

comifer



11<sup>èmes</sup>

RENCONTRES

de la fertilisation raisonnée et de l'analyse



11<sup>èmes</sup> Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse – 20 et 21 novembre 2013

# Comparaison de l'urée et de l'ammonitrate en essais de longue durée , synthèse de 10 ans d'expérimentation

LAMBERT<sup>(1)</sup> M. ; HERVE<sup>(2)</sup> M. ; EVEILLARD<sup>(3)</sup> P. ; BOUTHIER<sup>(4)</sup> A. ;  
CHAMPOLIVIER<sup>(5)</sup> L. ; MARQUIS<sup>(6)</sup> S. ; ROCCA<sup>(7)</sup> C. ; ROUSSEL<sup>(8)</sup> D.

<sup>1</sup>YARA , <sup>2</sup>EUROCHEM Agro, <sup>3</sup>UNIFA, <sup>4</sup>ARVALIS-Institut du Végétal,  
<sup>5</sup>CETIOM, <sup>6</sup>BOREALIS-LAT, <sup>7</sup>IN VIVO, <sup>8</sup>OCI Agro





11<sup>èmes</sup> Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse – 20 et 21 novembre 2013

# **Comparaison de l'urée et de l'ammonitrate en essais de longue durée , synthèse de 10 ans d'expérimentation**

Contexte

Présentation des essais

Résultats

Conclusion

# Contexte

- Gagner sur l'efficacité de l'azote apporté : produire au moins autant avec moins d'azote
- Caractériser les efficacités des principaux engrais du marché

## • Résultats acquis:

- Yara et Arvalis (1994-1995) Efficacité comparée de la solution azotée et de l'ammonitrate sur blé
- Sylvester et al., 2012, reprise des 2 études (Lloyd et al., 1997 ; Dampney et al., 2006) sur céréales d'hiver : efficacité urée = 0.9 \* efficacité ammonitrate
- BASF au début des années 2000 : effet forme d'azote utilisée les années précédentes. (non publié)

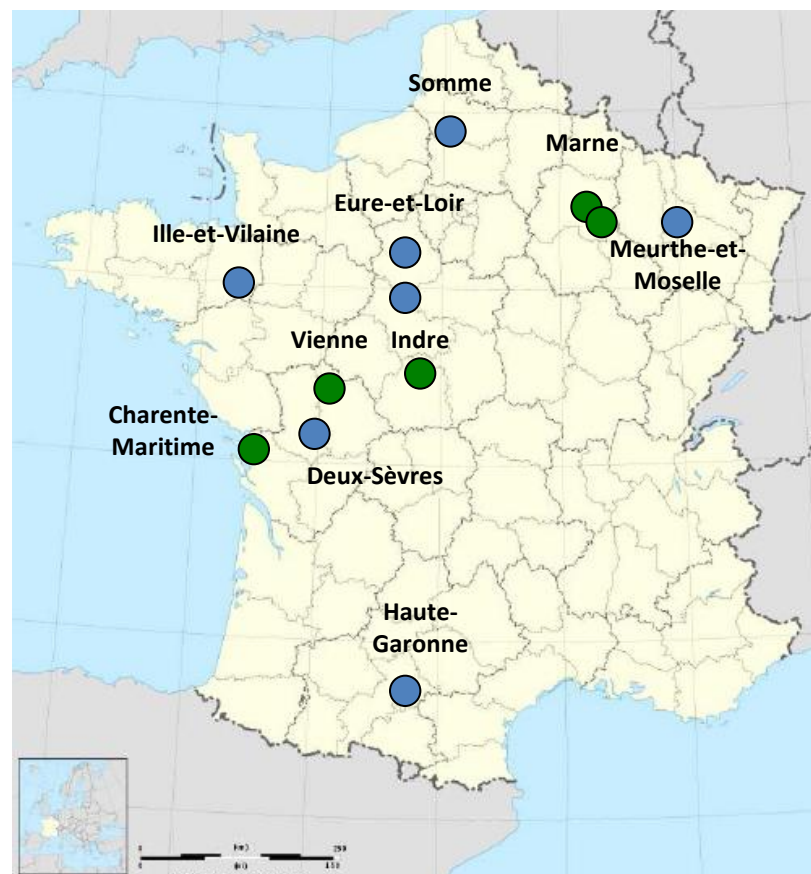
## problématique qui persiste :

- Mieux caractériser les efficacités de l'ammonitrate et de l'urée à l'échelle d'une rotation type colza/blé/orge

**Concept d'essais pluriannuels pour tester les effets de la forme d'azote sur une succession de cultures**

# Le réseau d'essais

- 12 sites d'essais de 2002 à 2012 en France sur plusieurs années (environ 5 ans)
- 51 situations (année-essai)
- Plus de 200 courbes de réponse
- Rotation colza-blé-orge
- 5 sites calcaires - 7 sites non calcaires
- Les variables mesurées :
  - Céréales :
    - rendement , épis/m<sup>2</sup>, ngm<sup>2</sup>, pmg, protéines
    - Azote absorbé (grain, paille, plante entière )
  - Colza :
    - rendement , rendement en huile, pmg, teneur en huile
    - Teneur N% grain , Azote absorbé plante entière stade G4 (dose X uniquement)
- Et mesures de reliquats sortie hiver, analyses de sol, mesures d'activité microbienne



● Sols calcaires

● Sols non calcaires

# Dispositif

Comparaison d'une courbe de réponse U et A  
sur des historiques de fertilisation U ou A

