans le cadre de cette journée. L'intérêt de ces tests est d'indiquer le résultat net des gains ou des pertes d'azote dans le sol au moment de la mesure et de réagir en conséquence.

Lecteur de chlorophylle et parcelles de référence

Les parcelles de références sont des parties limitées des champs où on a volontairement modifié l'apport d'azote lors de la mise en place de la culture pour fins de comparaison. Elles peuvent prendre la forme de bandes (ou zones) non fertilisées ou, au contraire, surfertilisées (Bélec et coll., 2006). L'observation de ces zones par rapport au reste du champ en dit long sur la nécessité des applications d'azote dans la condition particulière du champ. Elles sont aussi essentielles à la pose de diagnostics fiables sur l'état de suffisance en azote de la culture (Schlegel *et al.*, 2005). C'est le cas pour poser des diagnostics à partir du lecteur de chlorophylle. De nombreux travaux ont relaté la relation étroite entre l'état de la chlorophylle et les besoins en azote de différentes cultures dont le maïs. Lorsque la mesure moyenne de la chlorophylle du champ est comparée à celle de parcelles de références surfertilisées, l'indice relatif qui en résulte est une bonne indication des besoins supplémentaires en azote de la culture (Schepers *et al.*, 1992). Cette méthode a été adaptée et proposée au Québec (Tremblay, 2004; Bélec et coll., 2006). Elle donne de meilleurs résultats lorsque des doses modestes de fertilisants azotés sont introduites dans le

planteur ou en présemis incorporé, de même qu'en l'absence de fertilisation organique. Le lecteur de chlorophylle est reconnu dans la plupart des pays où l'on pratique une agriculture intensive comme le meilleur outil d'ajustement de la fertilisation azotée. Il constitue aussi une étape préalable logique aux approches d'avenir en matière d'agriculture de précision.

Troisième étape : modèles dynamiques et agriculture de précision

De nombreux modèles dynamiques et systèmes d'aide à la décision existent et continuent d'être perfectionnés pour offrir des estimations des quantités d'azote à appliquer aux cultures (Derby et coll., 2004). Ils sont pour le moment expérimentaux, mais il est probable qu'ils seront de plus en plus adaptés à notre réalité et utilisés à l'avenir.

Les études en agriculture de précision nous apprennent que toutes les situations de réponse à la fertilisation azotée peuvent se retrouver aussi dans un même champ. Autrement dit, il existe des endroits dans le champ où l'azote est appliqué inutilement, et d'autres où l'effet sur le rendement sera positif. Pour les mêmes raisons économiques et environnementales, il est nécessaire de trouver des moyens d'anticiper ces cas et de les gérer adéquatement (Tremblay, 2004). L'application d'azote à taux variable a le potentiel de permettre des réductions de doses considérables à l'échelle du champ, sans pertes de rendements. Elle est l'objet d'efforts intensifs de recherche au Québec (Tremblay et coll., 2007b).

SOMMAIRE

Les quantités optimales de N à apporter au maïs peuvent varier d'une centaine de kilos par hectare, uniquement sous l'effet de la saison. Bien qu'il soit important d'ajuster les doses de fertilisants en tenant compte des sols et des précédents culturaux, la seule manière de s'adapter à la saison consiste à recourir aux diagnostics avant l'application fractionnée. Cette approche est également favorable à la maximisation du coefficient d'utilisation de l'engrais et donc à la réduction des pertes environnementales.

RÉFÉRENCES

- Bélec, C., N. Tremblay et H. Perreault. 2006. *Le lecteur de chlorophylle pour la juste dose d'azote dans le maïs-grain*. Clubs conseils en agroenvironnement. Dépliant. 10 p. http://www.clubsconseils.org/database/Image_usager/2/Les%20clubsconseils/Lecteur_Chlorophylle.pdf.
- Blackmer, A.M. 1997. *Visually rating nitrogen sufficiency*. <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/1997/7-28-1997/visualN.html>. Consulté le 22 janvier 2007.

- CRAAQ. 2003. *Guide de référence en fertilisation*. 1^{re} édition. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 297 p.
- Coelho, B.R.B., R.C. Roy, et A.J. Bruin. 2005. *Optimization of liquid swine manure sidedress rate and method for grain corn*. *Agronomy Journal* 97 : 1322-1332.
- Derby, N.E., F.X.M. Casey, R.E. Knighton et D.D. Steele. 2004. *Midseason nitrogen fertility management for corn based on weather and yield prediction*. *Agronomy Journal* 96 : 494-501.
- Dharmakeerthi, R.S., B.D. Kay et E.G. Beauchamp. 2004. *Effect of soil disturbance on N availability across a variable landscape in southern Ontario*. *Soil & Tillage Res.* 79 : 101-112.
- Dharmakeerthi, R.S., B.D. Kay et E.G. Beauchamp. 2006. *Spatial variability of in-season nitrogen uptake by corn across a variable landscape as affected by management*. *Agron. J.* 98 : 255-264.
- Elmi, A.A., C. Madramootoo, M. Egeh, A.G. Liu et C. Hamel. 2002. *Environmental and agronomic implications of water table and nitrogen fertilization management*. *Journal Envir. Qual.* 31, 1858-1867.
- Kahabka, J.E., H.M. van Es, E.J. Mcclenahan et W.J. Cox. 2004. *Spatial analysis of maize response to nitrogen fertilizer in central New York*. *Prec. Ag.* 5 : 463-476.
- Kay, B.D., A.A. Mahboubi, E.G. Beauchamp et R.S. Dharmakeerthi. 2006. Integrating soil and weather data to describe variability in plant available nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 70 : 1210-1221.
- Karlen, D.L., R.L. Flannery et E.J. Sadler. 1988. *Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn*. *Agronomy Journal* 80:232-242.
- Ma, B.L., L.M. Dwyer et C. Costa. 2003. Row spacing and fertilizer nitrogen effects on plant growth and grain yield of maize. *Can. J. Plant Sci.* 83 : 241-247.
- Ma, B.L., K.D. Subedi et C. Costa. 2005. *Comparison of crop-based indicators with soil nitrate test for corn nitrogen requirement*. *Agron. J.* 97 : 462-471.
- McGonigle, T.R. et E.G. Beauchamp. 2004. *Relation of yield of corn (Zea mays L.) to nitrogen in shoot and soil during the early-season following manure application to field plots*. *Can.J. Soil Sci.* 84 : 481-490
- Murdock, L.W. et G.J. Schwab. 2004. *Corn Stalk Nitrate Test AGR-180*. University of Kentucky.
- OMAFRA. 2006. *New OMAFRA General Recommended Nitrogen Rates for Corn : The Ontario Corn N Worksheet*. Consulté le 14 février 2007.
<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/nitroratescorn.htm>
- Scharf, P.C., N.R. Kitchen, K.A. Sudduth, J.G. Davis, V.C. Hubbard et J.A. Lory. 2005. *Field-scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn*. *Agron. J.* 97 : 452-461.

