



**Analyse des résultats du réseau d'essais sur l'azote réalisés
dans le cadre du programme PAGES (2003-2005)**

**Parcelles de confirmation des besoins d'azote du maïs réalisées avec
les équipements de fermes sous divers précédents.**

Réalisé par

Roger Rivest, agr., MAPAQ, Montérégie-Est

Saint-Hyacinthe, mars 2006

Photo : C. Forget

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec 

Avant-propos

Le programme d'atténuation des gaz à effet de serre en milieu agricole et les réseaux d'essais de fertilisation

Au cours de l'année 2003, un vaste programme de sensibilisation et de démonstration à la ferme a été mis en place au Québec et dans les provinces canadiennes pour mettre en valeur les pratiques agricoles qui peuvent réduire l'émission des gaz à effet de serre (GES). Ce programme, financé par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), est géré au Québec par un comité composé de différents organismes impliqués en agroenvironnement, soit AAC, le Conseil de conservation des sols du Canada, le CDAQ, le MAPAQ, l'UPA et les Clubs-conseils en agroenvironnement. Ce programme d'une durée de trois ans (2003-2006) est géré et administré au Québec par le CDAQ.

Les projets du programme d'atténuation des gaz à effet de serre (PAGES) ont été regroupés selon deux axes d'intervention : les réseaux d'essais à la ferme et les activités de vulgarisation. Par le biais de ces activités, plusieurs pratiques agro-environnementales ont pu être mises de l'avant chez les producteurs.

Les pratiques permettant d'atténuer les émissions de GES visent une bonne gestion des sols (augmentation de la matière organique, amélioration de la structure) et une optimisation des fertilisants azotés (fumier, lisier, engrais). L'ajustement de la fertilisation azotée à la réalité de la parcelle est capitale afin d'éviter les doses excessives d'engrais et de fumiers qui peuvent entraîner des quantités importantes de nitrates dans le sol. Un des principaux GES, l'oxyde nitreux (N_2O), est produit dans le sol lors de la dénitrification des nitrates. Pour diminuer le N_2O dans les sols, il faut donc éviter l'accumulation des nitrates et assurer une bonne oxygénation des sols. La bonne gestion des fumiers, des lisiers et des engrais azotés (via l'ajustement des doses et des périodes d'épandage) ainsi que l'utilisation des engrais verts et l'amélioration du drainage des sols sont toutes des pratiques qui contribuent à réduire les émissions de N_2O .

C'est pour cette raison que le PAGES a mis l'accent sur des réseaux d'essais qui permettent de vérifier l'efficacité de la fertilisation azotée (engrais inorganique et organique) et de confirmer les besoins en azote des cultures selon différentes conditions.

Le réseau d'essais sur les doses et formes d'engrais azotés dans le maïs comportait deux volets, soit des parcelles scientifiques et des parcelles de grands champs réalisées avec les équipements des producteurs. **Le contenu de ce rapport porte uniquement sur les parcelles de grands champs.**

La mise en place de ce réseau a été possible grâce à l'importante collaboration des intervenants suivants :

Roger Rivest, agr. (MAPAQ-Montérégie): responsable du réseau

Agri-Conseils Maska : gestion et administration du réseau

Anne Vanasse, agr., Ph.D. : coordonnatrice au Québec du PAGES (2003-2004)

Carl Bérubé, agr. : coordonnateur au Québec du PAGES (2005)

Remerciements et mise en garde

Je tiens à remercier les nombreux producteurs qui ont été essentiels à la réalisation de ce réseau. C'est dans l'esprit de mieux comprendre ce qui se passe dans leurs champs et d'améliorer leurs techniques de production dans un contexte économique difficile qu'ils ont participé de bonne foi à ce réseau. Je remercie également les conseillers des divers clubs qui ont accepté d'ajouter cette collaboration à leurs tâches déjà nombreuses. C'est souvent dans cet esprit de collaboration et de confiance mutuelle entre les producteurs et les agronomes qui dispensent des services en fertilisation que les techniques dans ce domaine ont sans cesse évolué et se sont intégrées aux entreprises.

L'objectif initial de ce réseau consistait à mettre en place un réseau de parcelles dans le but de susciter une discussion entre le producteur et son conseiller sur la gestion de l'azote sur sa ferme. Le suivi d'un tel réseau ne pouvait que générer une masse d'information et ce rapport se veut une organisation ordonnée de cette information pour en tirer quelques conclusions.

Les résultats sont issus de parcelles sans répétition. Les doses d'azote n'ont pas été validées par une calibration. Les parcelles portaient principalement sur de l'azote en post-émergence et avaient majoritairement comme source d'azote la solution azotée 32-0-0, alors je laisse aux lecteurs qui n'ont pas participé au réseau le soin de recourir à leur jugement dans l'utilisation de ces informations.

Mon souhait est que l'information issue de la participation volontaire, et souvent bénévole, serve principalement à améliorer la gestion de l'azote dans la production du maïs-grain et les conditions économiques de la classe agricole. J'ose espérer naïvement que les bureaucrates de la fertilisation n'utiliseront pas cette source d'information ainsi obtenue pour justifier des lignes directrices ou une quelconque réglementation.

R.R.

Table des matières

1	Présentation du réseau	1
1.1	Description du réseau.....	1
1.2	Conseillers qui ont réalisé des parcelles de confirmation des besoins.....	2
1.3	Méthodologie	3
1.4	Analyse des résultats.....	4
1.4.1	Rendement relatif.....	4
1.4.2	Précédent.....	4
1.4.3	Calcul des fumiers.....	4
1.4.4	Présentation des résultats	5
1.5	La dose économique : comment s’y retrouver ?	6
2	Résultats.....	7
2.1	Précédent Céréale.....	7
2.1.1	Synthèse des trois années.....	8
2.2	Précédent Haricot.....	9
2.2.1	Synthèse des trois années.....	10
2.3	Retour de maïs	11
2.3.1	Précédent maïs (forte réponse).....	12
2.3.2	Précédent maïs (faible réponse).....	14
2.4	Précédent Pois.....	16
2.4.1	Synthèse des trois années.....	17
2.5	Précédent Prairie (Synthèse des trois années).....	18
2.6	Précédent soya	19
2.6.1	Synthèse des trois années.....	20
3	Suivis	21
3.1	Les nitrates du sol au printemps.....	21
3.2	Test de sol N-Prévisionnel	24
3.3	Azote total du sol	26
3.4	Azote dans les feuilles aux stades sorties des soies	27
3.5	Prélèvements	28
3.6	Nitrate dans les tiges	31
3.6.1	Comportement des parcelles	31
3.6.2	Analyse du risque avec les tests de tiges en fin de saison	33
3.6.3	Coloration des tiges.....	36
3.7	Les nitrates du sol à l’automne	37
	Conclusion	39

1 Présentation du réseau

1.1 Description du réseau

Ce réseau comportait deux volets :

- 1) Un volet comparaison de produits
- 2) Confirmation des besoins d'azote

Le volet comparaison de produits ne permet pas de tirer des conclusions bien évidentes. Les variations entre les produits sont souvent dans l'ordre de précision des outils utilisés pour évaluer les rendements. Considérant le nombre de sites et la consistance des résultats, ce volet ne sera pas traité dans ce rapport afin de ne pas susciter d'autres polémiques sur un sujet qui contient déjà assez de légendes rurales.

Le rapport porte sur les parcelles de confirmation des besoins.

Ce réseau de parcelles consistait à mettre en place des parcelles pour valider les recommandations des conseillers sur la fertilisation azotée du maïs.

Années	Parcelles de confirmation des besoins
2003	60 sites
2004	54 sites
2005	69 sites

Les parcelles ont été installées chez des producteurs avec les équipements que les producteurs utilisaient pour fertiliser leurs champs.

Les parcelles ont été réalisées principalement en Montérégie Est et Ouest par les conseillers des clubs agro-environnementaux. Beaucoup de parcelles ont été réalisées sur les mêmes fermes pour les trois années, mais pas nécessairement dans les mêmes champs.

1.2 Conseillers qui ont réalisé des parcelles de confirmation des besoins

Voici la liste des conseillers qui ont réalisé ces parcelles de confirmation des besoins, de 2003 à 2005.

Parcelle 2003		
Nom	Prénom	Organisme
Bonneville	Josée	Club-conseil Dura Club
Breton	Michelle	Club Consersol Vert Cher
Cantin	Jean	Mapaq St-Bruno
Carignan	Michel	Club agroenvironnemental La Vallière
Côté	Marie-Hélène	Agri Conseils Maska
Faucher	Catherine	Club Agro-Moisson Lac St-Louis
Forand	Guy	Club-conseil Les Patriotes
Forget	Christian	Agri Conseils Maska
Guilloux	Mikael	Mapaq
Hardy	Mélanie	Club Agroenvironnemental Agri Avenir
Lavoie	Isabelle	RAAC
Legault	Marie-Josée	Agri Conseils Maska
Mathieu	Stéphanie	Club Consersol Vert Cher
Rivest	Roger	MAPAQ St-Hyacinthe
Sévigny	Caroline	Club Sol-Art
Thibault	Eric	Club Techno-Champ 2000
Tourigny	Alexandre	UPA Mauricie
Vachon	Élisabeth	Club-conseil Dura Club

2004		
Nom	Prénom	Organisme
Bonneville	Josée	Club-conseil Dura Club
Coté	Marie Hélène	Agri Conseils Maska
Forand	Guy	Club-conseil Les Patriotes
Forget	Christian	Agri Conseils Maska
Gagnon	Myryam	Club-conseil Dura Club
Lavoie	Isabelle	RAAC
Leduc	Patricia	Agri Conseils Maska
Mathieu	Stéphanie	Club Consersol Vert Cher
Ménard	Patrick	Coop des Beaux Champs
Navarro	Jalinets	Groupe Lavi-eau-champ inc.
Rivest	Roger	MAPAQ
Royer	Pascal	Club agroenvironnemental La Vallière
Thibault	Eric	Club Techno-Champ 2000

2005		
Nom	Prénom	Organisme
Bérubé	Carl	Club Agri-action de la Montérégie inc
Chabot	Sophie	Club Sol-Art
Côté	Marie-Hélène	Agri Conseils Maska
Forand	Guy	Club-conseil Les Patriotes
Forget	Christian	Agri Conseils Maska
Gagnon	Myriam	Club-conseil Dura Club
Hardy	Mélanie	Club Agroenvironnemental Agri Avenir
Lavoie	Isabelle	RAAC
Leduc	Patricia	Agri Conseils Maska
Maheu	Loraine	Club Agro-Frontière
Ménard	Patrick	Coop des Beaux Champs
Royer	Pascal	Club LaVallière
Thibault	Eric	Club Techno-Champ 2000
Thomas	Valérie	Club conseil Agri-Durable

1.3 Méthodologie

- **Parcelles de confirmation des besoins d'azote du maïs en fonction du précédent cultural (avec ou sans engrais organique)**

Ces parcelles de confirmation des besoins consistaient à comparer 4 à 5 niveaux d'azote en parcelles de grands champs. Les superficies des parcelles devaient être d'au moins 2000 m². Les parcelles étaient mises en place avec les outils utilisés par les producteurs. Les niveaux d'azote proposés devaient varier **d'au moins 20 kg/ha de N**. Les rendements ont été évalués avec des balances de semenciers, un capteur de rendement ou avec des pèse-roues.

Traitement ¹	kg de N total/ha ²
T1	50 (démarreur)
T2	120
T3	160
T4	190
T5	220

¹ Un **témoin 0** (sans engrais minéraux) pouvait être ajouté aux traitements à condition qu'il soit récolté de la même façon que les autres traitements.

² Il fallait tenir compte de la contribution des **engrais organiques** appliqués : celle-ci a été calculée selon les normes reconnues. On pouvait également ajuster les diverses doses en fonction des précédents culturaux.

Les doses inscrites pour les traitements dans les parcelles sont celles retenues par le producteur et son conseiller. Elles n'ont pas fait l'objet de vérification par calibration.

Les traitements sont sans répétition.

1.4 Analyse des résultats

Une courbe établie le lien entre la fertilisation azotée et le rendement pour chaque site afin de vérifier la présence des effets de champs évidents. Les sites ainsi identifiés ont été retirés de l'analyse.

1.4.1 Rendement relatif

Les rendements de chaque traitement ont été convertis en rendement relatif en utilisant le rendement maximum de tous les sites.

Rendement du traitement/Rendement maximum

Kg de N/ha	Rendement Kg/ha	Rendement maximum	Rendement relatif
0	6171	10547	59 %
58	9482	10547	90 %
120	10462	10547	99 %
170	10547	10547	100 %
220	10478	10547	99 %

Le rendement relatif permet de voir la réponse à l'azote peu importe le niveau absolu de rendement. Lorsqu'on tire des relations entre la fertilisation azotée et le rendement absolu, le coefficient de détermination R^2 est très faible, mais si on fait le même lien avec le rendement relatif, il augmente énormément. Par exemple, pour le soya en 2005, le R^2 (kg de N vs Rendement) avec le rendement absolu est de 0,19 alors qu'avec le rendement relatif, il grimpe à 0,7.

1.4.2 Précédent

Les parcelles ont été regroupées par précédent de façon à établir le comportement du rendement en fonction des doses croissantes d'azote. Aucune valeur à priori n'a été accordée pour ce précédent. Exemple : 20 kg de N pour le retour de soya.

1.4.3 Calcul des fumiers

La contribution des divers fumiers a été calculée selon les méthodes reconnues, sauf pour le fumier de poulet. Ce dernier a été calculé avec la méthode qui tient compte de la disponibilité de l'azote ammoniacal et de l'azote organique (Guide de fertilisation du CRAAQ, p. 134-135).

1.4.4 Présentation des résultats

Pour chaque précédent, vous trouverez la proportion des parcelles qui recevaient du fumier .