## Dispositif expérimental

4 répétitions

Split-plot à 2 facteurs

- 2 sous-blocs historique A ou U, l'année ou les années précédentes

→ Facteur Forme d'azote historique en grande parcelle

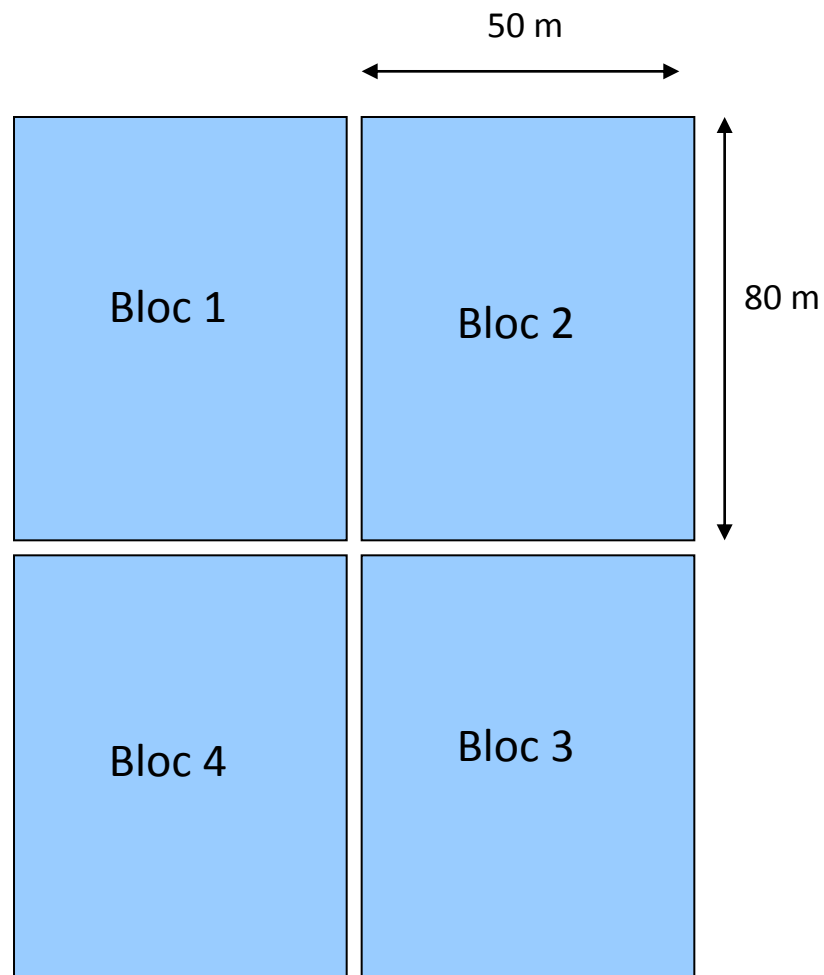
- 11 modalités

→ Facteurs Forme d'azote annuelle et Dose

Modalité	Dose	Forme N
T1	Témoin 0N	
T2	X-80	U
T3	X-40	U
T4	X (dose bilan)	U
T5	X+40	U
T6	X+80	U
T7	X-80	A
T8	X-40	A
T9	X (dose bilan)	A
T10	X+40	A
T11	X+80	A