- Schepers, J.S., T.M. Blackmer et D.D. Francis. 1992. *Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: using chlorophyll meters*. Dans : B. R. Bock et K. R. Kelley, édit. *Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions*. National Fertilizer and Environmental Research Center, Muscle Shoals, AL. Bulletin Y-226, p. 105-114
- Schlegel, A.J., C.A. Grant et J.L. Havlin. 2005. *Challenging approaches to nitrogen fertilizer recommendations in continuous cropping systems in the Great Plains*. *Agronomy Journal* 97 : 391-398.
- Schröder, J.J., J.J. Neeteson, O. Oenema et P.C. Struik. 2000. *Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art*. *Field Crops Research* 66 : 151-164.
- Stewart, G. 2004. *Watching The Corn Crop*.
http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/news/croptalk/2004/ct_0604a7.htm. Consulté le 22 janvier 2007.
- Thibaudeau, 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.
http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/PAGES_Fiche_azote_avril_2006.pdf
- Tran, T.S., M. Giroux et M.P. Cescas. 1997. *Utilisation de l'engrais azoté marqué au 15N par le maïs selon les modes d'application et les doses d'azote*. *Canadian Journal of Soil Science* 77 : 9-19.
- Tremblay, N. 2004. *Determining Nitrogen Requirements from Crops Characteristics. Benefits and challenges*. *Recent Research Development in Agronomy & Horticulture* 1. Chapter 9. p.157-182. ISBN : 81-7736-222-4.
- Tremblay, N., E. Fallon, G. Tremblay, É. Thibault et C. Bélec. 2007a. *Importance of Season, Factors involved and Strategies Related to Corn Nitrogen Fertilization in Quebec*. *Proceedings of the Symposium Integrating Weather Variability into Nitrogen Recommendations*. Dans le cadre des congrès annuels 2006 de l'American Society of Agronomy (ASA), la Crop Science Society of America (CSSA), et la Soil Science Society of America (SSSA). Soumis pour publication.
- Tremblay, N., P. Vigneault, M.Y. Bouroubi et C. Bélec. 2007b. *De l'azote, oui; mais où et combien?* Compte rendu de la journée scientifique maïs et oléoprotéagineuses. 22 février 2007. Saint-Hyacinthe.
- Tremblay, N., H.C. Scharpf, U. Weier, H. Laurence et J. Owen. 2001. *Régie de l'azote chez les cultures maraîchères - Guide pour une fertilisation raisonnée*. Bulletin technique. http://www.agr.gc.ca/science/stjean/recherche/azote_f.pdf

LES EFFETS DE LA SAISON

Quelle importance ont-ils et comment y réagir?

Nicolas Tremblay

Carl Bélec

Philippe Vigneault

Mohammed Yacine Bouroubi

Edith Fallon



Gilles Tremblay, CÉROM

Éric Thibault, Club Techno-Champ 2000



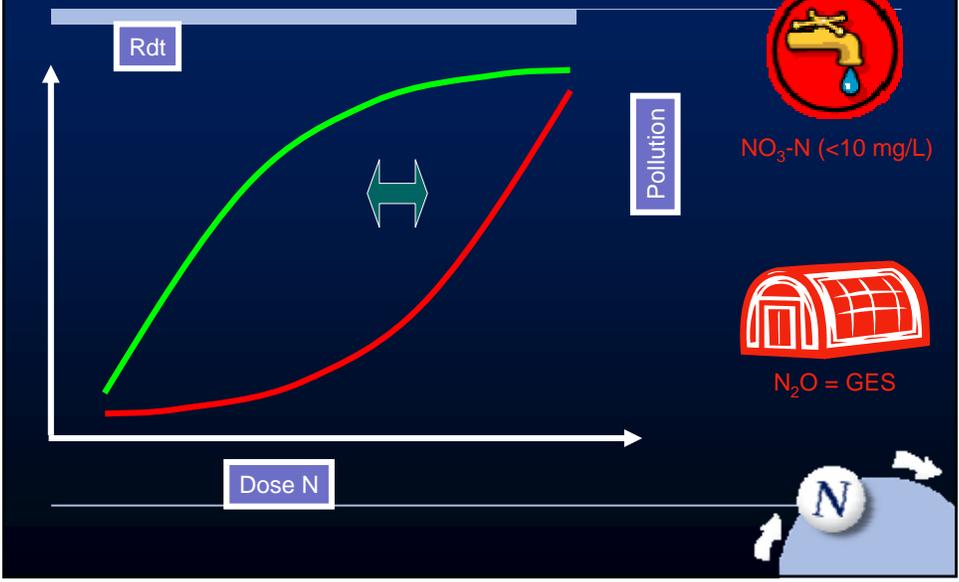
Climat

Impacts à long terme

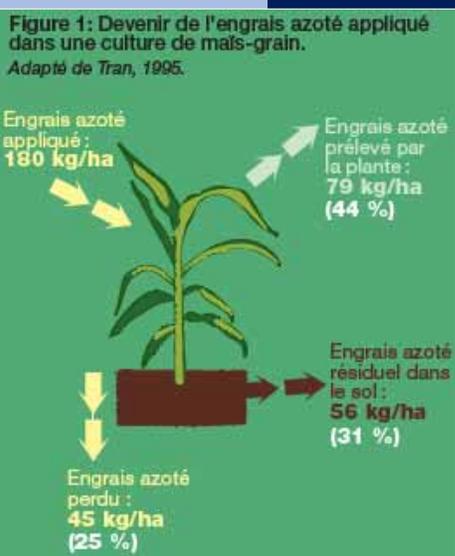
- Bassin de drainage du golfe du Mexique
- 1988 et 1989
 - Années sèches
 - + N-NO₃ résiduel dans profil 1.5 m
- 1990-1993
 - Années normales
 - N-NO₃ de 2 à 4 x plus élevées que normales dans l'eau de drainage
- Conditions hypotoxiques dans le golfe du Mexique < 1998
- Randall, G.W. 1998. Implications of dry and wet cycles on nitrate loss to subsurface tile drainage, p. 53-60 Drainage in the 21st Century: Food Production and the Environment.



L'importance du Nop



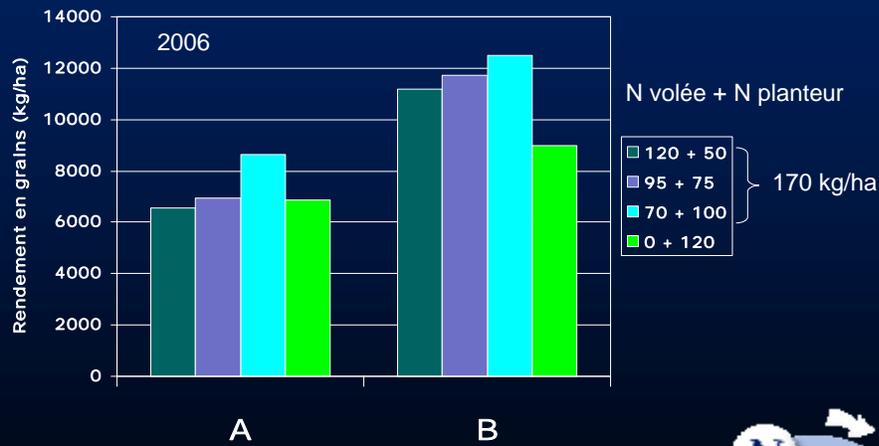
Efficacité d'utilisation de l'azote chez le maïs



Van Es et al. 2002 (New York):
Maïs = risques maximum de pertes par lessivage



N à la volée: peu efficace



Données gracieuseté de Pascal Royer Club La Vallière via Roger Rivest

Pour utiliser l'engrais azoté efficacement

- CRAAQ
- Évaluation des crédits d'azote disponibles
 - M.O., précédent, engrais organiques, type de sol
- Essais à la ferme



Jus de bas de tige (postmortem)