	2003	2004
Avec fumier	1/4	3/4

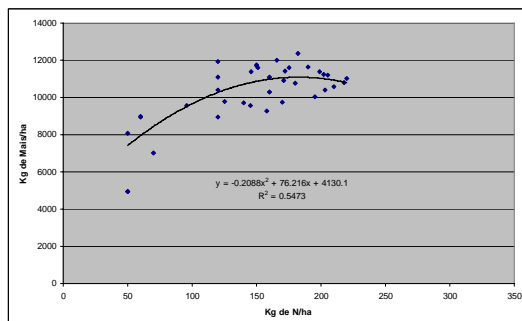
En 2003, 1 parcelle sur 4 avait reçu du fumier.

La moyenne des rendements maximums a été établie pour chaque précédent. Pour chacun d'eux, vous aurez la réponse à l'azote pour chacune des trois années et une analyse pour les trois années.

À partir des courbes obtenues, un tableau a été créé afin que vous puissiez établir la dose la plus économique.

1.5 La dose économique : comment s'y retrouver ?

1) D'abord établir le lien entre la fertilisation azotée et le rendement.

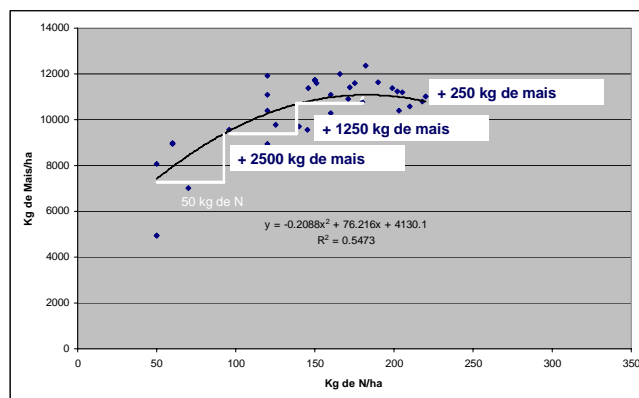


2) Comprendre que plus on ajoute de l'azote, moins les derniers kilos d'azote sont payants.

Urée à \$520/ton → \$1,10 de kg de N
 Maïs à \$100/ton → \$ 0,10 du kg de grain

Ratio azote/maïs = 11

- A) De 50 à 100 kg de N gain de 2500 kg/ha
- B) De 100 à 150 kg de N gain de 1250 kg/ha
- C) De 150 à 200 kg de N gain de 250 kg/ha



Analyse :

Ratio gain maïs/ajout de N	Gain maïs \$	Dépense de N \$	Marge \$
2500/50 = 50	250	55	195
1250/50 = 25	125	55	70
250/50 = 5	25	55	-30

Donc dépasser le ratio 11, il n'y a plus de gains économiques.

Pour tous les précédents vous trouverez un tableau qui vous permettra de situer le niveau économique en fonction du ratio du coût de l'azote sur le prix du maïs.

Exemple :

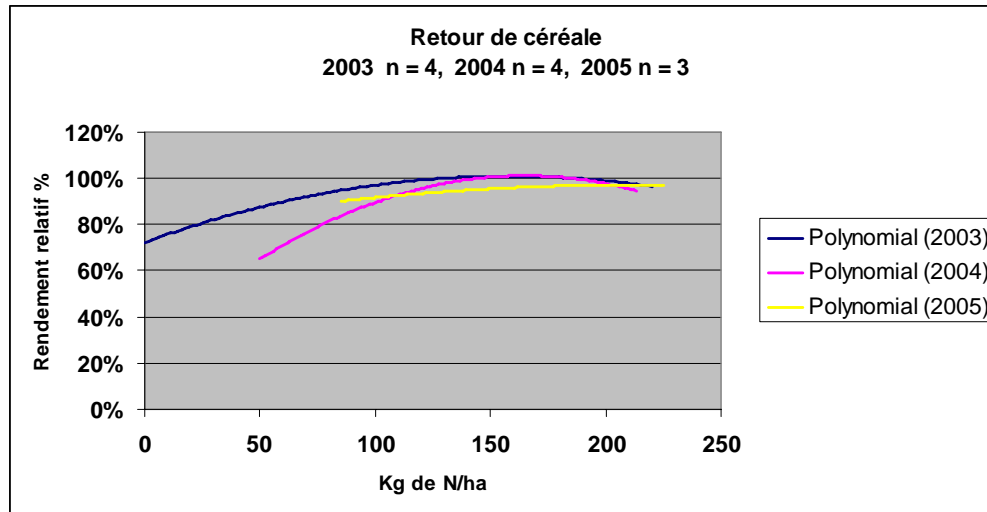
Azote à \$1,10 kg de N
 Maïs à \$0,11 kg de grain
 Ratio 10
 N optimum = 150 kg de N/Ha

Kg N/ha	Rendement relatif	Rendement kg/ha	Ratio
50	79%	8898	
60	81%	9206	31
70	84%	9490	28
80	86%	9750	26
90	88%	9988	24
100	90%	10202	21
110	92%	10393	19
120	93%	10560	17
130	95%	10704	14
140	96%	10825	12
150	97%	10923	10
160	97%	10997	7
170	98%	11048	5
180	98%	11076	3
190	98%	11080	0

2 Résultats

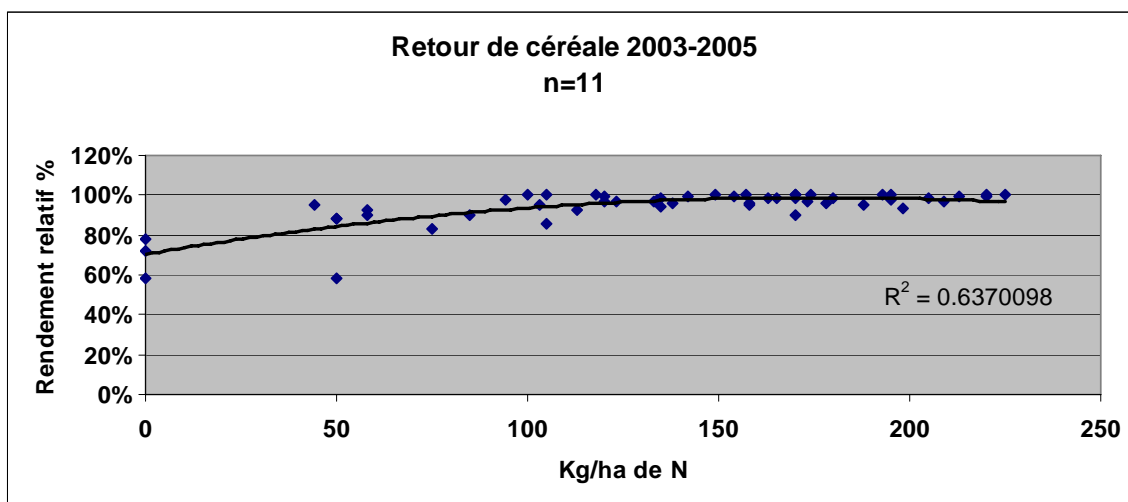
2.1 Précédent Céréale

	2003	2004	2005
Avec fumier	1/4	3/4	3/3



Céréale	2003			2004			2005		
Rendement maximum moyen	10800 kg/ha			11622 kg/ha			11018 kg/ha		
	4 sites			4 sites			3 sites		
	Rendement	Rendement	Ratio	Rendement	Rendement	Ratio	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha		relatif	kg/ha		relatif	kg/ha	
50	88%	9455	28	68%	7934		86%	9437	
60	90%	9710	26	74%	8557	62	87%	9587	15
70	92%	9941	23	79%	9124	57	88%	9728	14
80	94%	10147	21	83%	9634	51	89%	9859	13
90	96%	10328	18	87%	10088	45	91%	9981	12
100	97%	10485	16	90%	10484	40	92%	10092	11
110	98%	10616	13	93%	10824	34	93%	10195	10
120	99%	10724	11	96%	11106	28	93%	10287	9
130	100%	10806	8	98%	11332	23	94%	10369	8
140	101%	10864	6	99%	11501	17	95%	10442	7
150	101%	10897	3	100%	11614	11	95%	10506	6
160	101%	10905	1	100%	11669	6	96%	10559	5
170	101%	10889	-2	100%	11668	0	96%	10603	4
180	100%	10848	-4	100%	11610	-6	97%	10637	3
190	100%	10782	-7	99%	11495	-11	97%	10662	2

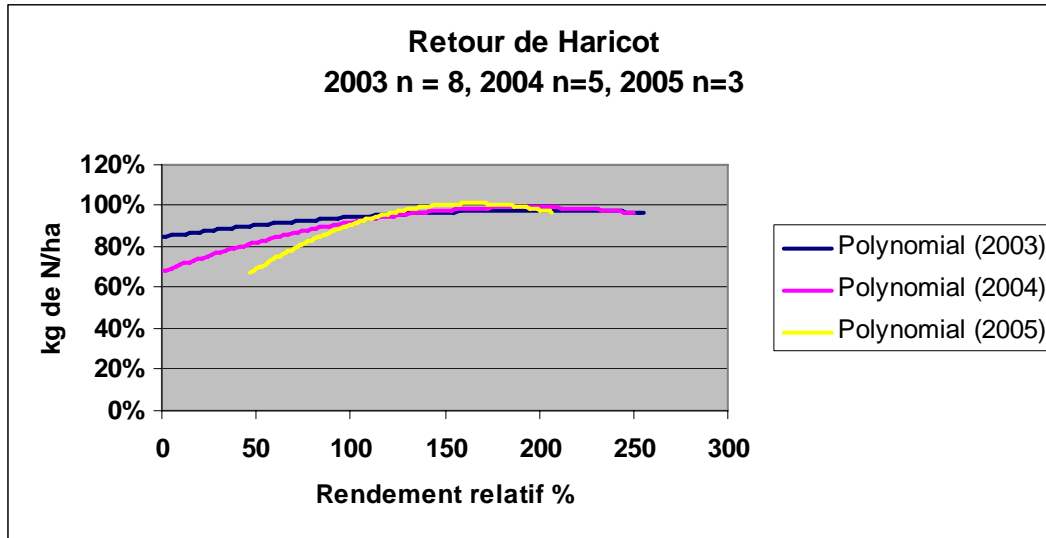
2.1.1 Synthèse des trois années



Céréale 2003-2005		11 sites	
Rendement maximum moyen			11151 kg/ha
	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha	
50	84%	9395	
60	86%	9642	25
70	89%	9869	23
80	90%	10075	21
90	92%	10261	19
100	94%	10426	17
110	95%	10571	14
120	96%	10695	12
130	97%	10799	10
140	98%	10882	8
150	98%	10945	6
160	99%	10987	4
170	99%	11008	2
180	99%	11010	0
190	99%	10990	-2

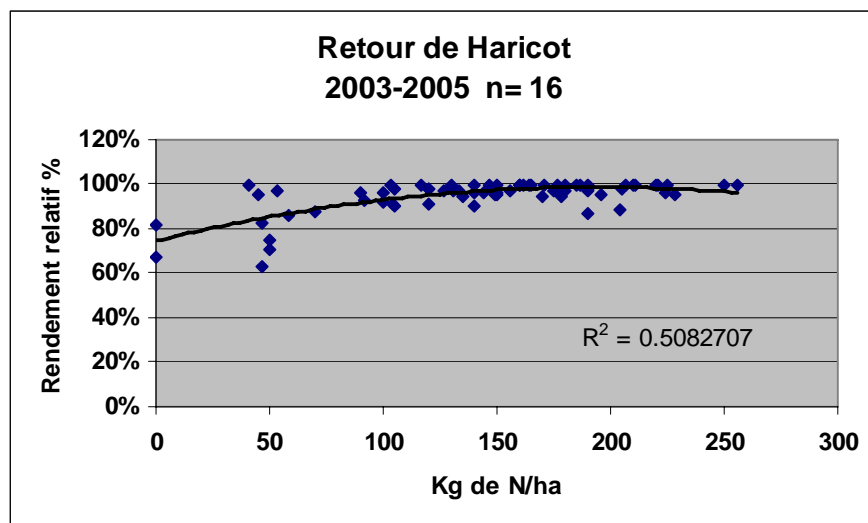
2.2 Précédent Haricot

	2003	2004	2005
Avec fumier	4/8	4/5	2/3



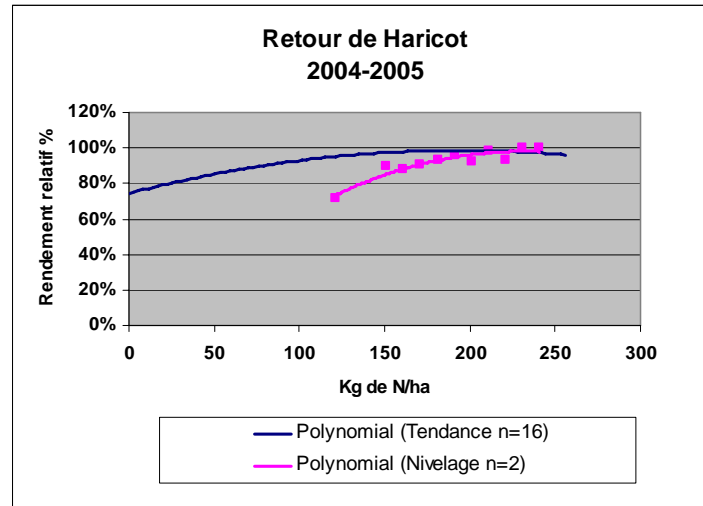
Haricot									
			2003			2004			2005
Rendement maximum moyen			11135 kg/ha			11897 kg/ha			11027 kg/ha
			8 sites			5 sites			3 sites
	Rendement	Rendement	Ratio	Rendement	Rendement	Ratio	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha		relatif	kg/ha		relatif	kg/ha	
50	90%	10064		82%	9756		69%	7593	
60	91%	10167	10	84%	10031	28	74%	8184	59
70	92%	10263	10	86%	10287	26	79%	8721	54
80	93%	10352	9	88%	10522	24	83%	9204	48
90	94%	10434	8	90%	10738	22	87%	9634	43
100	94%	10509	7	92%	10933	20	91%	10010	38
110	95%	10577	7	93%	11109	18	94%	10333	32
120	96%	10637	6	95%	11265	16	96%	10602	27
130	96%	10691	5	96%	11400	14	98%	10817	22
140	96%	10737	5	97%	11516	12	100%	10979	16
150	97%	10776	4	98%	11611	10	101%	11088	11
160	97%	10809	3	98%	11687	8	101%	11142	5
170	97%	10833	2	99%	11743	6	101%	11143	0
180	97%	10851	2	99%	11779	4	101%	11091	-5
190	98%	10862	1	99%	11794	2	100%	10985	-11

2.2.1 Synthèse des trois années



Haricot 2003-2005		16 sites	
Rendement maximum moyen		11486 kg/ha	
	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha	
50	85%	9792	
60	87%	9997	21
70	89%	10187	19
80	90%	10363	18
90	92%	10524	16
100	93%	10670	15
110	94%	10802	13
120	95%	10919	12
130	96%	11021	10
140	97%	11109	9
150	97%	11182	7
160	98%	11240	6
170	98%	11283	4
180	98%	11312	3
190	99%	11326	1

Beaucoup de producteurs profitent des cultures qui sont récoltées tôt pour faire du nivelage. On note un besoin d'azote supérieur l'année après le nivelage. Deux parcelles sur un retour de haricot avaient été nivelées : une en 2004 et l'autre en 2005. La courbe de réponse à l'azote de ces deux parcelles ne correspondait pas avec celle des autres retours d'haricot.