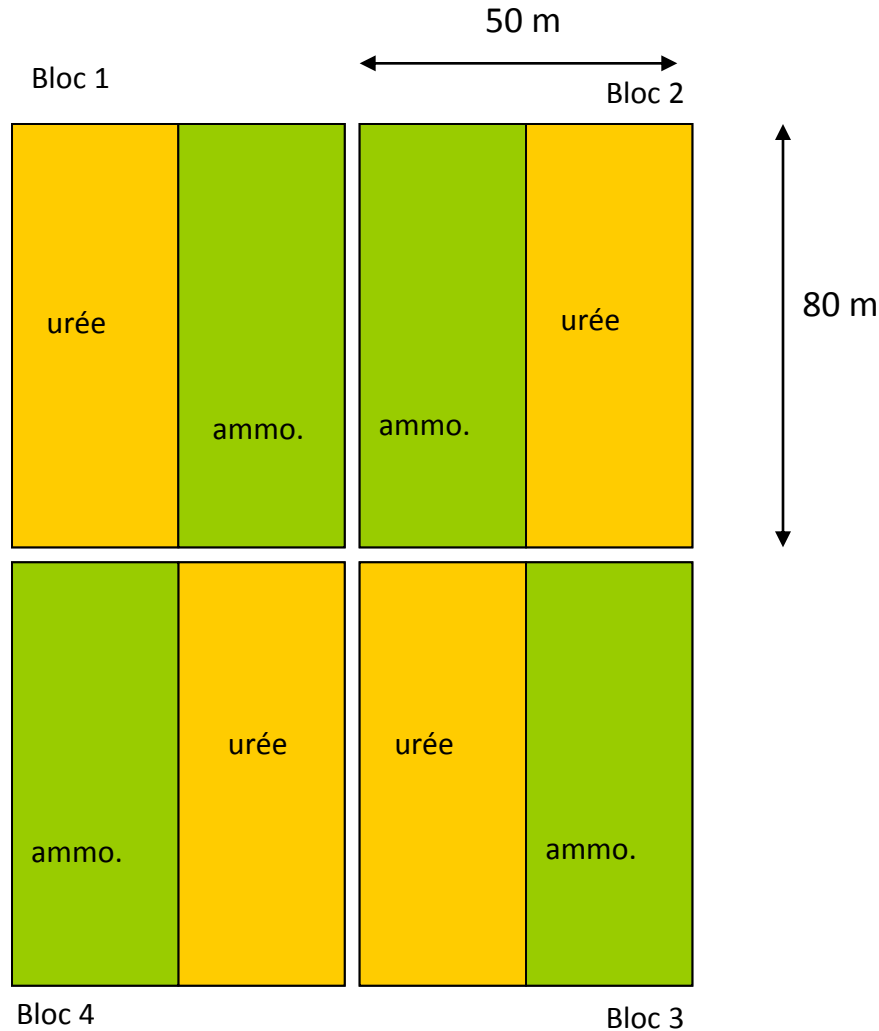
On note : Urée : U et Ammonitrate : A

# Dispositif



Essai 4 blocs  
divisés en 2  
sous-blocs

# Dispositif

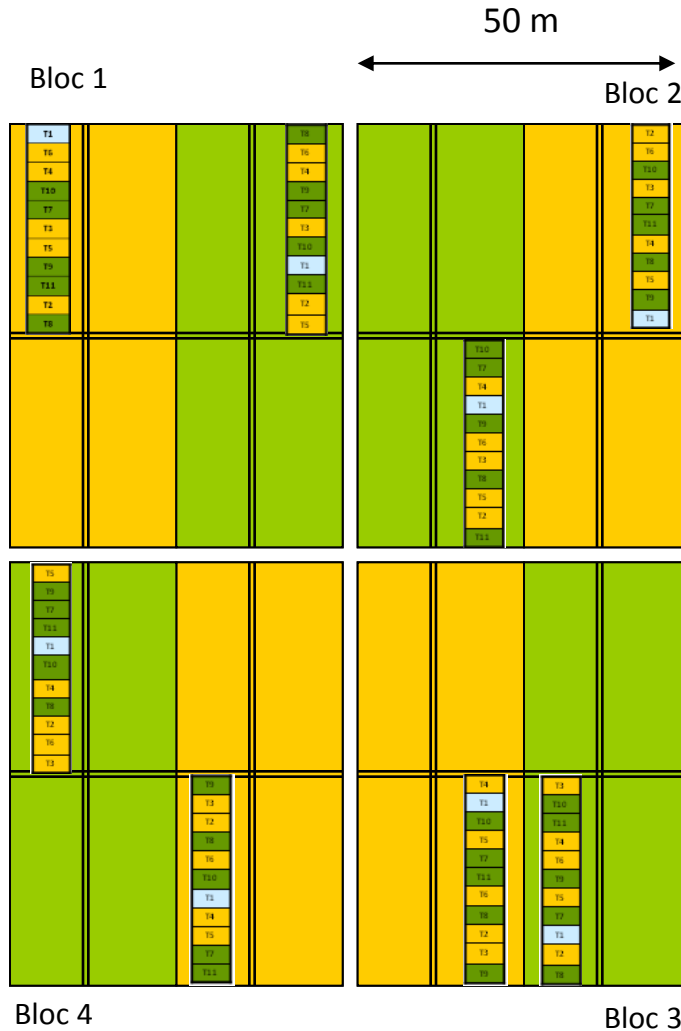


Tous les ans, chaque sous-bloc est fertilisé avec la même forme d'azote

Année 1 : année de différenciation



# Dispositif



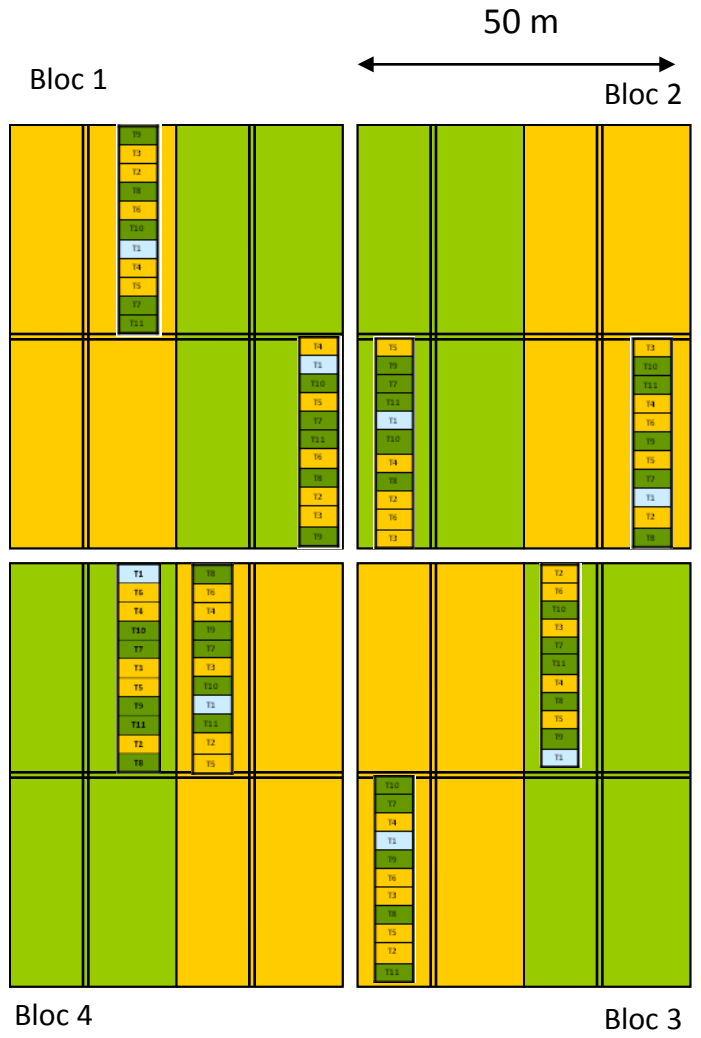
Mod.	Dose	Forme
T1	TON	
T2	X-80	U
T3	X-40	U
T4	X	U
T5	X+40	U
T6	X+80	U
T7	X-80	A
T8	X-40	A
T9	X	A
T10	X+40	A
T11	X+80	A

## Année 2

Dès la deuxième année, les 11 modalités des courbes de réponse sont positionnées sur chaque sous-bloc.

Les zones ne recevant pas les modalités courbe de réponse continuent à recevoir la même forme d'azote à la dose X