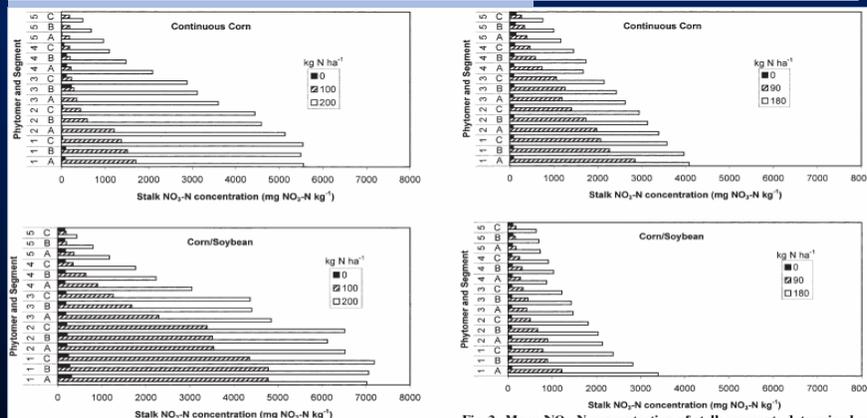
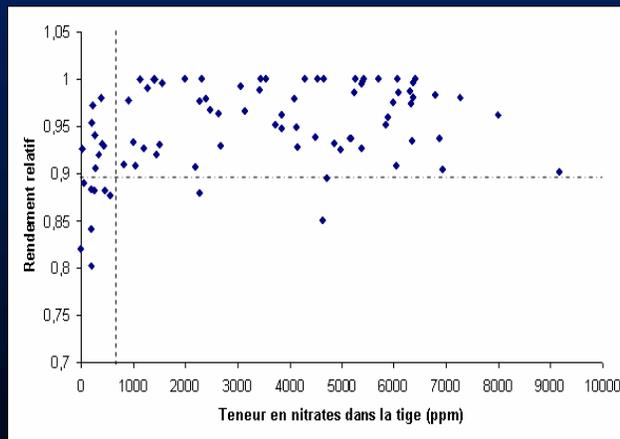


Fig. 1. Mean $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration of stalk segments determined on corn (mean of two hybrids) grown near Shelton, NE (irrigated experiment). On the y axis, digits designate phytomers (1 = nearest the soil; 5 = subtending the ear); letters designate segments of phytomers.

Fig. 2. Mean $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration of stalk segments determined on corn (Pioneer Brand hybrid 3162) grown near Mead, NE (dryland experiment). On the y axis, digits designate phytomers (1 = nearest the soil; 5 = subtending the ear); letters designate segments of phytomers.

Wilhelm et al 2005 (Nebraska)

Concentrations critiques ($\text{mg NO}_3\text{-N kg}^{-1}$)



- Québec
 - 700
- Wilhelm
 - Carence 950 à 1000
 - Excès 2700 à 3000

Source: Résultats Gilles Tremblay, CEROM via Carl Bérubé

LES EFFETS DE LA SAISON

- Quelle importance ont-ils?
- Comment y réagir?



La saison affecte...

Engrais N

Croissance

Selon la saison:
Apports naturels de 64 – 360 kg N/ha

Burns, 2004 et Ontario N Forum



Sources de variations pour les pertes de N par lessivage

- Type de sol
 - L, AL, LS, S
- Culture
 - Blé, betterave à sucre, pois, orge, colza
- Saison
 - 8 ans (1991-1999)

3X

4X

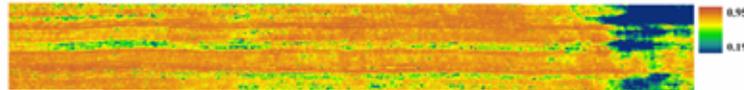
5X

Beaudoin, 2005



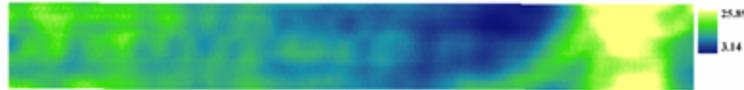
Qu'est-ce qui fait varier la biomasse du maïs (1)

NDVI from CASI



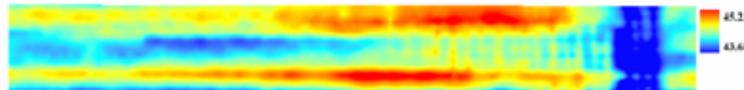
Biomasse

SEC from Veris Sensor



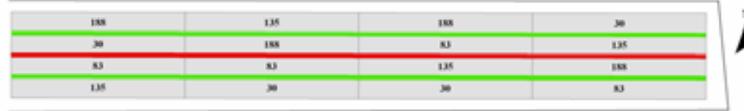
Conductivité

DEM from GPS receiver



Élévation

N Treatments



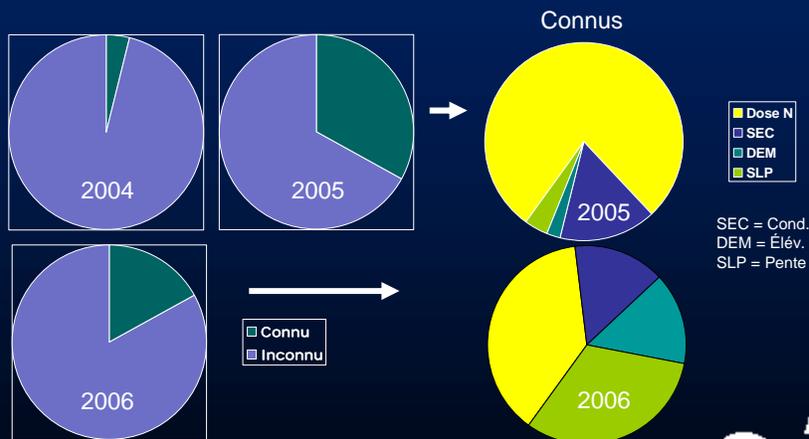
Fertilisation N

█ Saturated zone (250 kg N/ha) N Treatments (X kg N/ha)
█ Control zone (0 kg N/ha) Field boundary

0 50 100 200 Meters



Qu'est-ce qui fait varier la biomasse du maïs? (2)



2004: Ferme expérimentale L'Acadie
2005 + 2006: Producteur St-Valentin

Dose N pour rdt max f année (sur même site)

- Ontario, 9 ans (1993-2001)