2.3 Retour de maïs

On a remarqué que les champs qui étaient sur un retour de maïs n'avaient pas des besoins semblables en azote. On se devait de séparer les précédents maïs en deux groupes.

Le premier groupe comprend les champs qui ont une forte réponse à la fertilisation azotée; ils représentent 57 % des parcelles. Les gains réalisés avec la fertilisation azotée en post-émergence sont en moyenne de 2600 kg/ha et nécessitent des doses plus fortes. Mis à part l'année 2004, ils n'atteignent pas les rendements de l'autre groupe même avec des doses plus élevées.

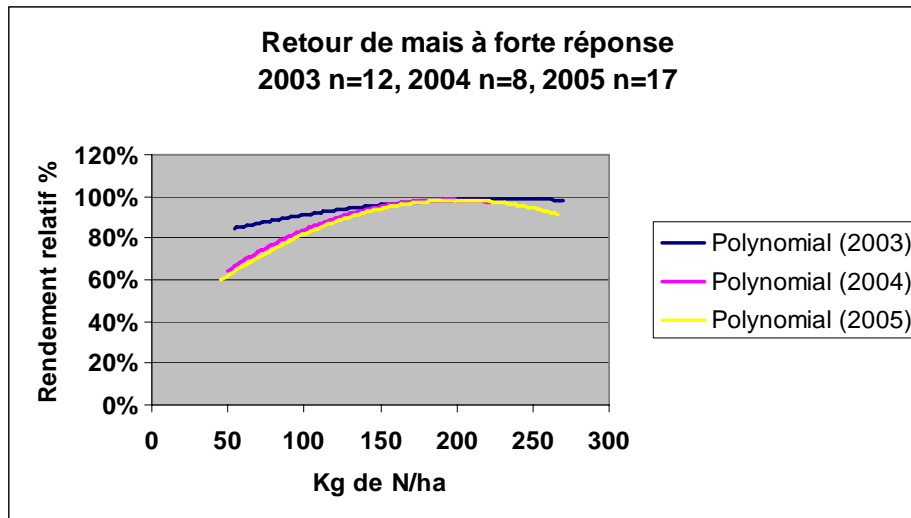
Le deuxième groupe représente des champs qui produisent plus de 10000 kg/ha avec seulement le démarreur. La fertilisation azotée permet un gain moyen de 1000 kg/ha de grain avec des fertilisations de 50 à 80 kg de N en post-émergence. On observe aucun gain sur ces sols avec les fortes fertilisations. Ils ont probablement une bonne capacité pour fournir de l'azote et les hybrides ont une bonne habileté à utiliser cette azote pour faire du grain. La moyenne des rendements maximums est de 1500 kg de plus que l'autre groupe.

Dans cette optique, le précédent maïs a été divisé en deux groupes : maïs à forte réponse et maïs à faible réponse.

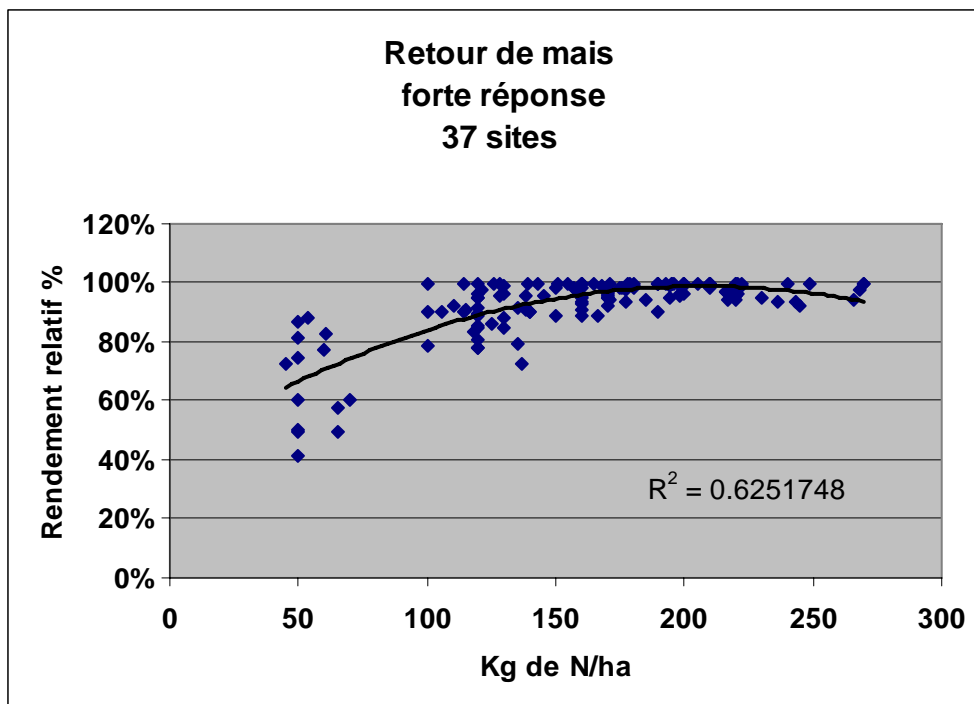
Les paramètres de sols mesurés n'ont pas permis de caractériser les deux groupes. Pour l'instant, seul le résultat d'un traitement sous-fertilisé permet de classer un champ.

2.3.1 Précédent maïs (forte réponse)

	2003	2004	2005
Avec fumier	6/12	2/8	4/17



Mais à forte réponse									
			2003			2004			2005
Rendement maximum moyen			10200 kg/ha			11200 kg/ha			9934 kg/ha
			12 sites			8 sites			17 sites
	Rendement	Rendement	Ratio	Rendement	Rendement	Ratio	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha		relatif	kg/ha		relatif	kg/ha	
50	85%	8628	18	66%	7430		62%	6163	
60	86%	8793	17	71%	7934	50	67%	6622	46
70	88%	8949	16	75%	8402	47	71%	7049	43
80	89%	9094	15	79%	8835	43	75%	7445	40
90	90%	9230	14	82%	9231	40	79%	7810	36
100	92%	9355	13	86%	9591	36	82%	8143	33
110	93%	9471	12	89%	9914	32	85%	8444	30
120	94%	9576	11	91%	10202	29	88%	8715	27
130	95%	9672	10	93%	10454	25	90%	8953	24
140	96%	9757	9	95%	10670	22	92%	9160	21
150	96%	9833	8	97%	10849	18	94%	9336	18
160	97%	9898	7	98%	10993	14	95%	9481	14
170	98%	9954	6	99%	11101	11	97%	9593	11
180	98%	9999	5	100%	11172	7	97%	9675	8
190	98%	10035	4	100%	11207	4	98%	9725	5

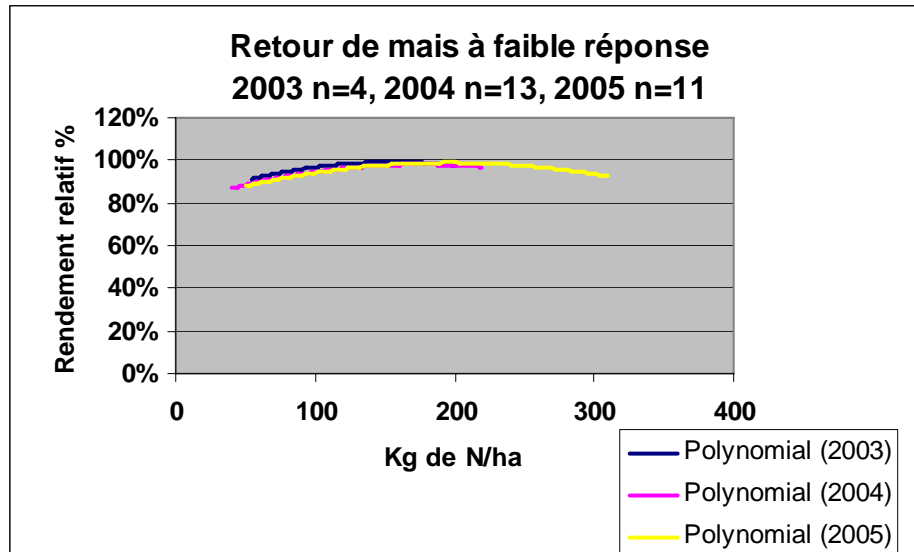


- Synthèse des trois années

Mais à forte réponse 2003-2005			37 sites
Rendement maximum moyen			10266 kg/ha
	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha	
50	67%	6836	
60	71%	7253	42
70	74%	7641	39
80	78%	8002	36
90	81%	8334	33
100	84%	8638	30
110	87%	8914	28
120	89%	9162	25
130	91%	9381	22
140	93%	9573	19
150	95%	9736	16
160	96%	9872	14
170	97%	9979	11
180	98%	10058	8
190	98%	10109	5

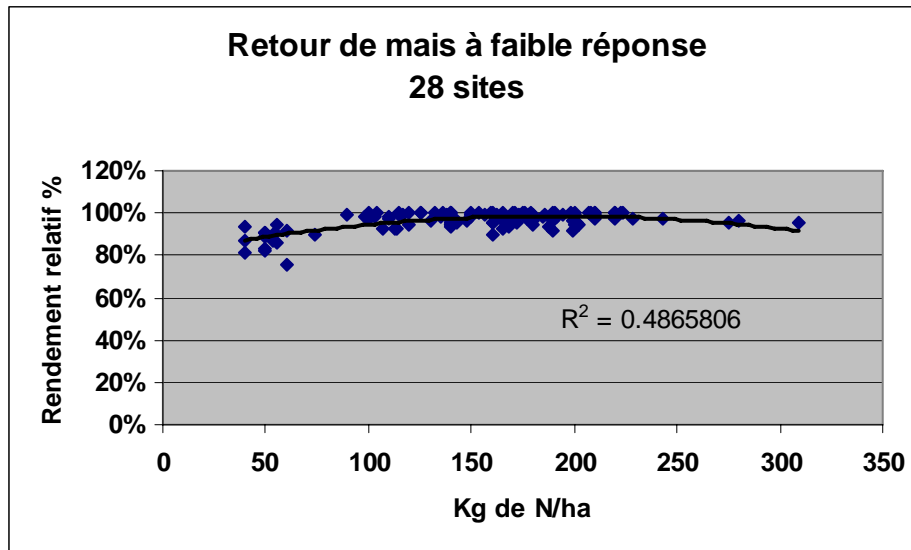
2.3.2 Précédent maïs (faible réponse)

	2003	2004	2005
Avec fumier	1/4	0/13	4/11



Mais		2003			2004			2005		
Rendement maximum moyen		11400 kg/ha			11400 kg/ha			12453 kg/ha		
		5 sites			13 sites			11 sites		
Kg N/ha	Rendement relatif	Rendement kg/ha	Ratio	Rendement relatif	Rendement kg/ha	Ratio	Rendement relatif	Rendement kg/ha	Ratio	
50	90%	10276	14	91%	10329		88%	10966	19	
60	91%	10410	13	92%	10496	17	90%	11146	18	
70	92%	10535	12	93%	10648	15	91%	11314	17	
80	93%	10650	12	95%	10788	14	92%	11470	16	
90	94%	10756	11	96%	10913	13	93%	11613	14	
100	95%	10853	10	97%	11025	11	94%	11743	13	
110	96%	10940	9	98%	11123	10	95%	11861	12	
120	97%	11018	8	98%	11208	8	96%	11967	11	
130	97%	11087	7	99%	11278	7	97%	12060	9	
140	98%	11147	6	99%	11335	6	97%	12141	8	
150	98%	11197	5	100%	11379	4	98%	12209	7	
160	99%	11239	4	100%	11409	3	98%	12265	6	
170	99%	11270	3	100%	11425	2	99%	12308	4	
180	99%	11293	2	100%	11427	0	99%	12339	3	
190	99%	11307	1	100%	11416	-1	99%	12357	2	

