

## Réponse du maïs-grain à la fertilisation minérale azotée

Gilles Tremblay, agronome, M.Sc., CÉROM, Saint-Bruno-de-Montarville

*Ce texte a fait l'objet d'une conférence présentée à Rougement le 17 février 1998 dans le cadre de la **Journée de conservation des sols** organisée par le Comité de conservation des sols de Rouville.*

### Introduction

L'azote est un élément essentiel dans la croissance des plantes. La production de chaque tonne de grain exige environ 15 kg d'azote. Une récolte de 7 tonnes à l'hectare exporte donc plus de 100 kg N/hectare.

Quelle est la réponse du maïs-grain à la fertilisation minérale azotée ? Des essais structurés à la ferme ont été réalisés chez 15 producteurs de la Montérégie en 1997, avec la collaboration de conseillers du MAPAQ ou de clubs agroenvironnementaux. Sur chacun des sites, on a déterminé le rendement, l'humidité et le poids spécifique des grains récoltés. De plus, ce même type d'essai a aussi été réalisé sur plus d'une année (1995-96-97), mais chez un seul de ces producteurs.

### Réalisation des parcelles

Les 15 sites des essais de 1997 sont présentés au tableau 1. L'essai réalisé sur une période de 3 ans (1995-1996-1997) a été mené sur une ferme de Ste-Barbe. Chaque essai était supervisé par un conseiller du MAPAQ ou d'un club agroenvironnemental. L'emplacement des sites a été déterminé par le conseiller, en accord avec le producteur. La régie adoptée sur chaque site était laissée au soin du producteur (choix de l'hybride, des herbicides, de la densité de semis, etc.), à l'exception de la dose de fertilisation minérale azotée.

Chaque essai comportait généralement 24 parcelles, soit 6 niveaux d'azote (N base, 80, 120, 160, 200 et 240 kg N/ha) répétés 4 fois afin de tenir compte de la variabilité spatiale du sol. La dimension d'une parcelle pouvait atteindre 50 m<sup>2</sup>, soit 4,5 m de largeur par 12m de longueur. L'emplacement définitif des parcelles était déterminé peu de temps avant l'application de l'engrais minéral azoté par le producteur. Cette application a été réalisée au stade 6 feuilles du maïs, stade généralement observé de la mi-juin au début juillet.

Le conseiller identifiait la zone de 18m de large par 72m de longueur de l'essai afin que le producteur évite d'appliquer de l'azote minéral au stade 6 feuilles dans cette zone. Le conseiller procédait alors à l'application des différentes doses d'azote selon le plan de champ de l'essai pour ce site. Les parcelles étaient distribuées au hasard pour chacun des essais. L'azote était appliqué à la main entre les rangs de maïs et incorporée au sol. La méthode d'incorporation de l'azote pouvait varier d'un site à l'autre : à la bêche, au rotoculteur ou avec le sarcler du producteur.

Avant que le producteur ne procède à la récolte de son champ, le conseiller recueillait l'équivalent d'une longueur de 10m de rang dans chacune des parcelles. Les épis étaient récoltés à la main sur les rangs du centre de chacune des parcelles. Le rendement, l'humidité et le poids spécifique du grain ont été déterminés pour chaque parcelle.

### Résultats 1997

Les résultats détaillés de l'année 1997 sont présentés au tableau 2. L'analyse des résultats est présentée sous forme de questions-réponses.

#### **Question 1 : Quel est la dose d'azote qui permet d'obtenir le rendement maximal ?**

**Réponse :** Cela dépend de chacun des sites. Si on détermine le nombre de fois où on obtient le rendement maximal pour chacune des doses d'azote en analysant le tableau 2, on observe que :

- (1) les doses d'azote de base (N base) et 80 N ne donnent aucune fois le rendement maximal;
- (2) la dose 120 N donne 4 fois sur 15 le rendement maximal (27 %);
- (3) la dose 160 N donne 5 fois sur 15 le rendement maximal (33%);

- (4) la dose 200 N donne 1 fois sur 15 le rendement maximal (7%);
- (5) la dose 240 N donne 5 fois sur 15 le rendement maximal (33%).

Les doses 120 N et 160 N procurent donc le rendement maximal dans 60% des cas (sites) tandis que les doses 200 et 240 N procurent le rendement maximal dans 40% des cas. Cette méthode simple et rapide ne tient compte que des valeurs arithmétiques moyennes obtenues pour chacune des doses d'azote pour chaque site. Cette méthode d'analyse des résultats ne peut être jugée comme satisfaisante car elle ne tient pas compte de nombreux facteurs, tel la rentabilité économique ou la variabilité du sol.