# Dispositif



Année 3

80 m

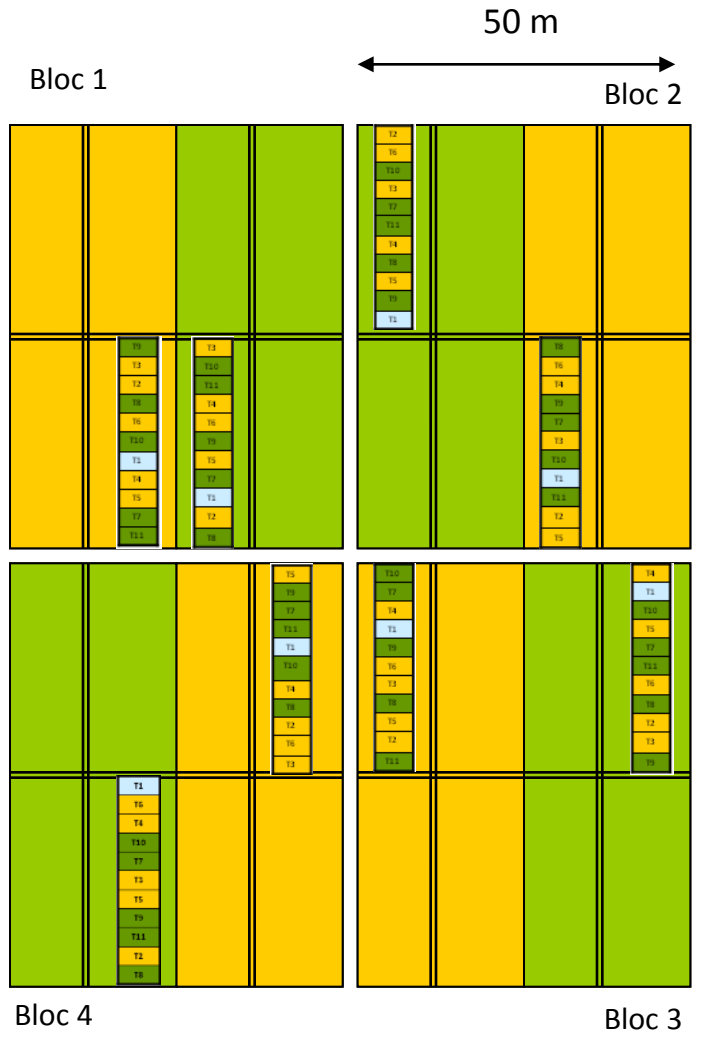
Les zones ne recevant pas les modalités courbe de réponse continuent à recevoir la même forme d'azote à la dose X

Mod.	Dose	Forme
T1	TON	
T2	X-80	U
T3	X-40	U
T4	X	U
T5	X+40	U
T6	X+80	U
T7	X-80	A
T8	X-40	A
T9	X	A
T10	X+40	A
T11	X+80	A

urée

ammo.

# Dispositif



Année 4

80 m

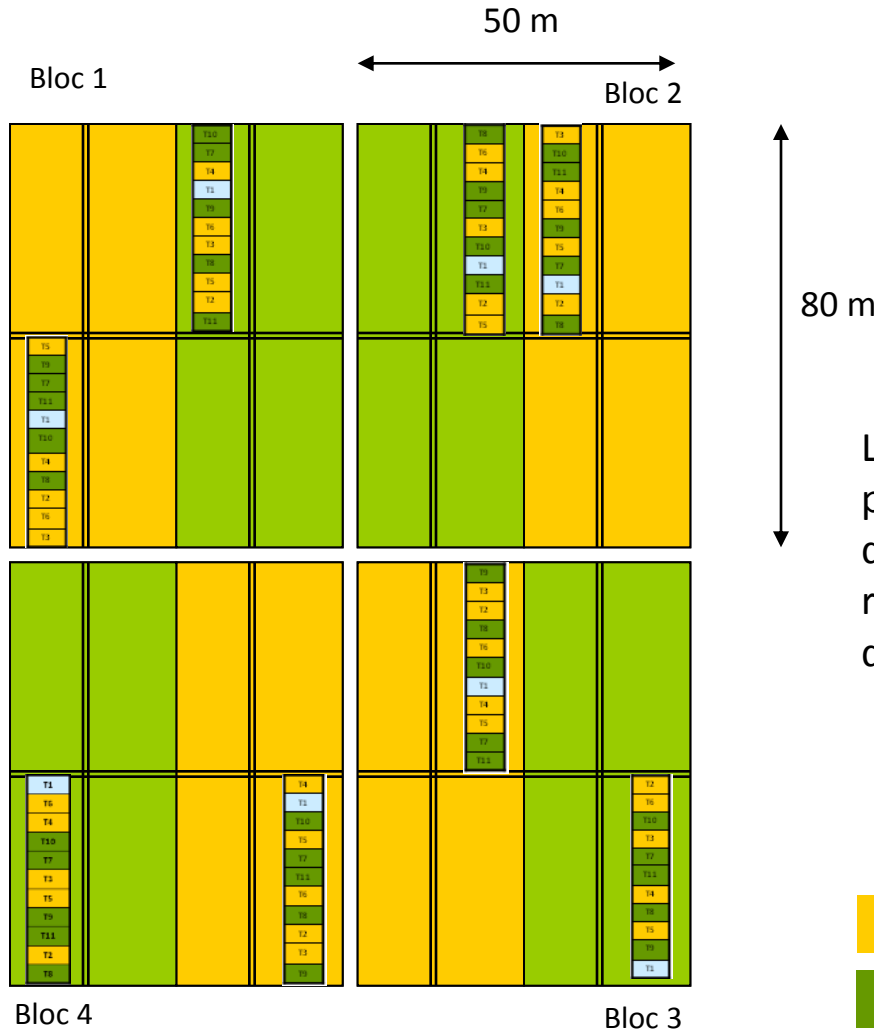
Les zones ne recevant pas les modalités courbe de réponse continuent à recevoir la même forme d'azote à la dose X

Mod.	Dose	Forme
T1	TON	
T2	X-80	U
T3	X-40	U
T4	X	U
T5	X+40	U
T6	X+80	U
T7	X-80	A
T8	X-40	A
T9	X	A
T10	X+40	A
T11	X+80	A

urée

ammo.

# Dispositif



Année 5

Les zones ne recevant pas les modalités courbe de réponse continuent à recevoir la même forme d'azote à la dose X

Mod.	Dose	Forme
T1	TON	
T2	X-80	U
T3	X-40	U
T4	X	U
T5	X+40	U
T6	X+80	U
T7	X-80	A
T8	X-40	A
T9	X	A
T10	X+40	A
T11	X+80	A

# Les comparaisons possibles

4 courbes de réponse par année d'essai:

- ApU pour Ammonitrate passé Urée
- ApA pour Ammonitrate passé Ammonitrate
- UpA pour Urée passé Ammonitrate
- UpU pour Urée passé Urée

→ Y a-t-il un effet de la forme d'azote utilisée l'année de la récolte ?

**Effet forme N « annuel »** : Comparaison ApA & ApU versus UpA & UpU

→ Y a-t-il un effet de la forme d'azote utilisée historiquement sur les cultures précédente ?