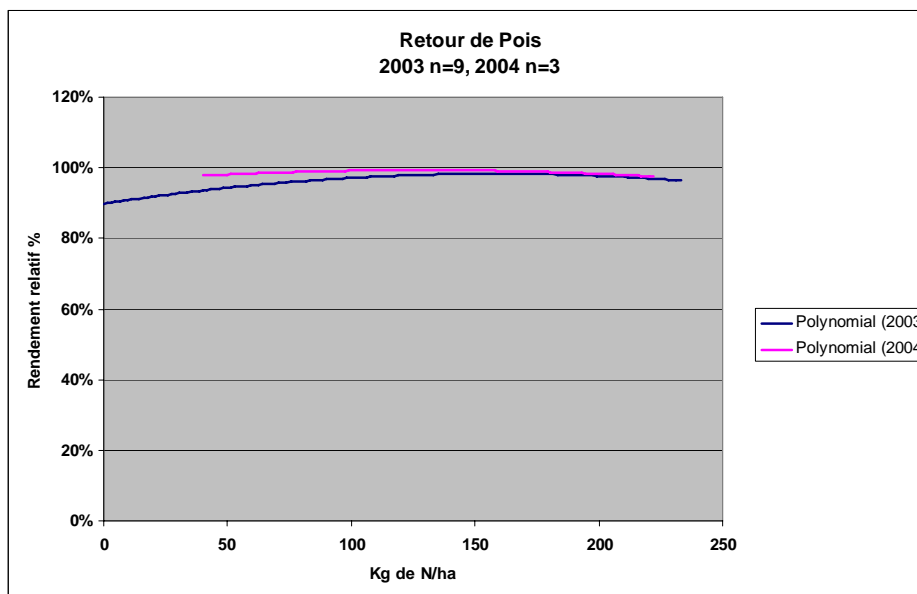
- Synthèse des trois années



Mais à faible réponse 2003-2005			28 sites
Rendement maximum moyen			11799 kg/ha
	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha	
50	89%	10466	
60	90%	10624	16
70	91%	10770	15
80	92%	10905	13
90	93%	11027	12
100	94%	11138	11
110	95%	11237	10
120	96%	11325	9
130	97%	11400	8
140	97%	11464	6
150	98%	11516	5
160	98%	11556	4
170	98%	11584	3
180	98%	11601	2
190	98%	11605	0

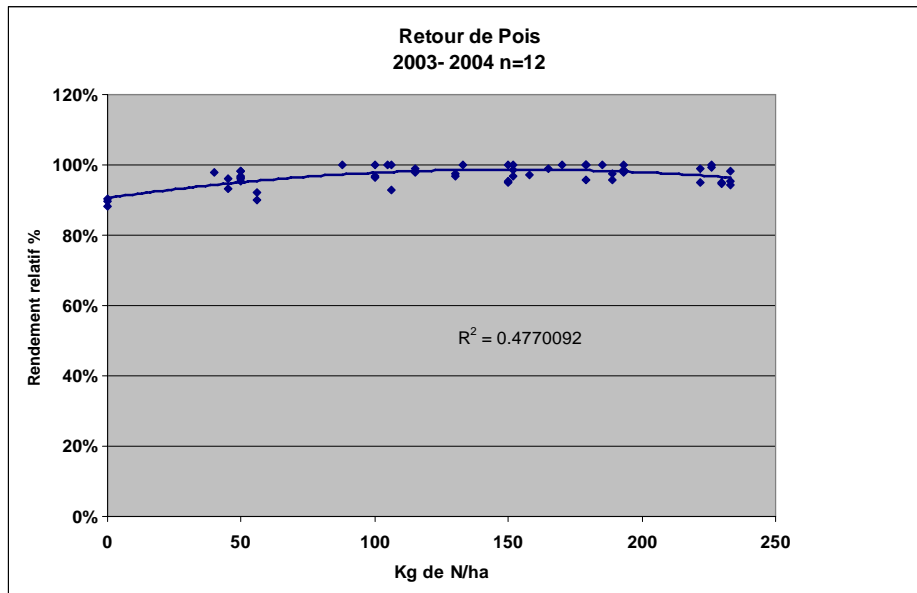
2.4 Précédent Pois

	2003	2004
Avec fumier	5/9	0/3



Pois						
			2003			2004
Rendement maximum moyen			11500 kg/ha			11852 kg/ha
			9 sites			3 sites
	Rendement	Rendement	Ratio	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha		relatif	kg/ha	
50	94%	10849		98%	11621	
60	95%	10928	8	98%	11658	4
70	96%	11001	7	99%	11690	3
80	96%	11065	6	99%	11717	3
90	97%	11122	6	99%	11739	2
100	97%	11171	5	99%	11757	2
110	97%	11212	4	99%	11770	1
120	98%	11246	3	99%	11779	1
130	98%	11272	3	99%	11782	0
140	98%	11290	2	99%	11781	0
150	98%	11300	1	99%	11775	-1
160	98%	11303	0	99%	11764	-1
170	98%	11298	0	99%	11749	-2
180	98%	11286	-1	99%	11729	-2

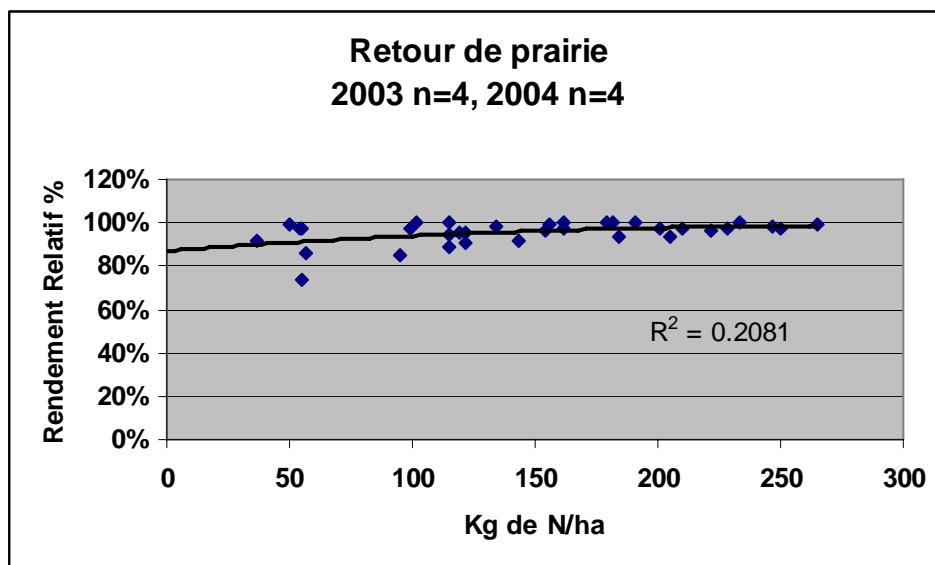
2.4.1 Synthèse des trois années



Pois 2003-2004		12 sites	
Rendement maximum moyen			11548 kg/ha
Kg N/ha	Rendement relatif	Rendement kg/ha	Ratio
50	95%	10973	
60	96%	11051	8
70	96%	11121	7
80	97%	11183	6
90	97%	11237	5
100	98%	11282	5
110	98%	11320	4
120	98%	11349	3
130	98%	11371	2
140	99%	11384	1
150	99%	11389	1
160	99%	11386	0
170	99%	11375	-1
180	98%	11356	-2
190	98%	11329	-3

2.5 Précédent Prairie (Synthèse des trois années)

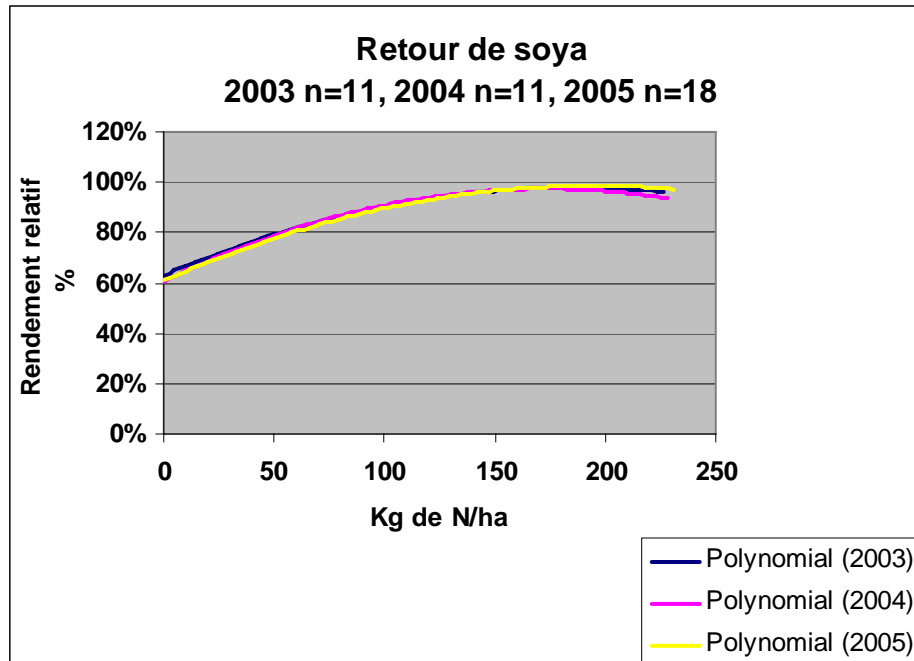
	2003	2004
Avec fumier	1/4	2/4



Prairie 2003-2004		8 sites	
Rendement maximum moyen		11961 kg/ha	
	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha	
50	91%	10875	
60	92%	10955	8
70	92%	11031	8
80	93%	11104	7
90	93%	11173	7
100	94%	11237	6
110	94%	11298	6
120	95%	11356	6
130	95%	11409	5
140	96%	11458	5
150	96%	11504	5
160	97%	11546	4
170	97%	11584	4
180	97%	11618	3
190	97%	11649	3

2.6 Précédent soya

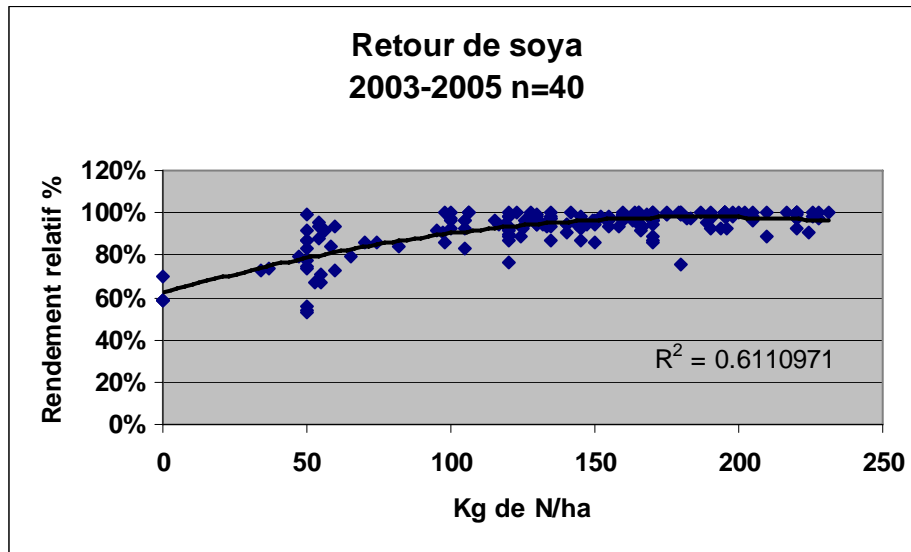
	2003	2004	2005
Avec fumier	2/11	0/11	4/18



La forme de la courbe de réponse à l'azote du soya est assez constante.

Soya			2003	2004	2005				
Rendement maximum moyen			10500 kg/ha	11100 kg/ha	11886 kg/ha				
			11 sites	11 sites	18 sites				
Kg N/ha	Rendement relatif	Rendement kg/ha	Ratio	Rendement relatif	Rendement kg/ha	Ratio	Rendement relatif	Rendement kg/ha	Ratio
50	80%	8433		81%	9013		78%	9239	
60	83%	8689	26	84%	9335	32	81%	9570	33
70	85%	8926	24	87%	9629	29	83%	9877	31
80	87%	9143	22	89%	9897	27	85%	10161	28
90	89%	9341	20	91%	10136	24	88%	10421	26
100	91%	9519	18	93%	10349	21	90%	10658	24
110	92%	9678	16	95%	10535	19	91%	10871	21
120	94%	9818	14	96%	10693	16	93%	11061	19
130	95%	9939	12	98%	10823	13	94%	11227	17
140	96%	10040	10	98%	10927	10	96%	11370	14
150	96%	10122	8	99%	11003	8	97%	11489	12
160	97%	10184	6	100%	11051	5	97%	11585	10
170	97%	10227	4	100%	11073	2	98%	11657	7
180	98%	10251	2	100%	11067	-1	98%	11705	5

2.6.1 Synthèse des trois années



Soya 2003-2005		40 sites	
Rendement maximum moyen			11309 kg/ha
	Rendement	Rendement	Ratio
Kg N/ha	relatif	kg/ha	
50	79%	8898	
60	81%	9206	31
70	84%	9490	28
80	86%	9750	26
90	88%	9988	24
100	90%	10202	21
110	92%	10393	19
120	93%	10560	17
130	95%	10704	14
140	96%	10825	12
150	97%	10923	10
160	97%	10997	7
170	98%	11048	5
180	98%	11076	3
190	98%	11080	0