**Question 2 : Les doses identifiées à la réponse 1 correspondent-elles aux rendements économiques maximaux pour chaque site ?**

**Réponse :** En tenant compte d'un coût de fertilisation azotée fixé à \$0,70/kg N et d'un prix de vente de \$170/tonne pour le maïs-grain, on obtient le tableau suivant :

- (1) la dose de base (N base) donne 1 fois sur 15 le rendement économique maximal (7%);
- (2) la dose 80 N donne 1 fois sur 15 le rendement économique maximal (7%);
- (3) la dose 120 N donne 3 fois sur 15 le rendement économique maximal (20%);
- (4) la dose 160 N donne 6 fois sur 15 le rendement économique maximal (40%);
- (5) la dose 200 N donne 1 fois sur 15 le rendement économique maximal (7%);
- (6) la dose 240 N donne 3 fois sur 15 le rendement économique maximal (20%).

En considérant l'aspect économique, les doses 120 N et 160 N donnent encore le rendement optimal dans 60% des cas. Par contre, les doses 200 N et 240 N ne permettent d'obtenir le rendement optimal que dans 25% des cas. Les doses de base jusqu'à 160 N permettent d'obtenir le rendement optimal dans près de 75% des cas. Cette méthode d'analyse des résultats ne fait encore appel à aucune notion de probabilité ou de risque, ni à la notion de courbe de réponse du maïs en fonction de la fertilisation minérale azotée.

**Question 3 : Jusqu'à quel point peut-on se fier aux méthodes utilisées dans les réponses 1 et 2 pour analyser les résultats ?**

**Réponse :** Afin de répondre à cette nouvelle question, il

faut analyser les résultats obtenus en considérant aussi les points suivants :

- (1) l'ensemble de la courbe de réponse sur le site et pas seulement la valeur observée pour chaque dose;
- (2) la notion de risque, soit la possibilité de se tromper lorsqu'on tire une conclusion (probabilité et statistique);
- (3) le succès de l'essai, i.e. si les différences ou variations mesurées sont réellement dues aux différentes doses d'azote et aux répétitions.

**Tableau 1. Sites et collaborateurs des essais de fertilisation minérale azotée de 1997.**

Essai	Localité	Collaborateur
1	Varenes	Lucie Gagnon
2	Varenes	Lucie Gagnon
3	Saint-Antoine	Lucie Gagnon
4	Beloeil	Lucie Gagnon
5	Saint-Antoine	Lucie Gagnon
6	Saint-Antoine	Lucie Gagnon
7	Sainte-Barbe	Pierre Fillion
8	Ormstown	Pierre Fillion
9	Sainte-Marie de Monnoir	Yvan Faucher
10	Sainte-Marie de Monnoir	Yvan Faucher
11	Sainte-Angèle de Monnoir	Yvan Faucher
12	Mont Saint-Hilaire	Yvan Faucher
13	Saint-Stanislas de Kostka	Yvan Faucher
14	Varenes	Pierre Fillion
15	Sainte-Marie de Monnoir	Lucie Gagnon

Dans les essais traditionnels de démonstration à la ferme on applique plusieurs doses d'azote sur autant de bandes de sol. Chaque bande correspond à une dose et il n'y a pas de répétitions. On espère que le sol soit assez homogène sur la surface retenue pour que chaque bande ait le même potentiel de rendement. Mais chaque bande a-t-elle réellement le même potentiel ? Les résultats permettent de répondre à cette question.

Les essais qui ont été menés ne sont pas des essais traditionnels de démonstration à la ferme. Contrairement aux essais de démonstration, toutes les doses d'azote se retrouvent disposées au hasard dans chaque bande ou bloc de sol. Il est ainsi possible de vérifier les différences de rendement entre les bandes de sol ou les blocs et de mieux comparer les différentes doses d'azote entre elles. En ayant des blocs ou des répétitions, il est aussi possible de réaliser des calculs statistiques, ce qui est difficilement réalisable dans les essais traditionnels de démonstration à la ferme.

Grâce à l'analyse statistique des résultats, on constate qu'il y a des différences significatives entre les bandes ou blocs de sol dans 33% (5/15) des essais. Pour les 10 autres essais, il peut exister des différences entre les bandes mais elles ne sont pas significatives. Significatifs ou non, il existe des écarts supérieurs à 500 kg/ha entre les bandes pour 10 des 15 essais (67%). Pour les essais no 8 et no 9, l'écart entre certaines bandes peut même dépasser 2000 kg/ha.

Afin de mieux analyser les effets ou les relations entre les différents niveaux d'azote et le rendement, il est préférable d'analyser les résultats obtenus en déterminant les courbes de réponse. Une courbe de réponse est calculée à partir de l'ensemble de toutes les observations réalisées dans un essai. À partir de l'ensemble des mesures, il est possible de tracer une courbe qui estime la relation entre l'azote et le rendement pour chacun des niveaux mesurés ainsi que pour l'intervalle existant entre 2 niveaux d'azote.