**Effet forme N « passé »** : Comparaison ApA & UpA versus ApU & UpU

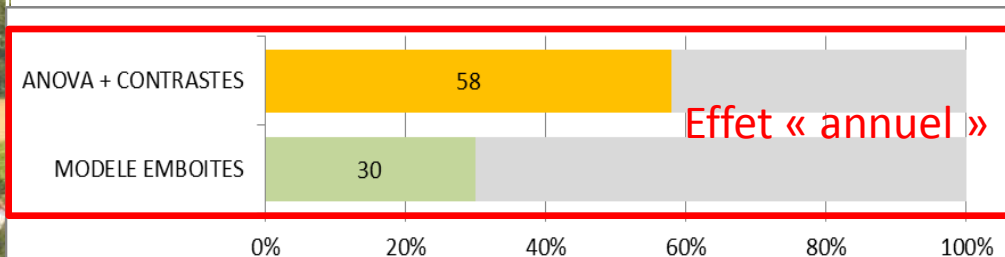
→ Y a-t-il un effet de la forme d'azote utilisée à la fois sur les cultures précédentes et sur la culture récoltée ?

**Effet forme N « système »** : Comparaison ApA versus UpU

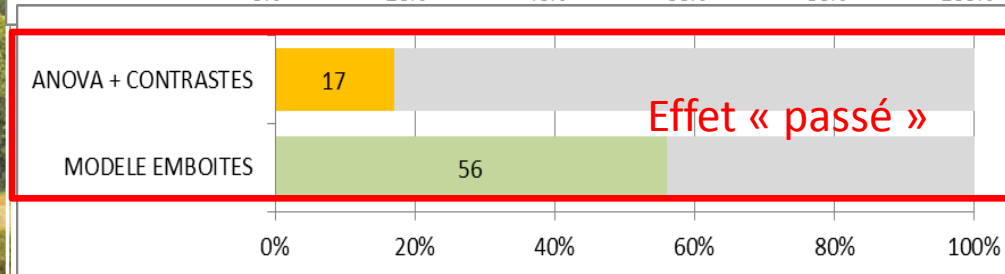
→ Comment caractériser et quantifier les différences ?

# Principaux résultats & comparaison des approches

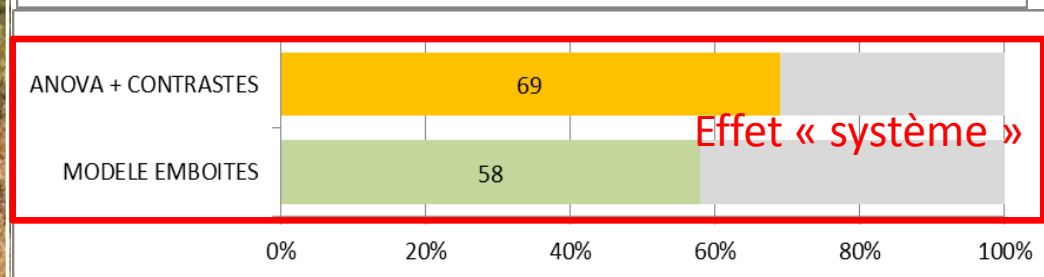
- Comparaison Anova – Modèles emboîtés  
Fréquence des situations avec effet significatif (%)



Ammo > Urée : 93% (27/29)  
 $\Delta Rdt\% = + 3.2\%$



Ammo > Urée : 90% (8/9)  
 $\Delta Rdt\% = + 5.2\%$



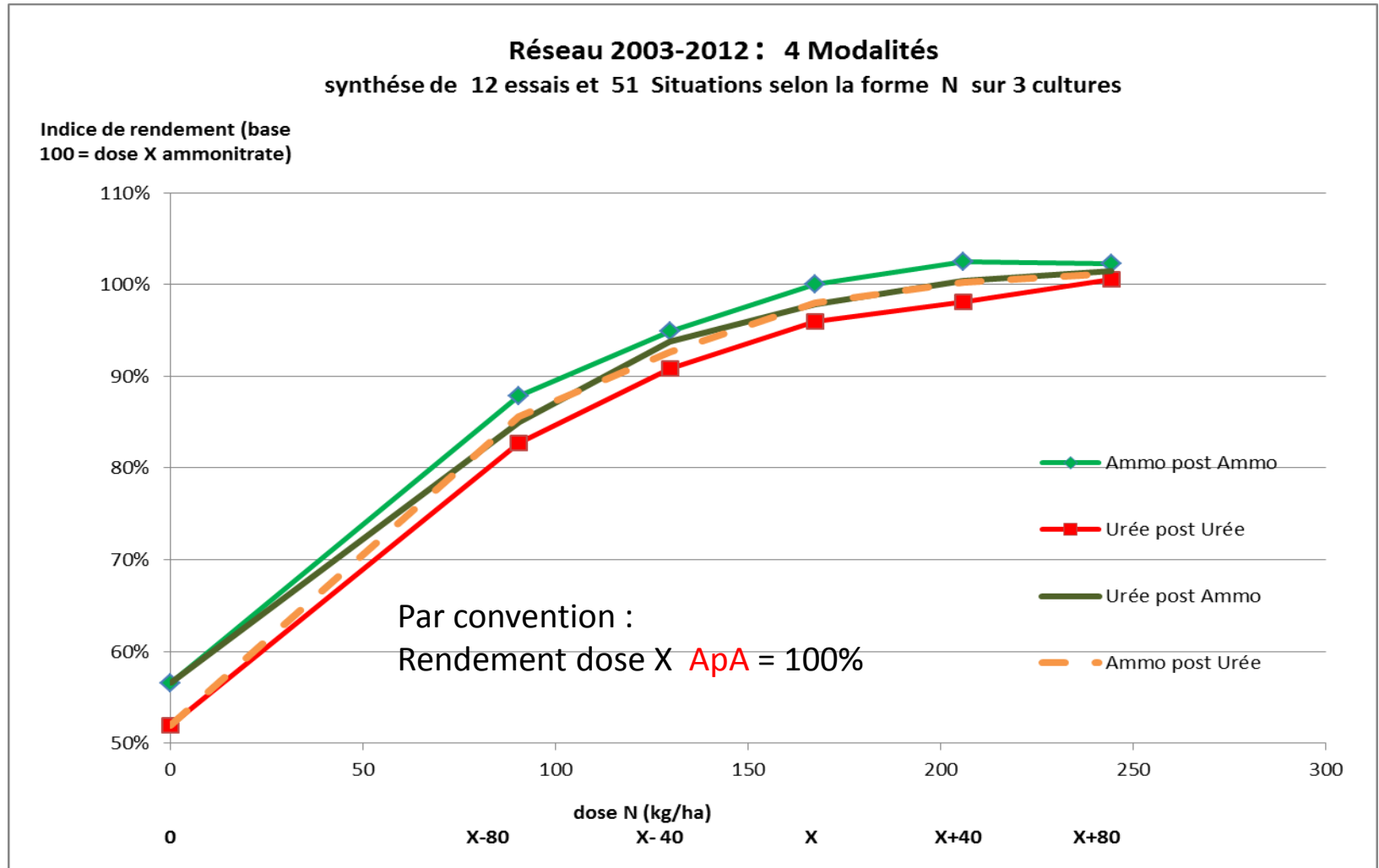
Ammo > Urée : 98% (34/35)  
 $\Delta Rdt\% = + 5.7\%$