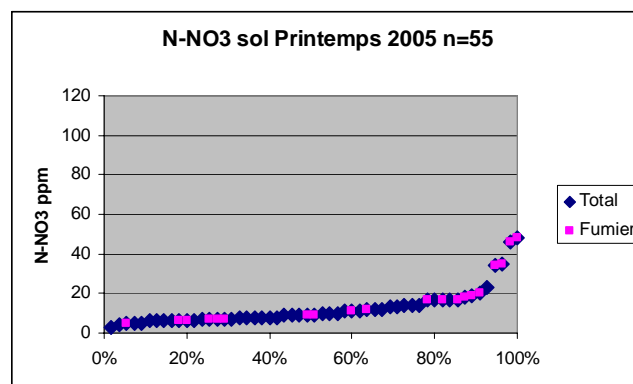
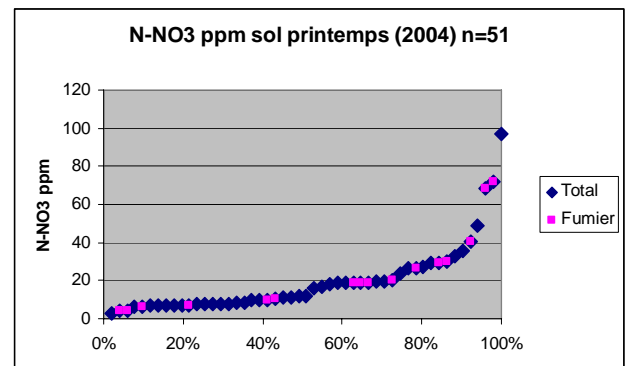
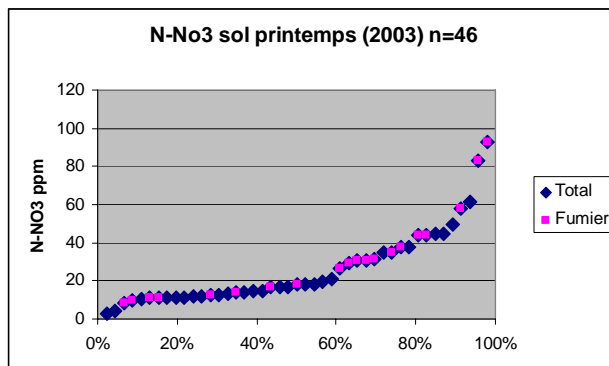
3 Suivis

3.1 Les nitrates du sol au printemps

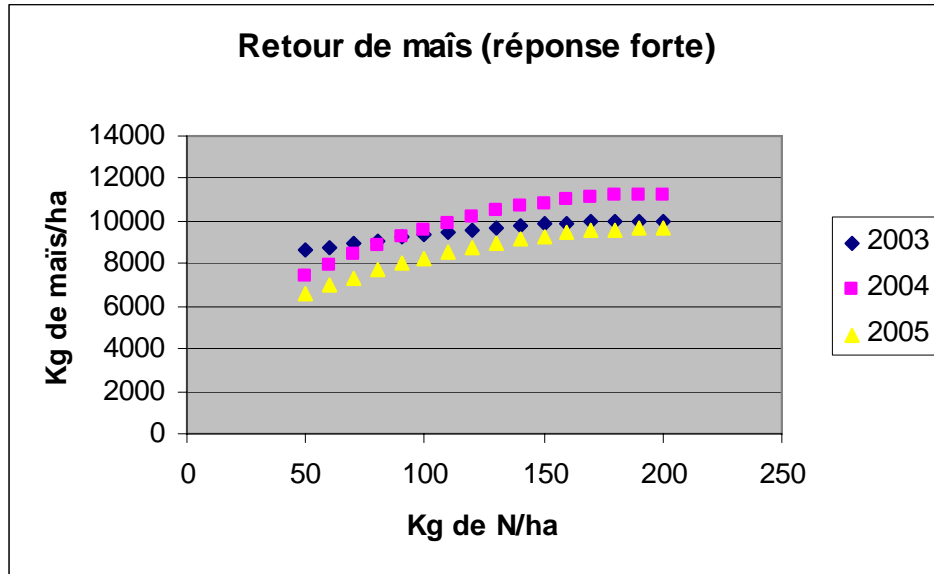
Les nitrates sont mesurés sur une profondeur de 30 cm avant l'application de l'azote en post-émergence. Les parcelles qui ont été retenues dans les statistiques sont celles qui n'ont pas reçu d'azote sous forme d'engrais minéral azoté en pré-semis. En 2003, 45 % des parcelles avaient une application de fumier, alors que pendant les années 2004 et 2005, seulement 31 et 36 % respectivement des parcelles avaient reçu du fumier calculé pour la saison de culture.

N-NO3	2003 n = 46	2004 n = 51	2005 n = 55
Moins de 10 ppm	7 %	37 %	51 %
Entre 11 et 25 ppm	54 %	39 %	44 %
Plus de 25 ppm	39 %	24 %	5 %

Bien que l'on trouve des champs ayant reçu du fumier dans toutes les classes de niveau de nitrate, la classe de plus de 25 ppm est composée majoritairement de champs ayant reçu du fumier (voir les graphiques des distributions).



Si on regarde les courbes de rendement sur un retour de maïs qui ont la plus forte réponse, on remarque qu'en 2003 les parcelles qui avaient reçu uniquement le démarreur comme source de fertilisation ont produit en moyenne des rendements plus hauts que les autres années. Cela confirme la présence d'azote disponible provenant du sol assez tôt en 2003 et est confirmé par les tests de nitrate.



En comparant les unités thermiques maïs (UTM) des mois d'avril, mai et juin et les précipitations pour la période du 1^{er} avril au 10 juillet, on peut expliquer en partie ce phénomène.

Tableau des UTM

Années	Avril	Mai	Juin
2003	110	412	644
2004	118	454	595
2005	136	318	743

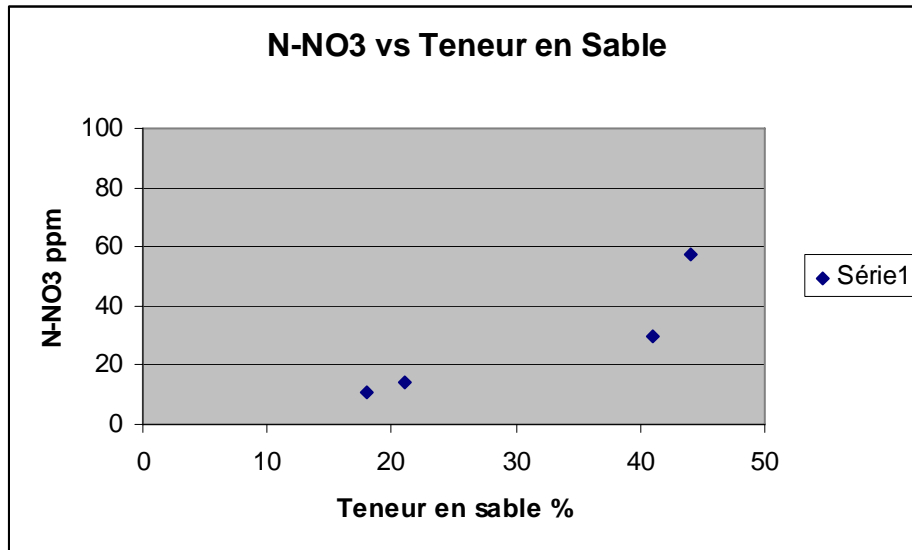
Tableau des précipitations en mm de pluie

Années	Avril	Mai	Juin	1 au 10 juillet
2003	83	94	56	11
2004	80	78	73	81
2005	137	73	103	74

Les UTM plus faibles en mai et les précipitations plus fortes en juin avant la période d'échantillonnage expliquent en partie l'absence de nitrate dans les sols en 2005.

Pour confirmer ce que plusieurs ont observé, ce sont en général des sols plus légers qui ont les niveaux plus élevés de nitrates au printemps.

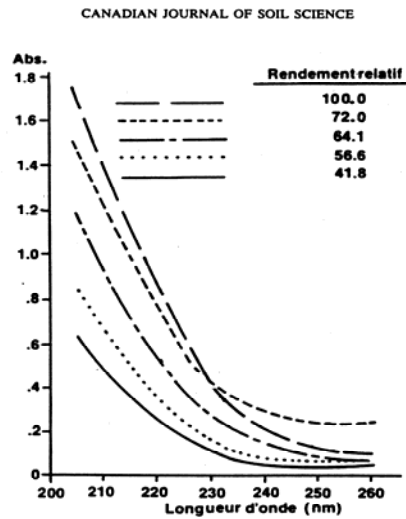
Par exemple, en 2003, quatre champs avec du fumier de bovin laitier appliqué à l'automne (apport calculé d'environ 50 kg de N/ha), ont donné ceci: les sols qui ont plus de sable, pour une fertilisation semblable à l'automne, ont plus de nitrates au printemps.



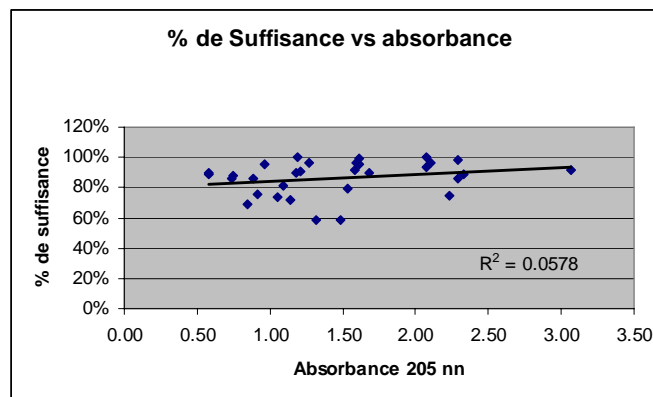
En général, les faibles valeurs sont dues à un échantillonnage trop tôt ou à des conditions climatiques non favorables. Souvent ces faibles résultats de nitrates au printemps ne se traduisent pas par de fortes réponses à des applications croissantes de l'azote.

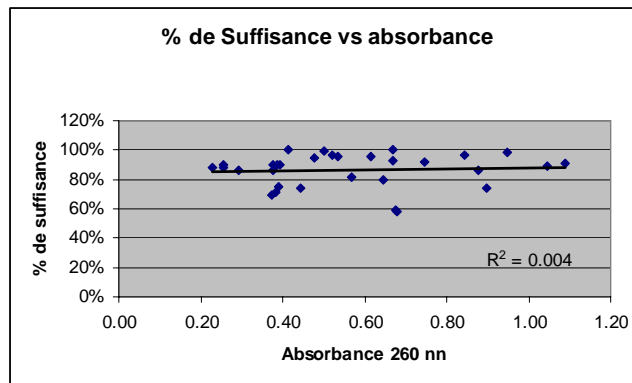
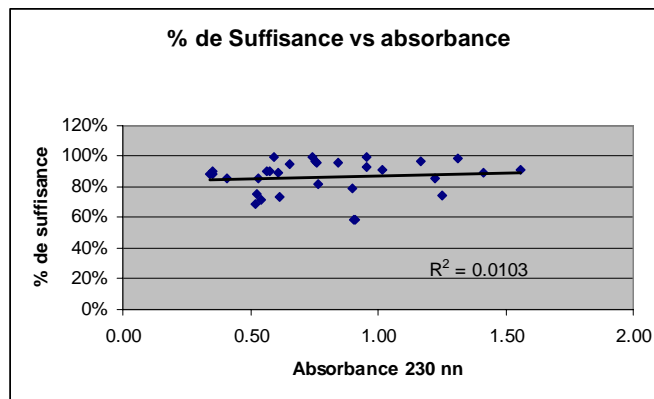
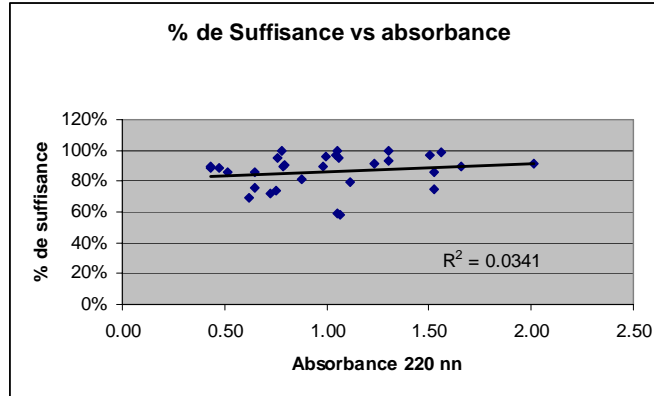
3.2 Test de sol N-Prévisionnel

Nous avons utilisé un test prévisionnel pour prédire les besoins en azote basé sur les travaux de M. Giroux (Irda) .



En mettant en relation le rendement relatif obtenu avec le démarreur (50 kg de N) et ce test, impliquant l'absorbance à divers longueur d'onde, on a voulu savoir si ce test pouvait classer les sites en fonction de leur suffisance. On a trouvé aucun lien entre ce test et la capacité du sol à fournir assez d'azote pour obtenir le rendement maximum.