À partir de ces courbes de réponse, on constate que l'effet des doses d'azote sur le rendement est significatif dans 9 essais (tableau 2). Un seul essai (no 2) montre un effet linéaire soit que plus on augmente la dose d'azote, plus le rendement augmente. Huit essais (no 1, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15) montrent un effet plutôt quadratique soit une augmentation du rendement avec l'augmentation de la dose d'azote, l'atteinte du rendement maximal suivie d'une baisse de rendement avec les augmentations subséquentes de la dose d'azote (courbe en dos de chameau). Pour ces 8 essais (53%), le rendement maximal est obtenu dans l'intervalle de 120 à 170 kg N/ha. Les 6 autres essais (no 3, 4, 5, 6, 9, 11) ne montrent aucun effet significatif de l'azote. L'augmentation de la dose d'azote n'entraîne pas d'augmentation de rendement pour ces 6 sites (40%). Les rendements semblent relativement stables pour ces 6 sites.

Si on essayait de tirer une conclusion générale de ces résultats, on pourrait dire qu'un producteur utilisant une dose d'azote variant entre 120 et 170 kg N/ha obtiendrait un rendement optimal en minimisant les risques de se tromper. Selon les courbes de réponse obtenues de ces 15 sites, on pourrait conclure qu'il serait possible d'aller chercher le rendement optimal dans plus de 90% des cas (14/15) en utilisant une dose variant de 120 à 170 kg N/ha, et ce, même si on ne connaissant pas le potentiel précis du ou des sites visés. En effectuant des essais localisés, le producteur pourrait préciser le niveau d'azote qui lui permettrait d'atteindre un rendement optimal.

#### **Question 4: Les essais menés permettent-ils d'expliquer adéquatement la relation entre les doses d'azote et le rendement ?**

**Réponse :** L'analyse statistique comporte un indice, le coefficient de détermination ( $R^2$ ), qui permet d'évaluer la proportion des différences ou des écarts observés attribuables aux doses d'azote et aux blocs. Un coefficient de détermination de 100% indiquerait que toutes les différences observées entre les parcelles proviendraient des doses d'azote et des blocs. Dans la pratique, on recherche un indice supérieur à 60% pour le rendement.

Dans les 15 essais menés (tableau 2), il n'y a que 5 essais où l'indice est de plus de 60%. Les différences observées au champ entre les parcelles ne sont pas bien expliquées par les doses d'azote et par les blocs pour 10 des 15 essais (67%). Il y a donc d'autres facteurs que le niveau de fertilisation d'azote minéral qui expliquent la plus grande partie des différences observées pour ces 10 sites. Cette constatation n'est pas nécessairement surprenante. En effet, de nombreuses recherches démontrent que, pour une proportion importante de sols, « il n'y a aucun lien entre les exportations et les quantités d'engrais requises, simplement parce que lorsque les conditions (sol, climat) sont propices à un fort rendement à un champ donné, les conditions sont aussi bonnes pour une bonne fourniture d'azote du sol (matière organique, résidus, azote résiduel) et que la culture s'alimente prioritairement de cette source » (Louis Robert, Agro-Bulletin, région de la Montérégie, secteur Ouest, septembre 1997, p. 2).

#### **Question 5. Peut-on se fier sur les résultats provenant d'une seule année (1997) pour bien comprendre la réponse du maïs-grain à la fertilisation minérale azotée ?**

**Réponse :** Il peut effectivement exister de très grandes différences entre les saisons de production. On doit rappeler que 1995 a été une année très favorable à la production de maïs-grain. Le même type d'essai a été réalisé sur une période de 3 ans (1995-96-97) sur le site no 7 situé à Saint-Barbe.

L'analyse des résultats des essais menés sur ce site au cours de ces 3 années permet de constater que la courbe de réponse inter-annuelle sur le site no 7 montre la même forme au cours des 3 années. Ainsi, le rendement optimal est obtenu, bon an mal an, avec l'utilisation d'une dose variant de 120 à 170 kg N/ha.