■ NS  
■ S (<=10%)

**Quand les effets sont significatifs, le sens des écarts est quasi systématiquement en faveur de l'ammonitrate.**

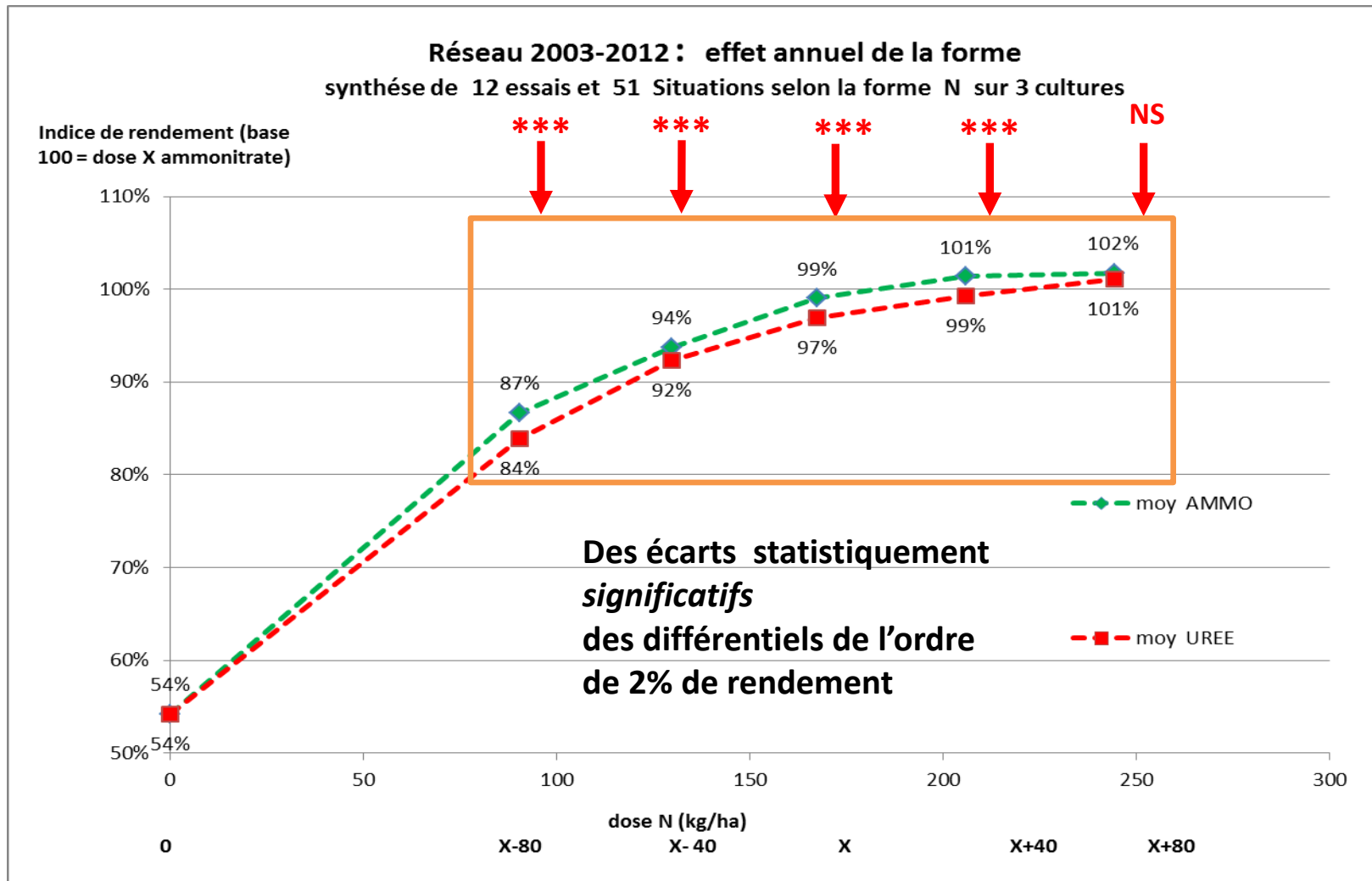
# Courbes de réponses selon les formes N

- 4 modalités :