- Min 100, max 270

- Écart 170

- Coelho et al. 2005



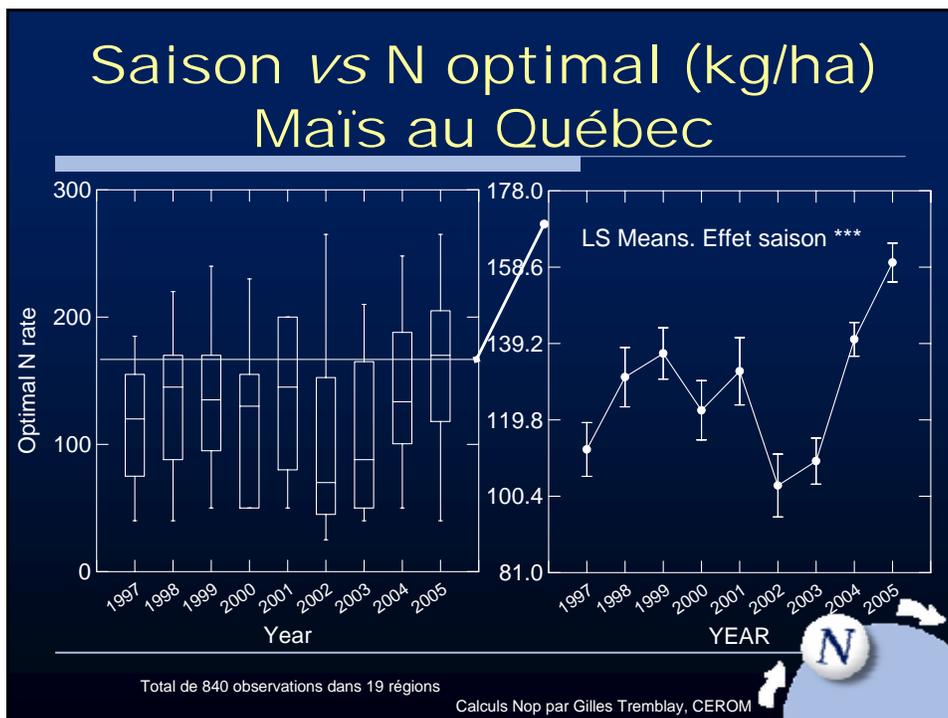
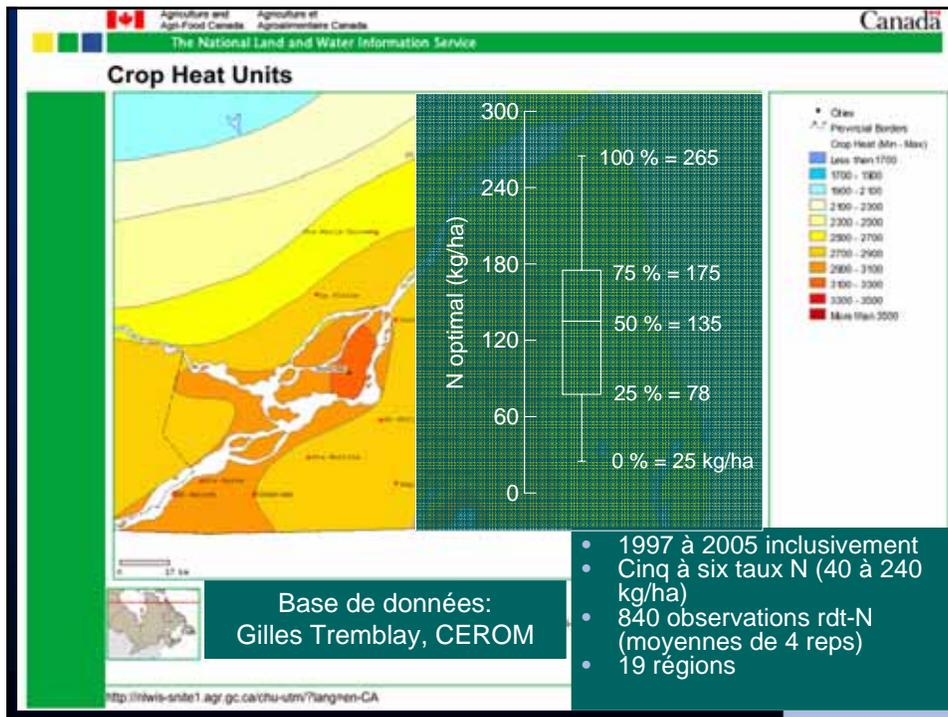
- L'Acadie, QC, 7 ans (1999-2005)

- Min 86, max 184

- Écart 98

- Tremblay et Bélec, non-publié





Pour utiliser l'engrais azoté efficacement

- Appliquer près du plant
- Diminuer les doses
 - 27 kg/ha (45 %) inutilisé à dose 60
 - 103 kg/ha (57 %) inutilisé à dose 180
- Fractionner
 - Meilleur impact sur prélèvement total de N = stade V8

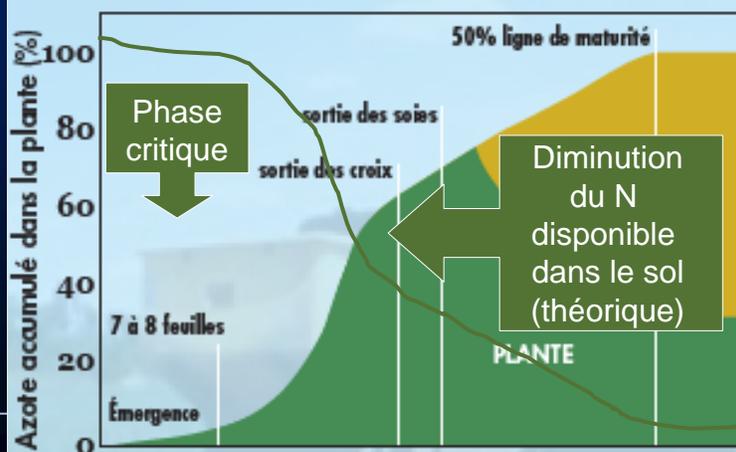
Tran et al. 1997



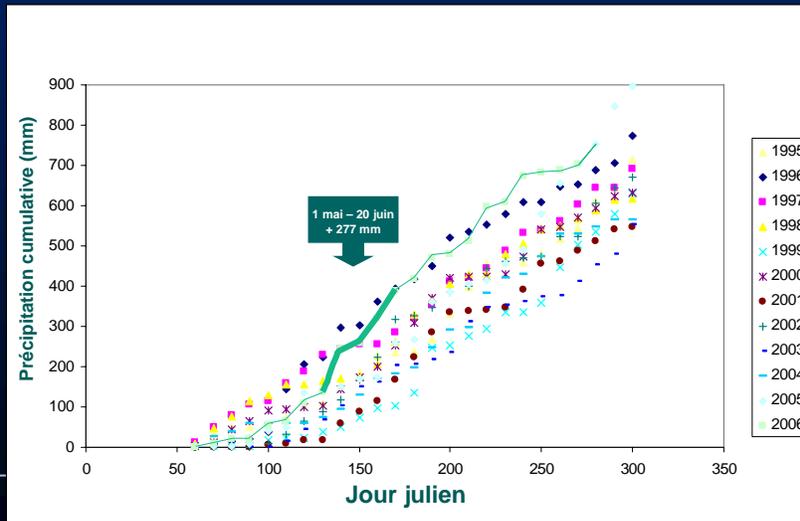
Le risque de ne pas fractionner



Figure 2: Accumulation de l'azote (%) dans le maïs, de l'émergence à la maturité.



Précipitations (L'Acadie) sur 12 ans



Variation du N selon la saison dans sol-plante (Ont.)

KAY ET AL.: INTEGRATING DATA IN PLANT AVAILABLE NITROGEN

1215

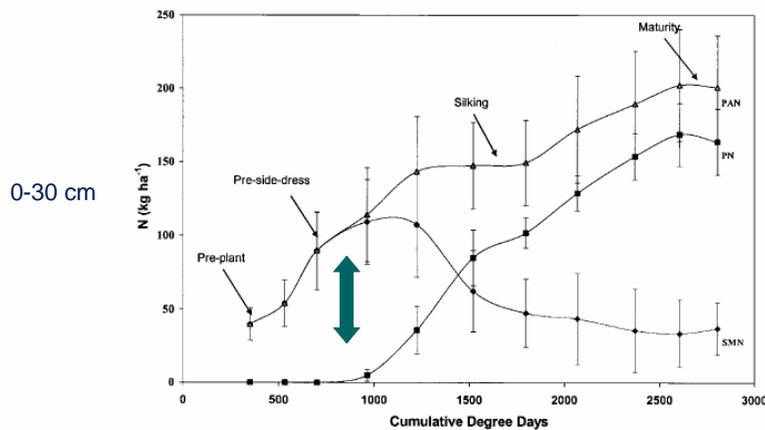


Fig. 3. Accumulation of soil mineral N (SMN), total shoot N (PN), and plant available N (PAN) in the 0N plots over the growing season (average across reps, management treatments, landscape positions and all years except 2000). Bars describe standard deviation among years of average across reps, management treatments and landscape positions.