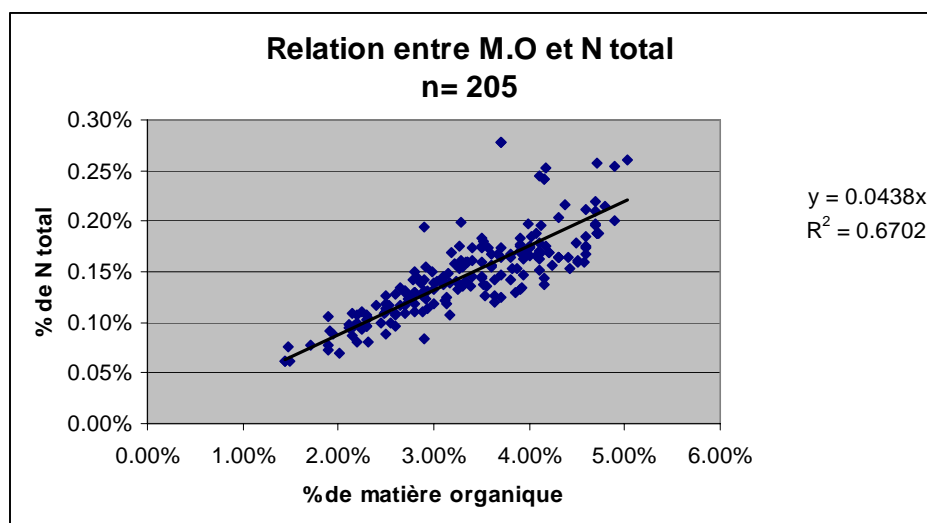




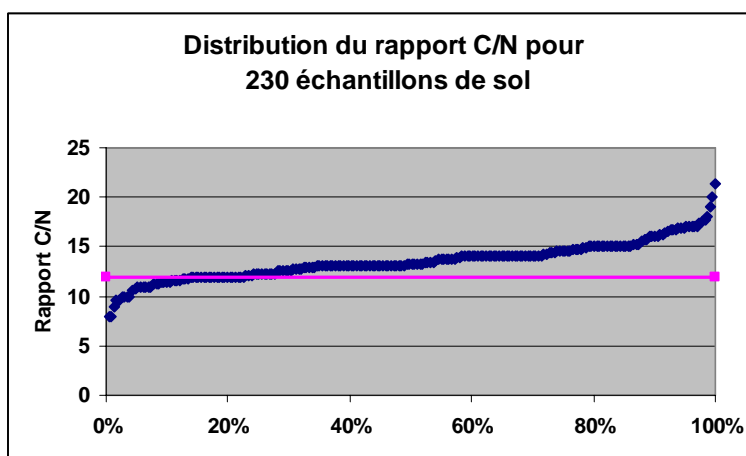
Nous avons éliminé ce test des suivis pour 2004 et 2005.

3.3 Azote total du sol

Pour les sols dont la matière organique est comprise entre 1,4 et 5 %, nous obtenons la relation suivante entre le taux de M.O. et le % de N total :



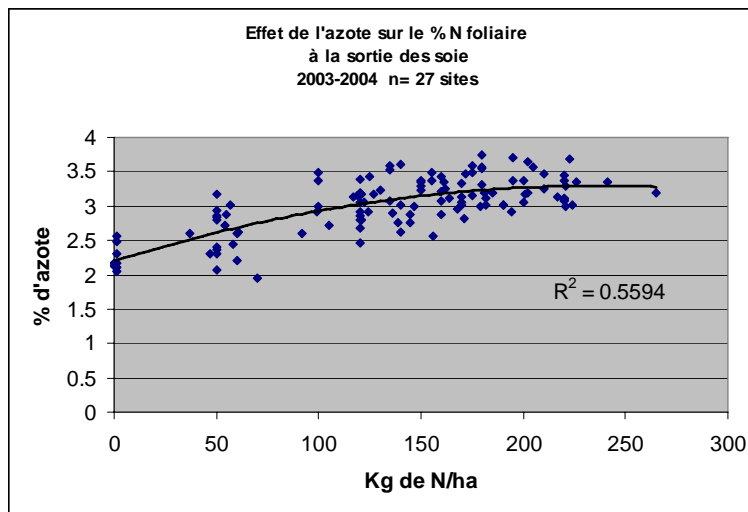
Pour tous les sites du réseau 2003, 2004 et une partie de 2005 : pour les 205 sites qui ont moins de 5 % de matière organique, la matière organique contient environ 4,38 % d'azote.



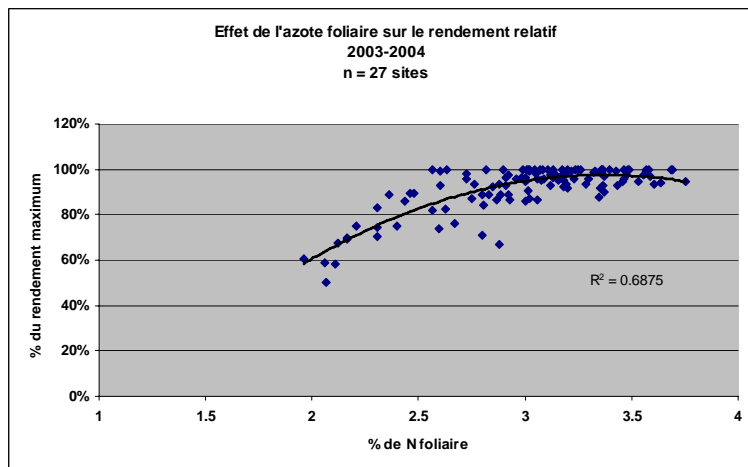
Le rapport C/N pour un sol normal est entre 10 et 12. On remarque que 70 % des sites ont des C/N plus grands que 12. Si on compare les sols des sites « précédent maïs » avec une forte réponse et ceux avec une faible réponse, la moyenne des rapports C/N est différente. Les sites qui ont des plus grands besoins d'azote ont des C/N plus hauts, mais cette différence n'est pas significative statistiquement.

3.4 Azote dans les feuilles aux stades sorties des soies

En 2003 et 2004, 24 % des sites ont eu moins de 2,5 % de N dans la feuille de l'épis avec aucune fertilisation azotée. Cette norme indique que les traitements sans azote étaient en manque d'azote. Les autres parcelles, même pour les faibles fertilisations azotées, avaient des teneurs supérieures à 3 %. Pour les sites qui présentaient de faibles niveaux d'azote dans les traitements faiblement fertilisés, on remarque une augmentation rapide de l'azote dans les feuilles avec les premiers 150 kg/ha de N. Pour des doses plus fortes, l'augmentation atteint un plafond.



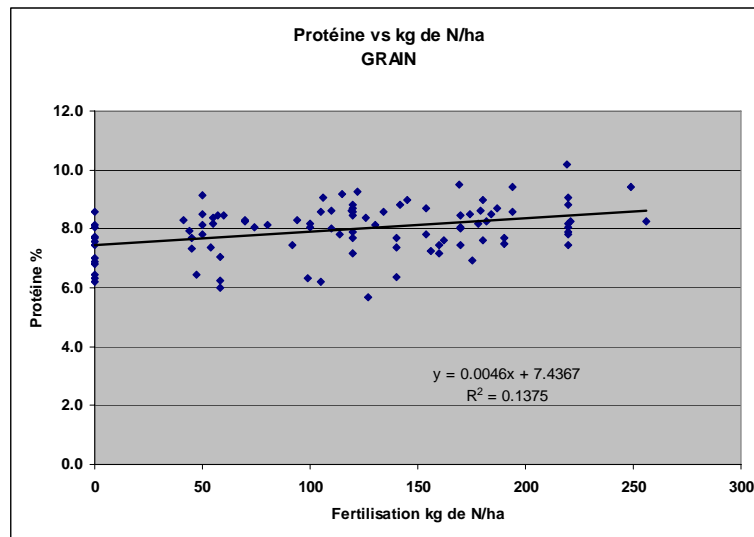
Pour les mêmes parcelles, le rendement maximum est obtenu lorsque l'analyse foliaire du traitement à la sortie des soies se situe autour de 3 % d'azote.



3.5 Prélèvements

En 2003, nous avons voulu mesurer l'azote contenu dans le grain et dans les tiges au moment de la récolte. Nous avons récolté des échantillons sur 25 sites.

La teneur en protéines du grain a été mesurée avec la méthode Kejdahl. Elle semble inférieure aux analyses mesurées par la méthode de l'infrarouge. Le contenu en protéines semble augmenter faiblement avec l'augmentation de la dose d'azote. Mais pour nos résultats le contenu reste autour de 8 % de protéines.



Pour l'année 2003, la moyenne des analyses des protéines du maïs-grain faites au PATLQ pour 2003 est de 10 %.

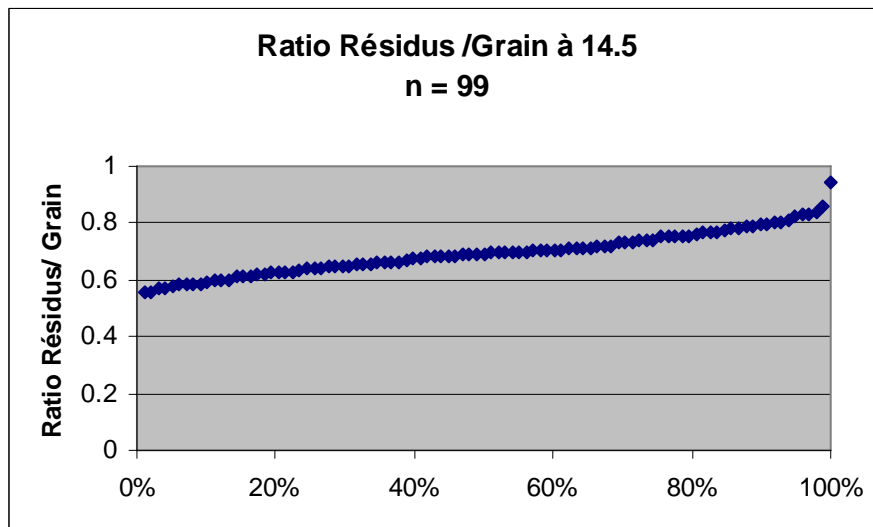
De nos résultats, on peut déduire le tableau suivant :

kg de N/ha	% de protéines dans le grain
0	7.3
54	7.8
120	8.0
173	8.1
216	8.4

Cet écart a des conséquences sur les prélèvements en azote, puisque une teneur de 10 % de protéines indique un prélèvement de 16 kg de N/ton sur une base sèche et, selon nos analyses, avec 8,4 % de protéines le prélèvement est de 13,4 kg de N/ton, soit environ 3 kg de N sous la norme du CRAAQ.

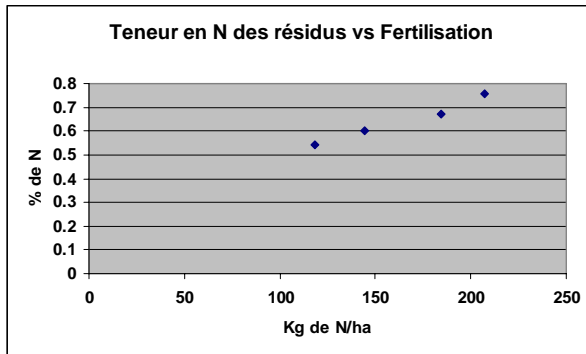
- **Impact de l'azote sur les résidus**

Le ratio **résidus/rendement de maïs** est peu influencé par la fertilisation azotée; il est de 0,69 en moyenne, et ce, peu importe le niveau de fertilisation azotée. Les variations sont associées aux hybrides. Le tableau suivant indique la répartition de ce ratio.

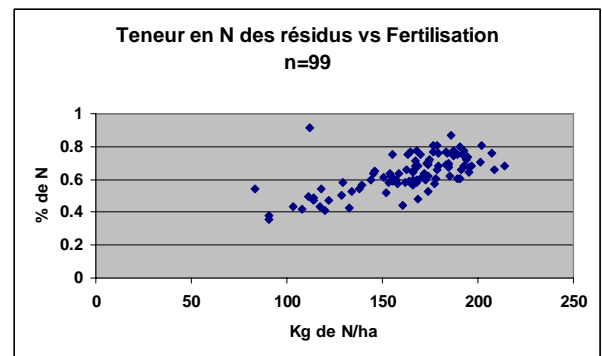


Les teneurs en azote de la tige varient en fonction de la fertilisation azotée.

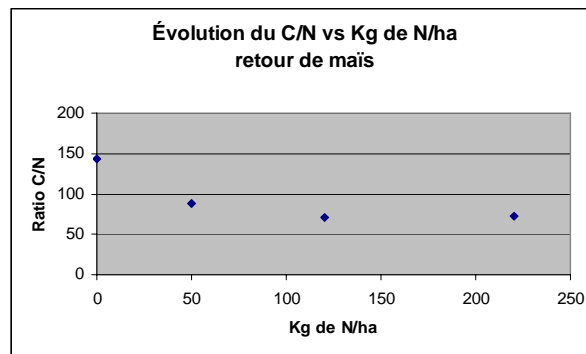
Pour une parcelle



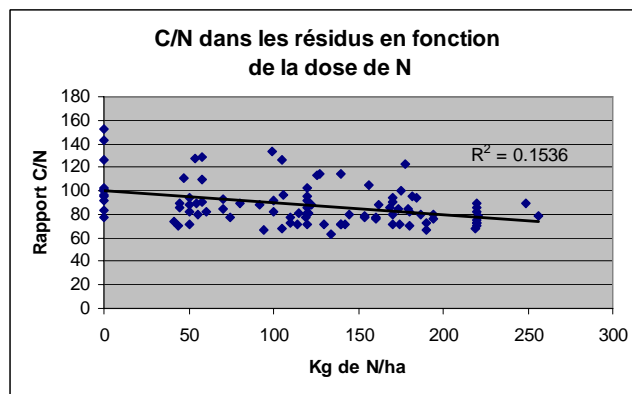
Pour l'ensemble des données



Cette variation affecte le rapport C/N des résidus de maïs. Pour une parcelle, le rapport C/N des résidus baisse en fonction de l'azote appliqué dans un premier temps et se stabilise par la suite.



Pour tous les précédents confondus, le rapport C/N se situe autour de 100 pour les témoins sans fertilisation et baisse jusqu'à 80 avec de fortes fertilisations azotées. Les variations pour chaque niveau d'azote sont dues principalement à l'effet du précédent.