# Courbes de réponses selon les formes N

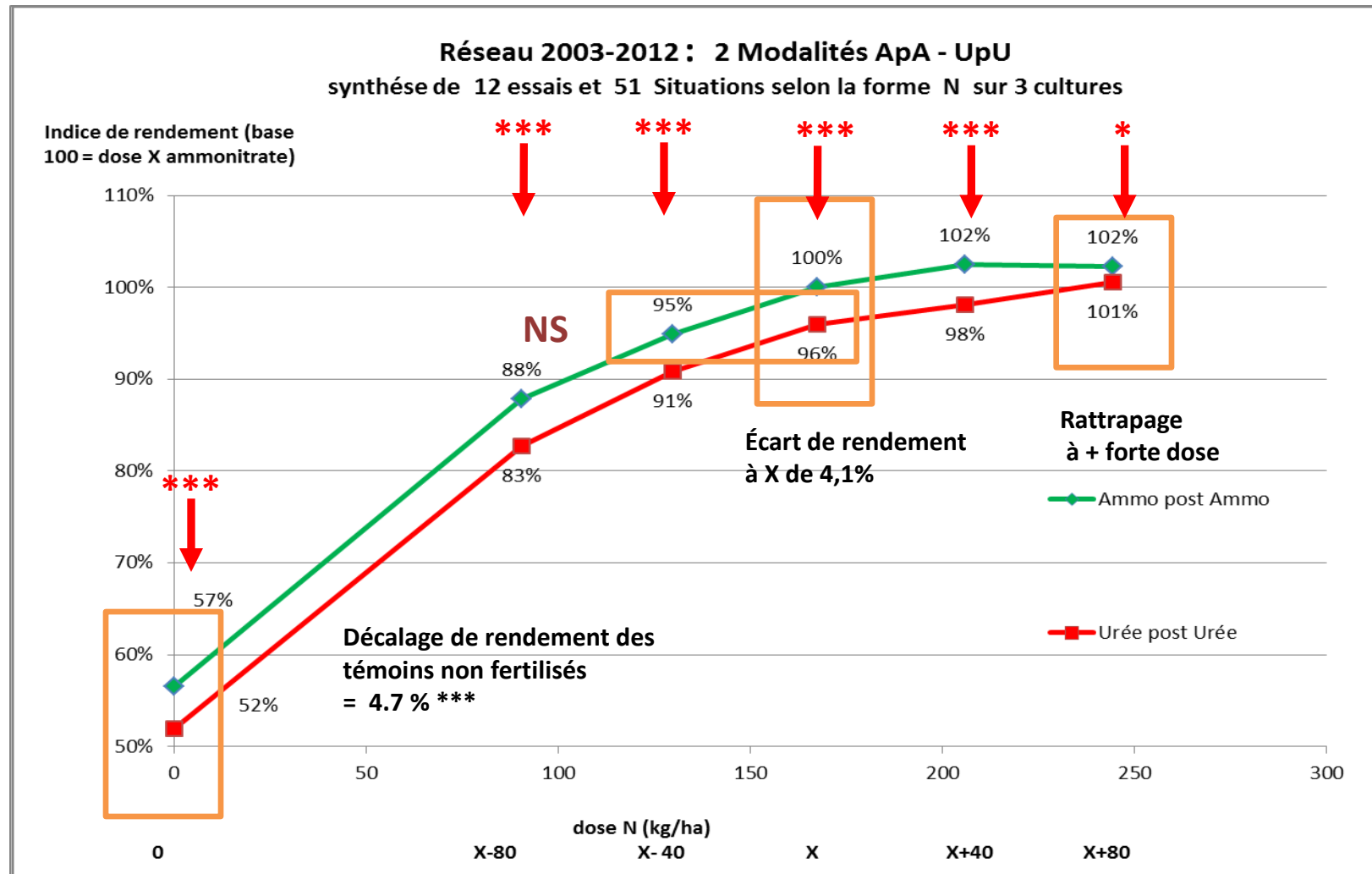
- Des 4 modalités à 2 modalités : **effet annuel**