% N appliqué après le semis du maïs

- USA 1999
 - 25 %
- Ontario
 - 25 %
 - Stewart 2007, communication personnelle
- Québec
 - 12 %
 - Sondage NAHARP 2007
 - 35 %
 - R. Rivest: Solution 32-0-0 en post est devenue plus populaire

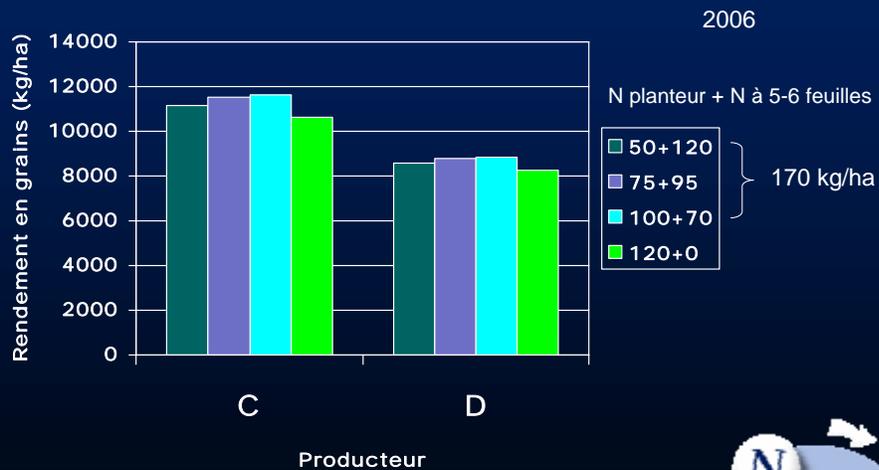


Fractionnement

- Une façon reconnue d'augmenter la NUE
- Abondante littérature scientifique
- Logique
- Toutes les approches évoluées de gestion du N y ont recours



Application au planteur vs en saison



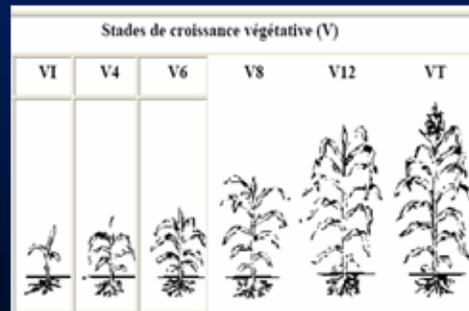
Données gracieuseté de Pascal Royer Club La Vallière via Roger Rivest

Application de N en saison vs rendement du maïs

- Pas de différences
 - Roth et al. 1995
 - Jokela et Randall 1989
 - Meilleure NUE toutefois
 - En accord avec Russelle et al. 1983
- Faibles augmentations
 - Bundy et al. 1992
 - Reeves et Touchton 1986
 - Welch et al. 1971
- Faibles diminutions
 - Stecker et al. 1993

Retarder l'application ne fait pas perdre de rendement

- Jusqu'à V11
 - Pas de risque, même lorsque des symptômes de carence sont évidents
- V12 à V16
 - Pertes de rendement d'environ 3%
- V10 optimum
 - Selon Walsh et al. ASA-CSSA-SSSA 2006

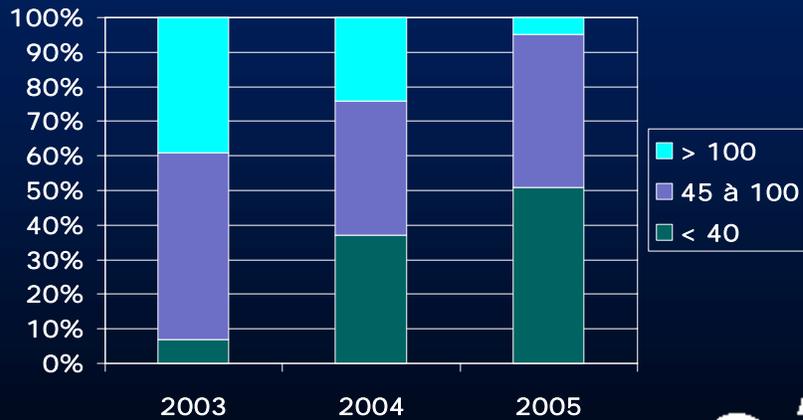


Scharf et al. 2002. 28 sites/années. Missouri

LES EFFETS DE LA SAISON

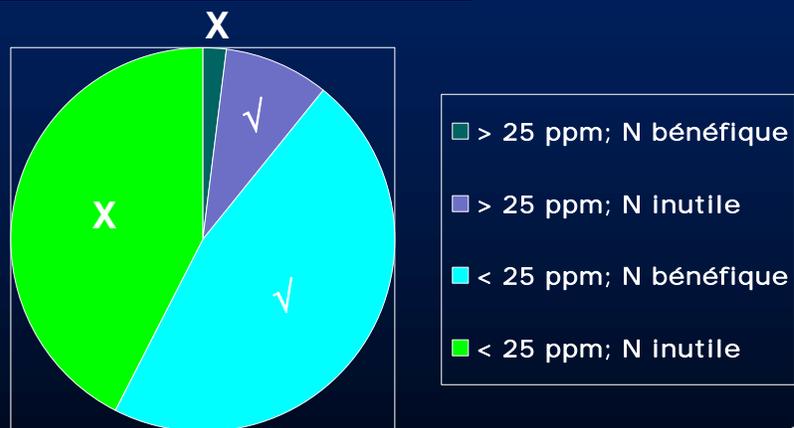
- Quelle importance ont-ils?
 - Importance considérable (> 100 kg N/ha)
 - Début de saison déterminant
 - Ne pas mettre tout l'engrais au semis
- **Comment y réagir?**

Contenu du sol avant N post N-NO₃ (kg/ha) sur 0-30 cm



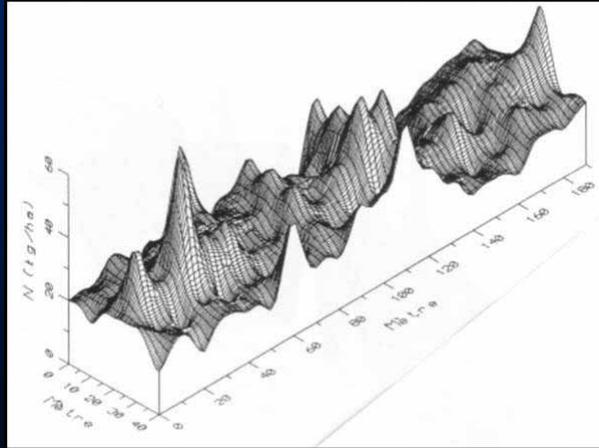
Rivest (2006)

N-NO₃ sols - taux de succès QC



Giguère, M. 2007. Grandes cultures 17(2): 16-17, d'après Gilles Tremblay

Le N-NO₃ est très variable dans le sol

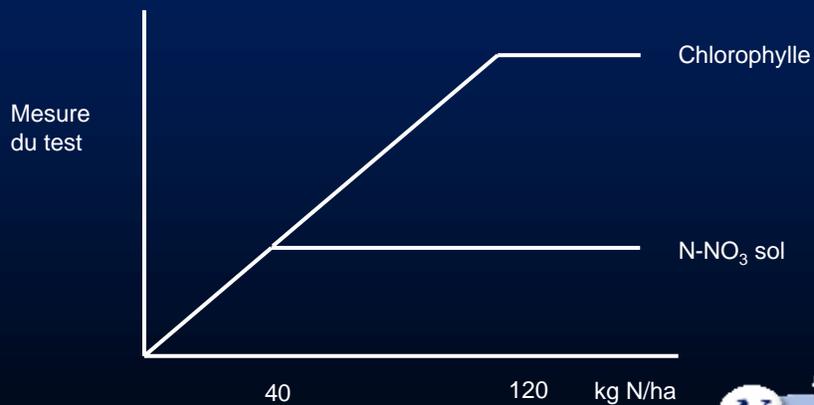


- Lessivage du NO₃
- Se fait par écoulement préférentiel
- Zones surconcentrées
- Zones appauvries
- Explique la variabilité spatiale de la teneur en NO₃ des sols
- [Meisinger 192-12. 2006]