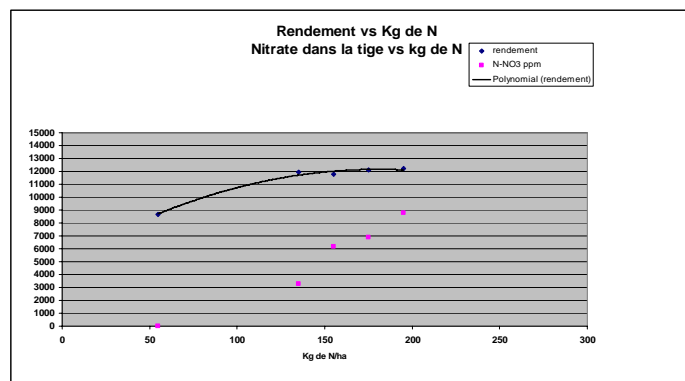
3.6 Nitrate dans les tiges

3.6.1 Comportement des parcelles

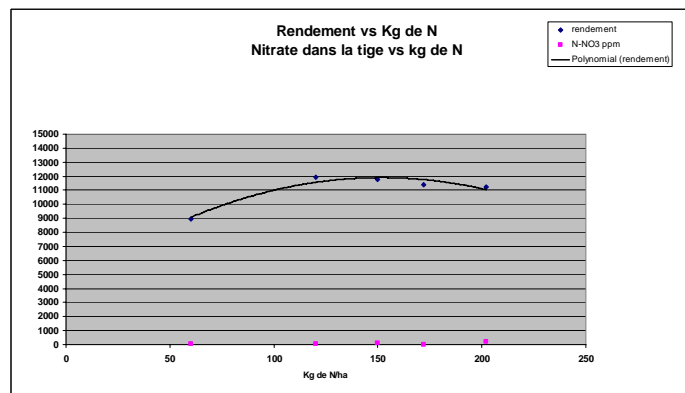
Le maïs accumule les surplus d'azote dans sa tige et les utilise au fur et à mesure qu'il en a besoin. À maturité, un surplus de nitrate dans la tige indique que le maïs a absorbé plus d'azote que ses besoins. C'est pourquoi l'analyse des nitrates dans les tiges est devenue un indice de sous ou de sur-fertilisation. Des études américaines durant les années 90 ont démontré que l'analyse des nitrates en fin de saison dans la section de la tige comprise entre 15 et 35 cm était un bon indicateur de l'état de la fertilisation azotée.

Lorsque l'azote est disponible sans contrainte, pour une parcelle donnée, les nitrates dans la tige ont les comportements suivants :

- 1) Lorsque le rendement augmente avec la dose d'azote, la teneur en nitrates dans la tige en fin de saison est faible;
- 2) Lorsque le rendement cesse de croître avec l'augmentation de la dose d'azote, la teneur en nitrates dans la tige augmente alors proportionnellement avec la dose d'azote.



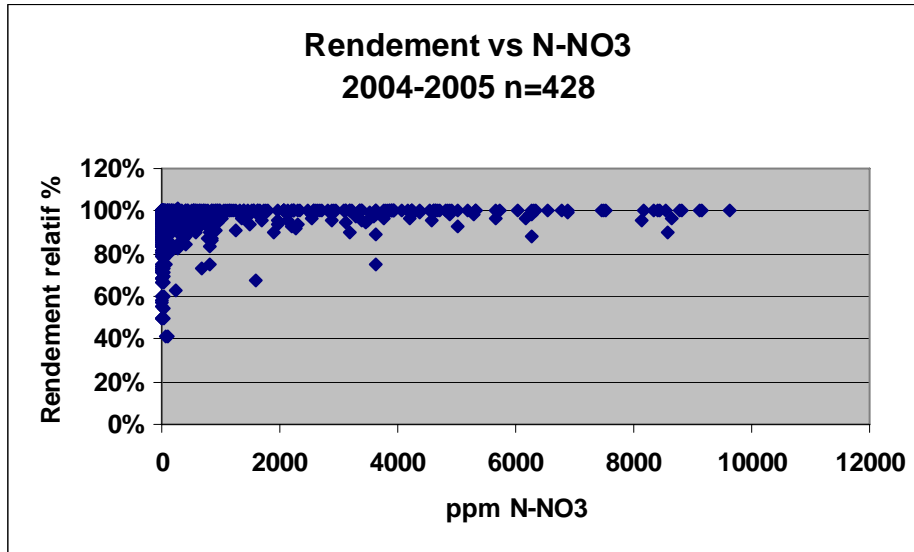
Il arrive que, pour une raison quelconque, la parcelle ait un autre comportement. La parcelle se comporte comme si le maïs n'avait jamais rencontré l'azote en dépit d'un rendement stable.



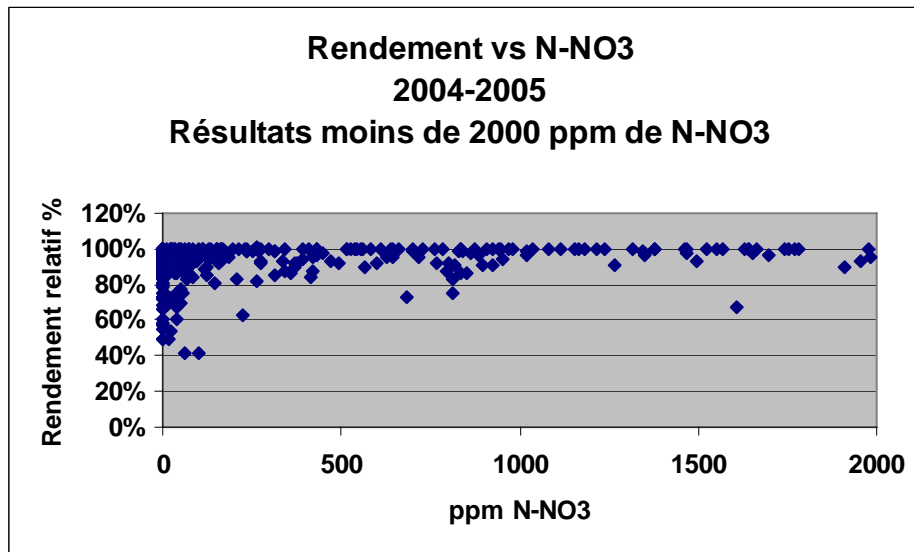
Les recherches américaines donnent les normes suivantes :

Faible niveau dans les tiges	Moins de 700 ppm de N-NO ₃
Normal	Entre 700 et 2000 ppm de N-NO ₃
Excessif	Plus de 2000 ppm de N-NO ₃

En regardant l'ensemble des traitements, on constate que les normes américaines peuvent être utilisées en Montérégie.



Si on focalise sur les données de moins de 2000 ppm de N-NO₃, on peut constater que la norme de 700 ppm de N-NO₃ semble également intéressante.



Comportement de 124 sites qui ont été suivis en 2004 et 2005

1	Comportement normal : n = 71 (57%)	Excessive : n = 38 (30%)
		Normal : n = 33 (27%)
2	Comportement erratique : n = 23 (18%)	
3	Faible contenu en N-NO ₃ : n = 30 (25%)	Comportement questionnable : n = 12 (10 %)
		Normal : n = 18 (15%)

Constats :

- 1) Le comportement de la parcelle correspond à la théorie. Dans ce groupe il y avait des sites où tous les traitements étaient supérieurs à 2000 ppm de N-NO₃.
- 2) Sur ces sites, les résultats des nitrates dans les tiges ne correspondent pas aux traitements. Des traitements plus faibles ont des niveaux de nitrates plus hauts que les traitements plus élevés.
- 3) Sur ces sites, on ne trouve pas de nitrate dans les tiges. Dans certains sites, le rendement maximum a été atteint avec des doses faibles et les doses supérieures ne montraient aucune augmentation de nitrates dans les tiges, malgré des rendements plus faibles (comportement questionnable). Pour ce qui est du comportement plus normal de ce groupe, c'est que le plus haut rendement correspond à la plus forte fertilisation, ce qui laisse croire que dans ces cas, l'azote a pu être limitant.

3.6.2 Analyse du risque avec les tests de tiges en fin de saison

Les études sur ce diagnostic indiquent que le test est plus performant pour confirmer les excès que pour mesurer les manques.

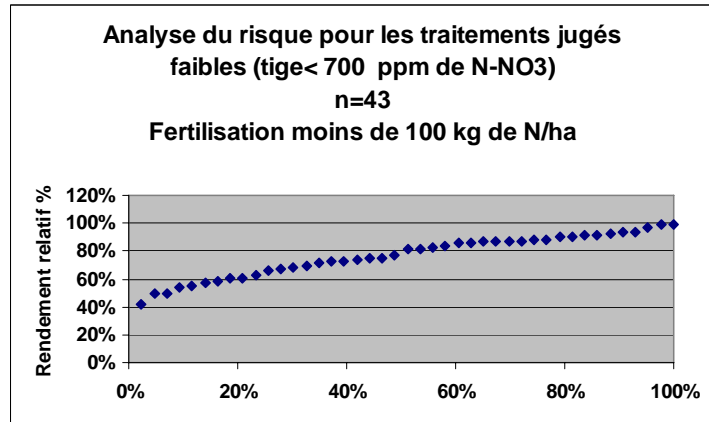
On a regroupé les traitements par niveau, soit les traitements de moins de 700 ppm, ceux entre 700 et 2000 et ceux de plus de 2000 ppm. On a également regardé les niveaux de fertilisation pour produire une analyse du risque de se tromper en tirant des conclusions sur les résultats de nitrate dans les tiges en fin de saison.

- **Les parcelles de moins de 700 ppm de N-NO3**

- **Pour les traitements recevant moins de 100 kg/ha de N**

On constate que pour 93 % des traitements, on trouve au moins un traitement sur le même site qui a eu un rendement supérieur avec une fertilisation azotée plus élevée.

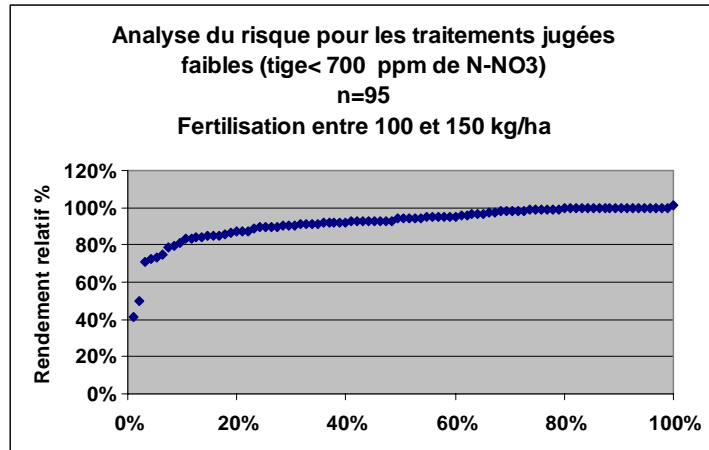
Donc, il y avait avantage à mettre plus d'azote dans 93 % des cas.



- **Pour les traitements entre 100 et 150 kg de N**

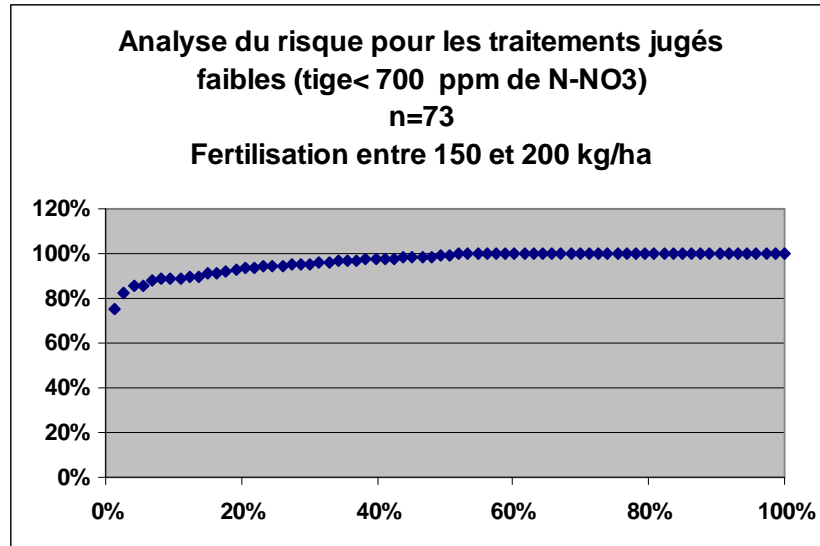
Le nombre tombe à 68 % des traitements; on trouve donc au moins un traitement sur le même site qui a eu un rendement supérieur avec une fertilisation azotée plus élevée.

Ainsi, 32 % des traitements ont déjà atteint le rendement maximum tout en indiquant dans les tiges un symptôme de manque.



– **Pour les traitements entre 150 et 200 kg de N**

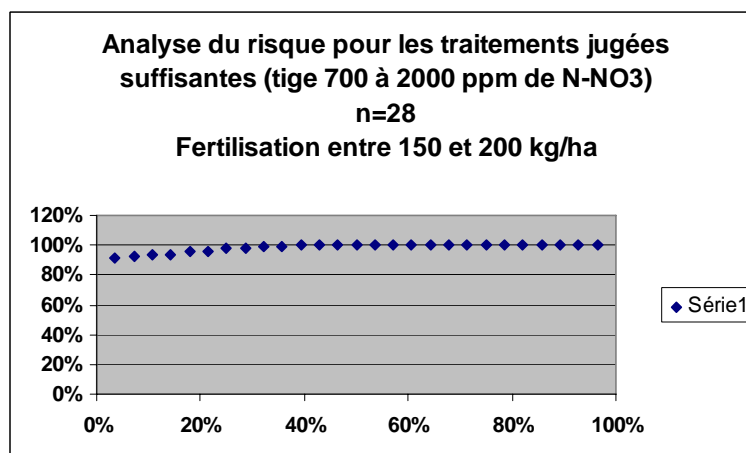
Pour cette strate, on trouve au moins un traitement sur le même site qui a eu un rendement supérieur avec une fertilisation azotée plus élevée dans seulement 40 % des cas.