**Tableau 2. Résultats détaillés des essais de fertilisation minérale azotée de 1997.**

SITE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>RENDEMENT (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>															
Moyenne	9764	9466	9132	7601	10929	9472	8180	8411	7163	7632	10391	7303	6795	9641	6804
R <sup>2</sup>	51.6	63.3	36.3	34.3	18.9	21.9	69.2	78.9	56.2	49.7	45.8	90.4	82.3	55.0	52.4
<b>AZOTE (N)</b>															
N base	8707	9324	9226	7591	10515	9312	5747	7702	6921	6666	10495	6297	5365	7887	5294
80 N	9768	9114	9213	7703	10958	9558	7342	8242	7214	7030	10043	6826	6577	9195	6565
120 N	9541	9412	9150	7821	10516	9797	8410	9012	7230	8345	10120	7228	6735	9766	7248
160 N	10464	9176	9493	7230	10989	9395	9362	8812	7191	8244	10782	7705	7716	10221	7661
200 N	10078	9698	8944	7717	11185	9298	8794	8285	7105	7842	10647	7535	7583	10524	7250
240 N	10027	10074	8764	7546	11414	---	9422	---	7320	7767	10258	8228	---	10250	---
ppds	1603	1090	---	---	---	---	1672	1032	---	1652	---	381	895	1840	---
<b>BLOC (B)</b>															
1	9314	9573	9209	7588	10970	9491	8395	8487	7051	7247	10056	7294	6597	9596	7351
2	9650	10218	9011	7646	10763	9366	8040	9358	8584	7332	10259	6954	7248	9367	6934
3	9618	10662	9192	7999	10810	9686	8105	8573	6224	7909	10670	7424	7324	10157	6126
4	10475	10736	9114	7173	11175	9345	8179	7225	6794	8041	10579	7542	6981	9443	---
ppds	---	783	---	---	---	---	---	797	1235	---	---	347	982	---	1219
<b>POIDS SPÉCIFIQUE (kg.hl<sup>-1</sup>)</b>															
Moyenne	72.47	67.53	69.38	68.70	72.40	73.02	77.04	70.53	70.13	68.82	69.14	71.52	72.86	74.01	67.62
R <sup>2</sup>	26.9	31.8	51.8	24.3	16.7	16.0	63.2	81.8	40.0	32.1	82.5	64.0	69.4	44.0	62.6
<b>AZOTE (N)</b>															
N base	72.39	67.37	70.12	68.94	71.96	73.18	75.55	70.82	70.38	67.83	68.70	71.36	71.52	73.40	65.11
80 N	71.70	67.35	68.05	68.27	71.56	73.12	76.39	69.94	70.90	68.40	68.86	71.26	72.07	73.13	67.67
120 N	73.39	68.21	70.76	68.90	72.73	72.82	76.50	70.21	70.00	69.14	68.64	71.74	73.43	73.53	68.35
160 N	72.72	67.22	67.57	69.14	72.86	72.98	78.03	70.24	70.06	68.95	69.90	71.44	73.80	74.68	69.46
200 N	72.59	67.45	69.32	68.63	73.44	72.98	77.76	70.44	69.52	68.38	69.92	71.55	73.49	74.89	67.51
240 N	72.02	67.54	70.44	68.30	71.84	---	77.99	---	69.92	69.14	68.83	71.79	---	74.43	---
ppds	---	---	---	---	---	---	1.58	1.40	---	---	0.91	---	---	1.85	1.90
<b>BLOC (B)</b>															
1	71.44	67.34	70.43	67.93	72.54	73.02	76.86	69.76	69.76	68.22	68.51	71.30	72.85	73.93	68.17
2	72.02	67.60	68.58	68.77	72.62	72.81	76.94	71.91	71.52	68.32	70.44	70.57	73.36	73.80	67.92
3	73.06	67.69	68.10	69.32	72.42	73.12	77.65	71.37	68.59	68.76	69.16	71.64	73.52	73.92	66.76
4	73.36	67.49	70.40	68.77	72.01	73.13	76.70	69.08	70.66	69.16	68.46	72.59	72.46	74.38	---
ppds	---	---	2.82	---	---	---	---	0.98	2.52	---	0.66	0.87	---	---	---

**Notes.**

1. R<sup>2</sup>: coefficient de détermination.
2. N base: Quantité de N appliquée lors du semis avec le planteur. Quantité variable selon le site (30 à 58 kg.ha<sup>-1</sup> de N).
3. ppds: plus petite différence significative au seuil de 5%.

2002-01-11

Le Centre de recherche sur les grains (CÉROM) inc. a pour mission de faire de la recherche d'intérêt public et collectif pour le développement du secteur de la production de grains. Le Centre de recherche sur les grains inc. a été créé à l'initiative du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec auquel se sont associées la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec et la Coopérative fédérée de Québec dans le financement et la gestion de la recherche du CÉROM.

335 Chemin des Vingt-cinq Est  
Saint-Bruno de Montarville (Québec)  
Canada J3V 4P6

Tél. : 450 653-4413  
Fax. : 450 441-5694

[www.cerom.qc.ca](http://www.cerom.qc.ca)