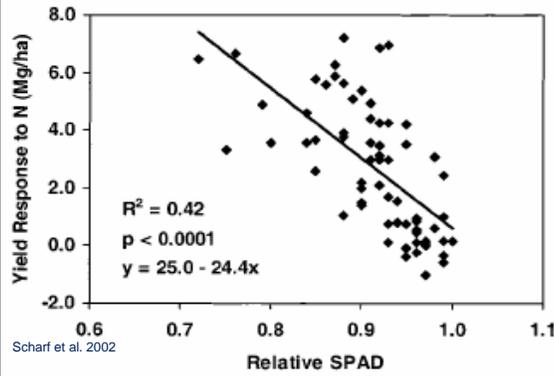
Schmidhalter, U., T. Alföldi, et J.J. Oertli. 1992. Représentativité des analyses de l'azote minéral résiduel du sol. Revue suisse d'Agriculture 24:51-56.



Tests sols ou plantes?

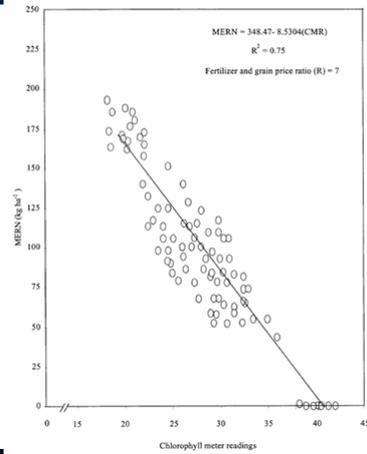


Chlorophylle et prévision effet de N (Missouri et Ontario)

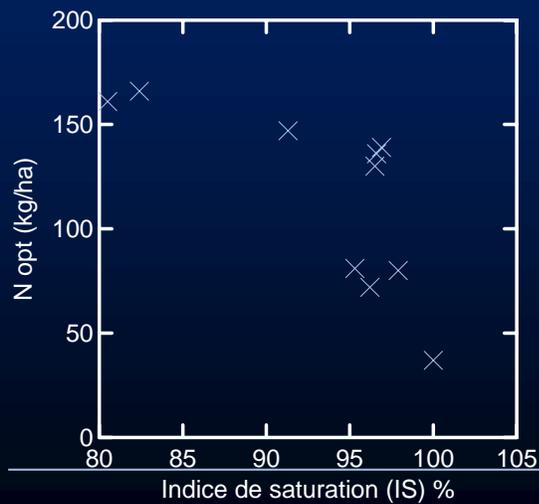


Scharf et al. 2002

Fig. 5. SPAD chlorophyll meter reading of unfertilized plots, relative to the reading of well-fertilized plots, was a highly significant predictor of the magnitude of corn yield response to N fertilizer.



Chlorophylle et prévision de réponse à N (Québec)



(maïs 115 \$/t + 1 \$/kg N)



Chlorophyll Meter Readings Can Predict Corn Nitrogen Need and Yield Response

Earlier research indicated that chlorophyll meters (CM) can indicate nitrogen (N) stress in corn, but did not address whether the amount needed can be predicted. Based on 66 N rate experiments over a 2-year period in seven northcentral states, CM are highly significant predictors of economically optimum N rate (EONR). Predictions were stronger when based on relative readings, on readings made later in the growing season, and where N fertilizer had not been previously applied. Soil nitrate (NO₃) or soil N indices were much weaker predictors of EONR.

In irrigated corn, there are repeated opportunities to apply needed N during the growing season with irrigation water. In rainfed systems, the opportunity is more limited. The CM will only be useful in guiding N application rate if it can be the basis for a single quantitative rate recommendation.

The objective in this study was to develop calibrations to predict corn N need and yield response based on CM readings over a wide range of environments and growth stages to improve N rate recom-

mendations and inform management decisions. Minolta SPAD chlorophyll meters were used to take the readings. All readings were taken midway between the stalk and tip of the appropriate leaf. A relative CM value was calculated as: *Relative CM value = (CM value/reference value)*. The reference CM value was specific to each experimental location and growth stage. It was calculated by averaging all readings from a group of high N treatments, instead of just the highest N rate.

The experiments included here are part of a cooperative regional research project, based on a shared experimental protocol... one of which was to evaluate the utility of CM both for predicting corn yield response to N and assessing N supply related to mineralization. The 66 N rates experiments were conducted in seven states: Illinois, Kansas, Michigan, Minnesota, Missouri, Nebraska, and Wisconsin. [26](#)

Source: Scharf, P.C., S.M. Brander, and R.G. Hoelt. 2006. *Agron. J.* 98:655-663.

For additional information, contact: scharfp@missouri.edu

Better Crops (2006) 90 (4): 10



Essais Opti-N sur 55 années/sites commerciaux

| | Rendement (t/ha) | | N post-levée (kg/ha) | | Humidité (%) | |
|-------------------|------------------|------|----------------------|------|--------------|------|
| | 2003 | 2004 | 2003 | 2004 | 2003 | 2004 |
| Producteur | 8.7 | 10.1 | 79 | 91 | 24.9 | 25.2 |
| Opti-N | 8.9 | 10.2 | 76 | 77 | 24.7 | 24.8 |
| Signific. | N.S. | N.S. | N.S. | 0.1 | N.S. | N.S. |





LES ANNÉES LUMIÈRE

Le dimanche

Les *Années lumière* vous invitent à un fabuleux voyage hebdomadaire au pays de la biologie, de la chimie, de l'environnement, de l'exploration spatiale, de la génétique de l'histoire, de la philosophie des sciences et bien d'autres...

Nature et environnement

Accueil >
Santé et médecine >
Génie et technologies >
Science et société >
Espace et astronomie >
Nature et environnement >
Origines et évolution >
Sciences pures >
Auteur de la semaine >
Chroniques et courrier >

Un climat fou, des fermiers déçus

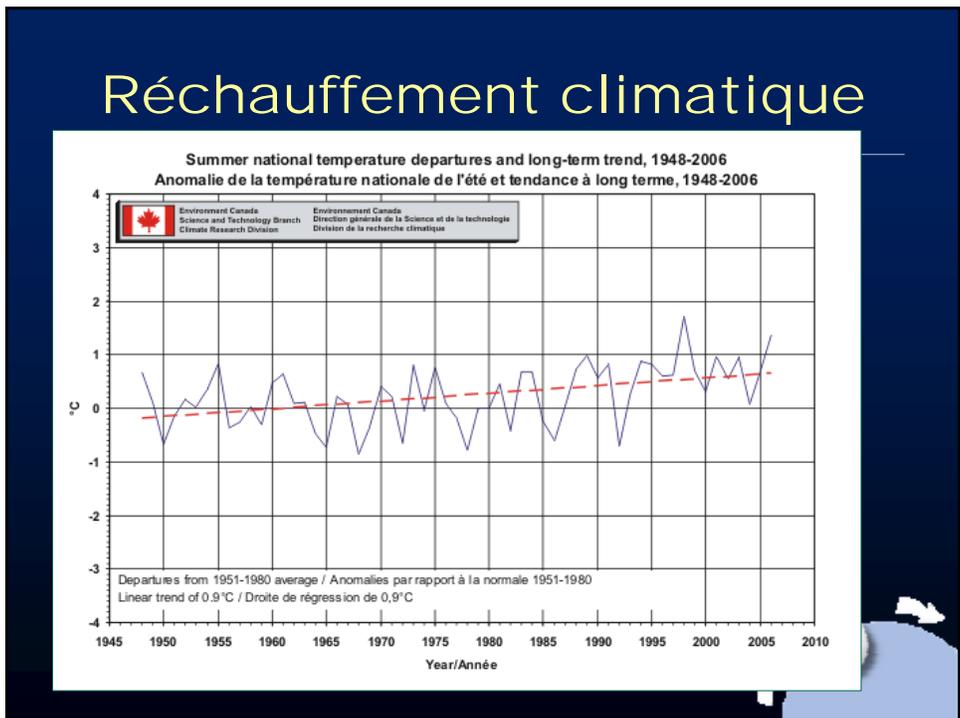
Les changements climatiques se manifestent chaque jour un peu plus. Le phénomène touche particulièrement les agriculteurs, et ils devront forcément s'adapter à des bouleversements tantôt bénéfiques, tantôt défavorables.