Lorsque la fertilisation est faible et que l'azote dans les tiges est faible, on peut affirmer que le traitement a manqué d'azote. Par contre, lorsque la fertilisation se situe entre 150 et 200 kg/ha de N, et si on conclut que l'azote est limitant, cette conclusion n'est valable que dans 40 % des cas.

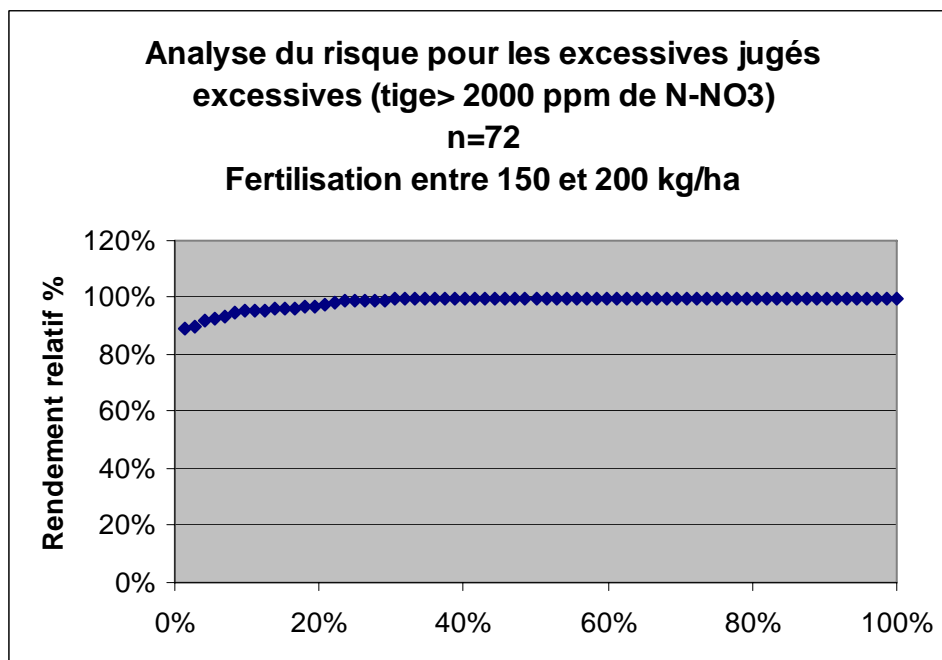
- **Les parcelles entre 700 et 2000 ppm de N-NO₃**

Pour ce groupe, 75 % des traitements ont atteint leur rendement maximum, alors que 25 % ne l'ont pas atteint, malgré un niveau de NO₃ suffisant dans les tiges.



- **Les parcelles de plus de 2000 ppm de N-NO3**

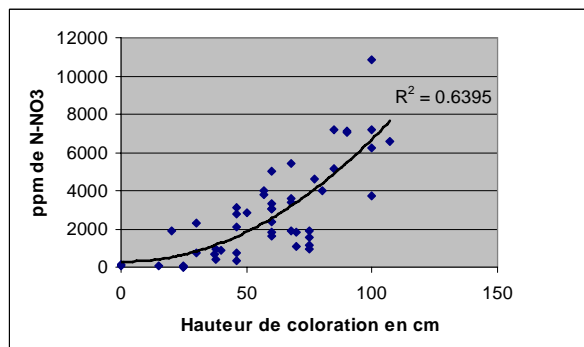
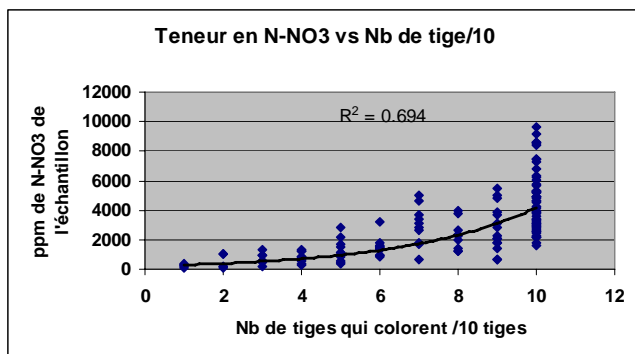
Même pour ces traitements dont la fertilisation est jugée excessive par le test de tige, pour 22 % des traitements, on trouve au moins un traitement sur le même site qui a eu un rendement supérieur avec une fertilisation azotée plus élevée.



L'échantillonnage consistait à prendre 10 tiges au hasard dans chaque traitement. Il se peut que pour les sites qui ont eu un comportement erratique, un échantillonnage ciblé visant à prendre des tiges davantage représentatives au lieu d'un échantillonnage au hasard aurait possiblement donné des résultats plus constants.

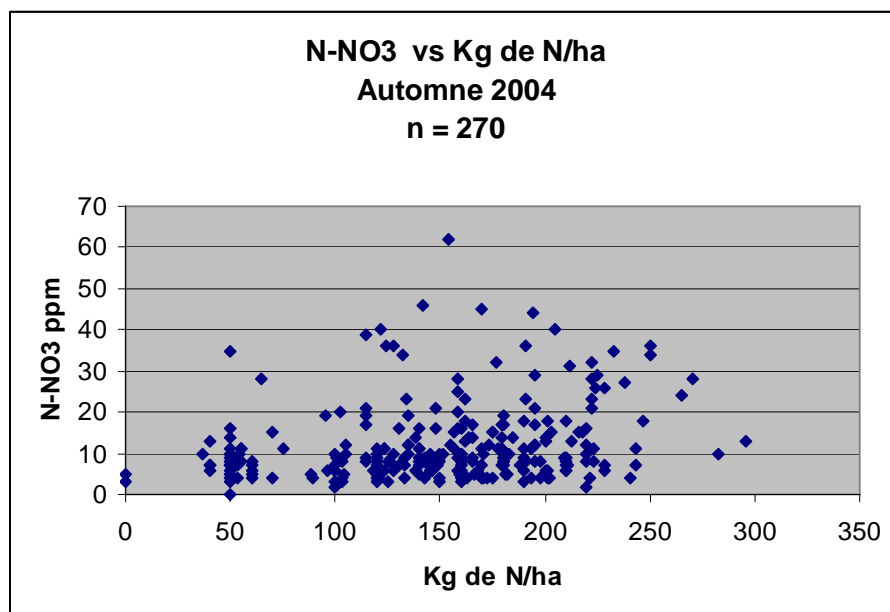
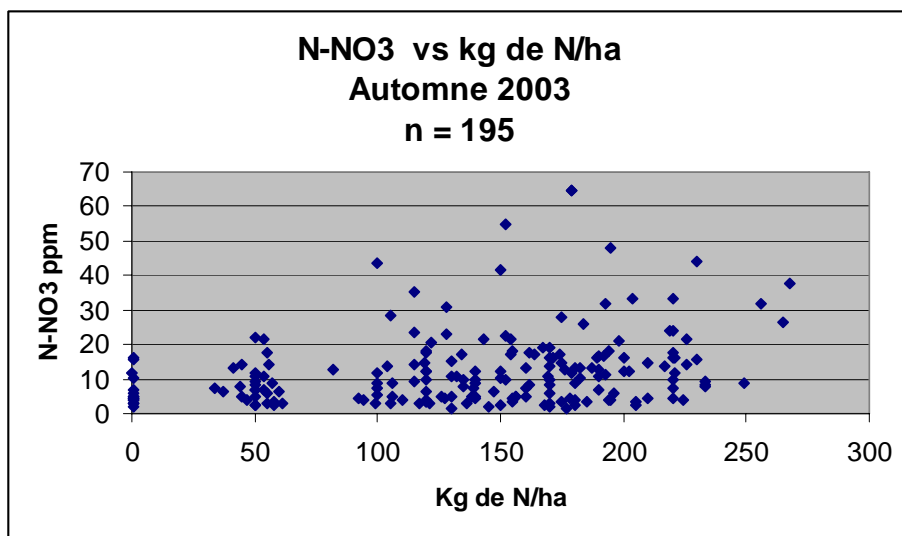
3.6.3 Coloration des tiges

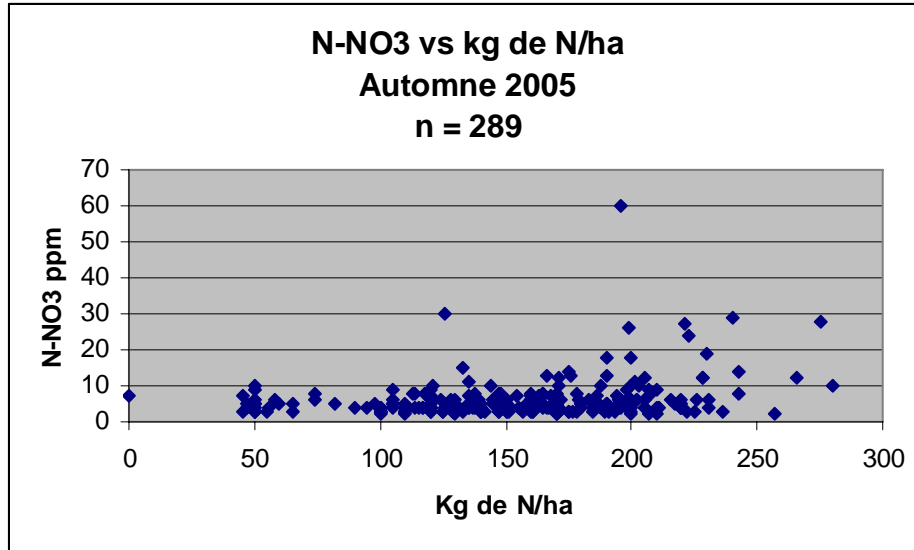
Il existe un lien entre le nombre de tiges qui colorent et la concentration analysée au laboratoire. Un lien existe également entre la hauteur de coloration et le résultat du laboratoire. Ainsi, vous pouvez évaluer la concentration à partir de la hauteur de coloration par rapport au sol.



3.7 Les nitrates du sol à l'automne

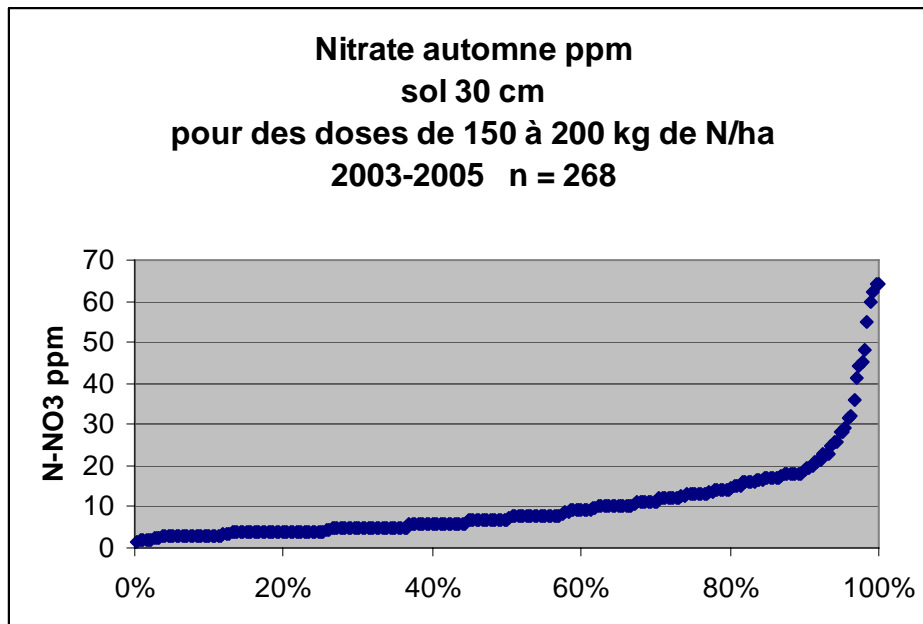
Pour mesurer l'impact des fortes doses sur l'azote résiduel sous forme de nitrate dans le sol avant la récolte, les échantillons ont été prélevés sur une profondeur de 0-30 cm.





La saison 2005 se caractérise par de forts rendements et aussi par des pluies abondantes, ce qui doit expliquer les faibles niveaux de nitrates dans les sols en fin de saison.

Pour les années 2003 à 2005, j'ai extrait les parcelles qui recevaient une fertilisation azotée entre 150 et 200 kg de N/ha, ce qui correspond à la plage de fertilisation utilisée dans le maïs-grain. Environ 66 % des parcelles avaient des teneurs en N-NO3 de 10 ppm et moins.



Conclusion

- 1) Les champs qui produisent de hauts rendements n'ont pas besoin de plus d'azote pour obtenir ces rendements. Il s'agit d'une combinaison de sol en bon état avec un hybride ayant un bon potentiel. Sur les retours de maïs, 28 sites ont été capable de produire 11799 kg de maïs/ha avec un niveau d'azote économique de 110 kg de N, alors que le reste des parcelles sur un retour de maïs ont produit 1500 kg de maïs de moins avec un niveau optimal de 170 kg de N/ha.
- 2) Les tests de nitrate dans les tiges en fin de saison sont utiles pour mesurer les surplus, mais sont moins valables pour confirmer un manque.
- 3) Les parcelles sous-fertilisées sont utiles pour confirmer le potentiel du sol à fournir l'azote. Les parcelles qui ont obtenu des rendements de plus de 10000 kg/ha de maïs avec seulement le démarreur se sont révélées des parcelles qui n'avaient pas besoin de beaucoup d'azote pour produire le rendement maximum.
- 4) Les tests utilisés pour caractériser le sol n'ont pas permis de classer les sites avec une forte réponse de ceux avec une faible.
- 5) De façon général, il ne reste pas beaucoup de nitrate dans la couche 0-30 cm à l'automne au moment de la récolte.