Étienne Leblanc nous parle d'abord d'un récent article de chercheurs de l'université de l'Illinois, publié dans la revue *Science*. L'étude vient contredire l'hypothèse répandue selon laquelle une augmentation de CO₂ dans l'atmosphère (causée par les changements climatiques) profiterait aux agriculteurs.

Le journaliste s'intéresse notamment à une autre étude, celle-là menée par une équipe de l'Université de Montréal, sur le climat et l'agriculture: comment les agriculteurs vivent-ils les changements climatiques au jour le jour?

Selon différentes recherches, le réchauffement climatique va complètement transformer l'agriculture. Le vin canadien serait-il la prochaine mine d'or du pays? Et si c'était le cas...

Emission du 3

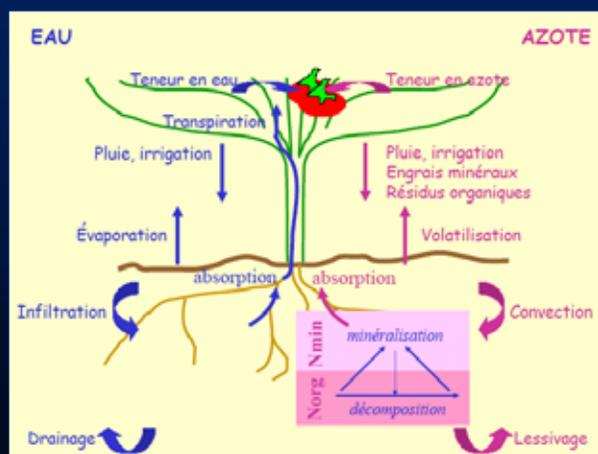
Pertes de N et climat

- Pertes de N
 - Lessivage du NO_3
 - Volatilisation du NH_3
 - Émission du N_2O
 - Pertes par érosion
- Origine
 - Événements pulsés par des épisodes **climatiques** ou de **gestion**

ASA-CSSA-SSSA 2006



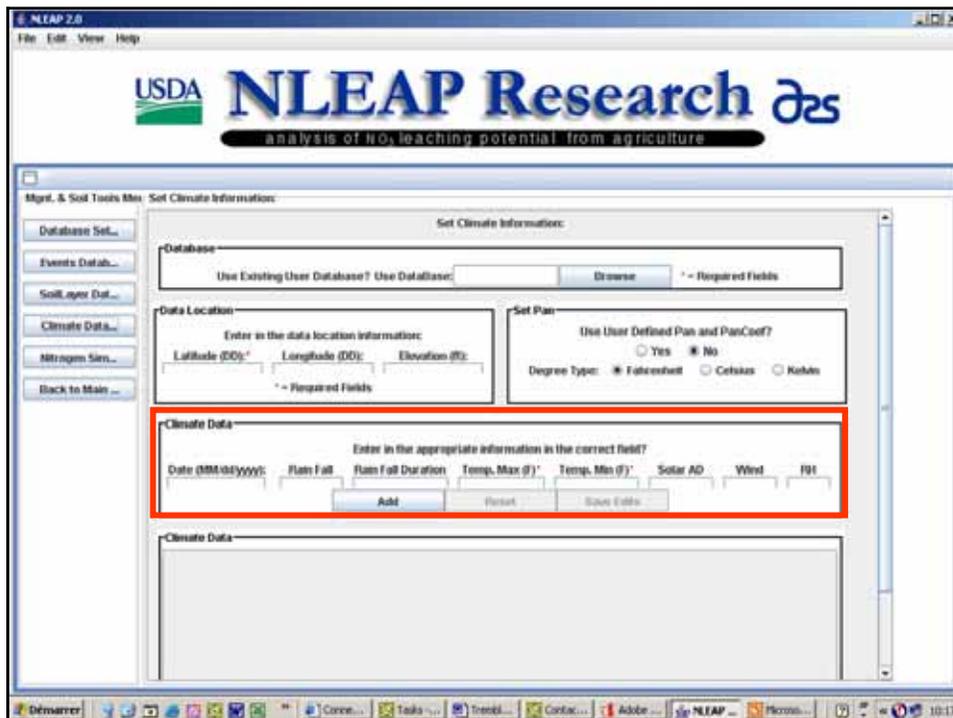
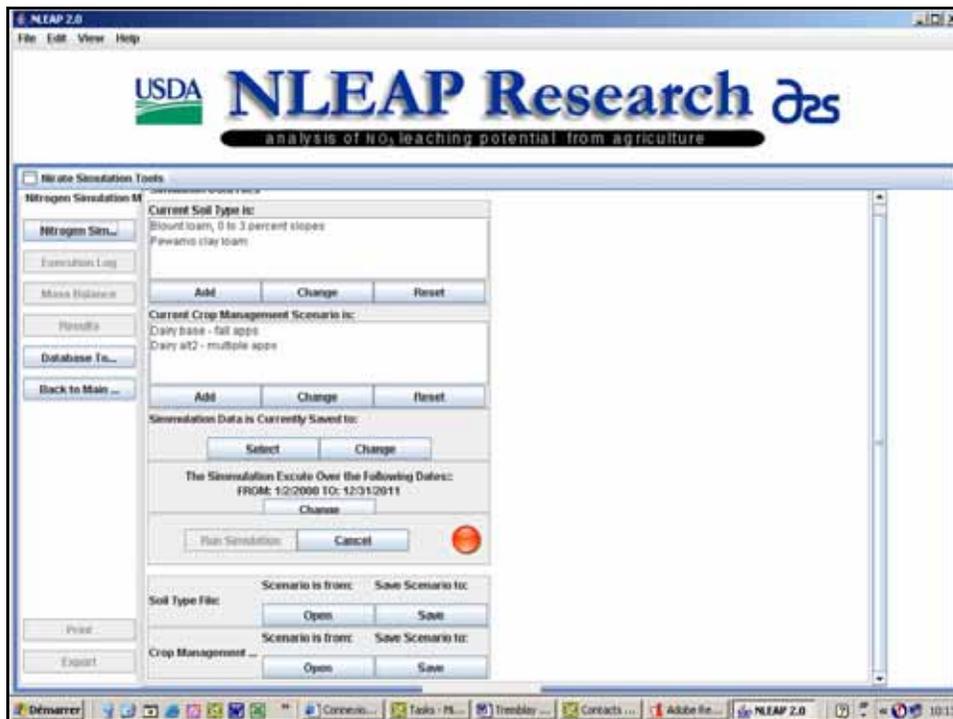
 **Couplage de l'Eau et de l'Azote**
dans les Peuplements Cultivés
ECCO (PNBC)



- La dose optimale de N augmente avec le contenu en eau du sol
- Schmidt et al. 300-4. ASA-CSSA-SSSA 2006.

<http://www.poitou-charentes.inra.fr/ceapc>





Modèles

- Precision Nitrogen Management (Melkonian et al. 2006)
 - Cornell (NY)
 - Pour applications en saison
 - Modèle LEACHN + Modèle “régie, N et croissance” (Sinclair and Muchow 1995)
 - Version web en développement
 - Données climatiques à haute résolution
- Autres exemples
 - Hermes (Kersebaum 2006)
 - Hybrid-Maize (Doberman et al. 2006)
 - www.hybridmaize.unl.edu

ASA-CSSA-SSSA 2006



Rencontrer les besoins en azote de la culture

- Dans le temps (fractionnement)
- Dans l'espace (agriculture de précision)



N à taux variable pour maïs

- Missouri
 - 12 kg N de moins que producteurs
 - À Nop: N-NO₃ résiduel = 33 kg N/ha, soit 40 kg de moins
 - Réf: Hong 48-1
- Autre étude
 - Rendement + 5% avec -21% N (étude en parcelles)
 - Rendement + 0% avec -13 % N (étude en champs)
 - Réf: Philips 191-9
- Missouri
 - -30 kg N/ha
 - Variation dose optimale dans même champ = 88 lbs N/ac
 - Reconnu comme bonne pratique. Subventions accordées.
 - Réf: Kitchen 157-2

ASA-CSSA-SSSA 2006



Doses optimales selon le terrain St-Valentin, Qc

| 2005 | Superficie (ha) | Dose d'azote optimale (kg/ha) | Quantité apportée (kg/zone) |
|------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|
| CEA faible, SLP faible | 1.31 | 0 | 0 |
| CEA faible, SLP moyen | 1.37 | 0 | 0 |
| CEA faible, SLP élevé | 0.34 | 30 | 10 |
| CEA moyen, SLP faible | 1.71 | 135 | 232 |
| CEA moyen, SLP moyen | 1.65 | 187 | 309 |
| CEA moyen, SLP élevé | 0.67 | 30 | 20 |
| CEA élevé, SLP faible | 0.53 | 82 | 44 |
| CEA élevé, SLP moyen | 0.78 | 82 | 64 |
| CEA élevé, SLP élevé | 0.26 | 82 | 21 |
| <i>Champ global</i> | <i>8.66</i> | <i>Moyenne : 81</i> | <i>701</i> |

- 701 vs 1386 kg (= dose producteur [160 kg/ha]) pour le champ
- 49 % réduction



Gracieuseté: Rick Pattison



N Sensor







Cab Top Mounted

- DGPS or GPS (optional)
- Irradiance Sensor
- Left Sensors
- Right Sensors

In Cab Section

- Touch Screen
- Card Drive
- Spread Controller



Téledétection

« Farmstar, un gain de 15 euros par hectare de blé »

Farmstar, service d'aide à la conduite des cultures à la parcelle, élaboré à partir d'images satellites, couvre aujourd'hui plus de 180 000 ha en France, principalement dans le Nord. Farmstar est proposé aux agriculteurs par 20 organismes. Il est désormais disponible sur maïs et betterave, en plus du blé et colza.

« C'est qui ont pris un abonnement se réabonnent l'année d'après pour deux à trois fois la surface initiale ! », se félicite Bernard Coquil, responsable du développement des nouvelles applications chez EADS-Astrium. La distribution du service auprès des agriculteurs est assurée, à ce jour, par quinze coopératives, deux négociants et trois chambres d'agriculture. L'abonnement est valable un an. Des abonnements ont été pris pour des surfaces allant de 500 à 50 000 ha selon l'importance de l'organisme acheteur. Une vingtaine de zones, essentiellement dans le Nord, sont couvertes, soit 15 000 à 20 000 parcelles pour 180 000 ha de blé et colza. Chaque agriculteur reçoit, aux stades clés



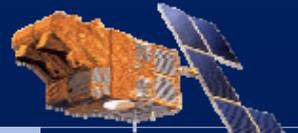
EN SAVOIR PLUS

Farmstar a été développé par EADS-Astrium et Arvalis, en collaboration avec le Cetiom et l'Institut technique de la betterave. La réflexion a débuté il y a huit ans. L'outil a été proposé aux agriculteurs en 2002 sur le blé et en 2003 sur le colza. Il est aujourd'hui étendu à l'orge, au maïs et à la betterave. L'ensemble des conseils Farmstar est disponible au prix de 8 à 13 euros/ha suivant la culture, blé ou colza.

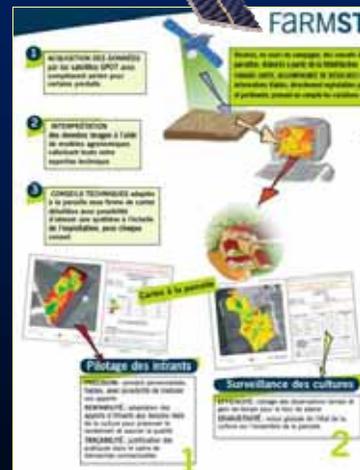
Une vingtaine de zones sont couvertes par le système Farmstar, soit 15 000 à 20 000 parcelles pour 180 000 ha de blé et colza.

Pour le blé, Anne Blondlot, d'Arvalis, rapide des besoins sur la parcelle. Enfin, on observe une action sur colza de 50 unités d'azote, soit une économie de 26 euros

FarmStar



- Satellite SPOT
- Espèces
 - Blé, colza, orge de printemps, maïs
- En 2006: 10,000 clients sur 250,000 ha
 - France, Allemagne, Angleterre
- <http://www.farmstar-space.com>



Lien taux variable et climat

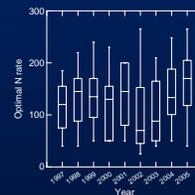
- However, "...the potential benefits of site-specific management would only be fully captured if N management could be adjusted annually in response to changing weather conditions, especially those early in the growing season"

Kay, B.D., A.A. Mahboubi, E.G. Beauchamp, and R.S. Dharmakeerthi. 2006. Integrating soil and weather data to describe variability in plant available nitrogen. Soil Science Society of America Journal 70:1210-1221.



Problématique

- Viser Nop
 - Rentabilité
 - Environnement
- Constat actuel au Québec
 - Doses souvent en excès de Nop



LES EFFETS DE LA SAISON Quelle importance ont-ils et comment y réagir?



L'impact du climat est majeur

- Facteur le plus important
- Explications multiples
 - Température
 - Eau
 - Timing
- Écart Nop de l'ordre de 100 kg N/ha



LES EFFETS DE LA SAISON Quelle importance ont-ils et comment y réagir?



Que faire ?

- Base
 - CRAAQ, placement, tests de fin de saison
- Fractionner le N
 - Tests sols
- Quantifier le besoin
 - Pince à chlorophylle
- Solutions d'avenir
 - Capteurs
 - Taux variable
- Bénéfices
 - Économiques
 - Environnementaux



LES EFFETS DE LA SAISON Quelle importance ont-ils et comment y réagir?



Remerciements

GAPS d'Agriculture et Agroalimentaire Canada

Personnel de la ferme de L'Acadie

Producteurs Hugues et Yvon Landry

Étudiants d'été

synAgri

Roger Rivest, Noura Ziadi et le Comité

Tom Bruulsema

René Mongeau

Carl Bérubé