# Courbes de réponses selon les formes N

- 2 modalités **effet système** : 305 couples

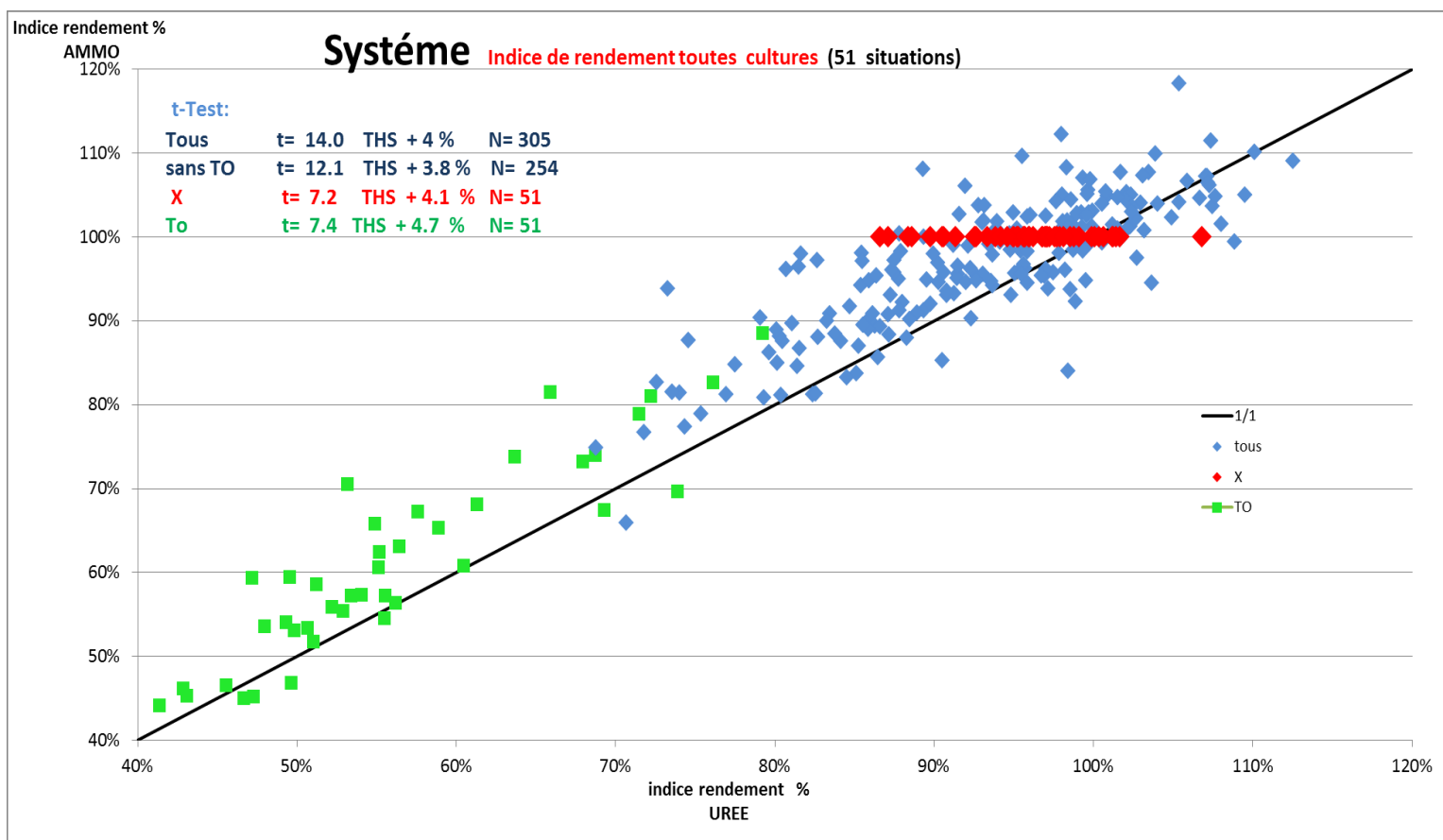


# Comparaisons appariées (méthode des couples)

- 2<sup>e</sup> étape : valorisation de l'ensemble du référentiel incluant toutes les données de l'ensemble des essais

- Approche par la méthode des couples (échantillons appariés) sur l'ensemble des variables d'intérêt :

- Indice de rendement, rendement, N absorbé total , grain, paille, teneur en protéines, teneur en huile, composantes du rendement par culture



# Comparaisons appariées (méthode des couples)

- Principaux résultats rendement et Azote absorbé à la dose X selon l'approche

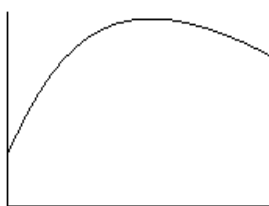
ECARTS à la dose X m = 167 N		Témoins non fertilisés			Effet "Annuel"			Effet "Passé"			Effet "Système"		
		écart	test t	n	écart	test t	n	écart	test t	n	écart	test t	n
indice de rendement C-B-O		<b>4.7%</b>	<b>***</b>	(51)	<b>2.1%</b>	<b>***</b>	(102)	<b>1.9%</b>	<b>***</b>	(102)	<b>4.1%</b>	<b>***</b>	(51)
Rendement													
q/ha	Blé	<b>3.9</b>	<b>***</b>	(20)	<b>1.4</b>	<b>**</b>	(42)	<b>1.3</b>	<b>**</b>	(42)	<b>2.7</b>	<b>***</b>	(20)
	Orge	<b>4.2</b>	<b>**</b>	(16)	<b>1.3</b>	<b>*</b>	(32)	<b>1.8</b>	<b>*</b>	(32)	<b>3.1</b>	<b>**</b>	(16)
	Colza	<b>1.8</b>	<b>**</b>	(15)	<b>1.2</b>	<b>**</b>	(30)	<b>1.1</b>	<b>*</b>	(30)	<b>2.4</b>	<b>***</b>	(15)
Azote absorbé PE													
kg N/ha	Blé	<b>13</b>	<b>**</b>	(14)	<b>14</b>	<b>***</b>	(28)	<b>3</b>	<b>NS</b>	(42)	<b>19</b>	<b>***</b>	(14)
	Orge	<b>7</b>	<b>**</b>	(13)	<b>7</b>	<b>*</b>	(26)	<b>6</b>	<b>**</b>	(16)	<b>15</b>	<b>***</b>	(13)
	Colza	<b>nd</b>			<b>nd</b>			<b>nd</b>			<b>27</b>	<b>**</b>	(11)
Azote absorbé Grain													
kg N/ha	Blé	<b>7</b>	<b>***</b>	(19)	<b>7</b>	<b>***</b>	(40)	<b>2</b>	<b>S 10%</b>	(42)	<b>9</b>	<b>***</b>	(19)
	Orge	<b>7</b>	<b>***</b>	(16)	<b>5</b>	<b>***</b>	(32)	<b>6</b>	<b>***</b>	(32)	<b>11</b>	<b>***</b>	(16)
	Colza	<b>5</b>	<b>**</b>	(14)	<b>4</b>	<b>**</b>	(28)	<b>4</b>	<b>*</b>	(14)	<b>8</b>	<b>***</b>	(14)
CAU %													
pt < N OPT					Ammo	Urée					Ammo	Urée	
					<b>91%</b>	<b>84%</b>					<b>91%</b>	<b>86%</b>	
					<b>6%</b>	<b>***</b>	(54)				<b>5%</b>	<b>**</b>	(26)

# Doses N équivalentes

- Ajustements de 3 modèles « empiriques » sur les 204 courbes de réponse



Mod. Quadratique



Mod. exponentiel Adas



Mod. Quadratique-Plateau

- Comparaison des 3 modèles « empiriques »
  - Mod. Quadratique surestime Nopt et Rendement (dose X)
  - Mod. Exp. Adas s'ajuste le mieux (Etr minimum) mais Nopt souvent hors gamme de doses N testées
  - Mod. QP offre le meilleur compromis qualité statistique / pertinence agronomique estimation du rendement(dose X) non biaisé
- Simulation, essai par essai , à partir de la dose X, de la différence de dose requise pour rendre les écarts de rendement entre formes N non significatifs sur les 2 populations de courbes de réponse (méthode des couples) :
  - Approche « annuelle » : {ApA , ApU} versus {UpA , UpU} (102 couples)
  - Approche « système » : {ApA} versus {UpU} (51 couples)

# Doses N équivalentes

- Résultats

dose X Moyenne		167	fonction Quadratique Plateau	fonction Quadratique	fonction exp Adas
Approche "annuelle"	dose équivalente Urée	184	185	185	
	% majoration dose X	9,8%	10,7%	10,8%	
	écart en kgN/ha	16	18	18	
	indice de rendement	99,1%	99,1%	99,1%	
	Ammo. Urée n =	98,6%	98,6%	98,6%	
		102	102	102	
Approche "système"	dose équivalente Urée	201	202	200	
	% majoration dose X	20,4%	20,5%	19,6%	
	écart en kgN/ha	34	34	33	
	indice de rendement	100,0%	100,0%	100,0%	
	Ammo. Urée n =	98,8%	98,8%	98,8%	
		51	51	51	

- En moyenne,
  - en approche « annuelle », environ **10 % d'azote** supplémentaire requis avec l'urée
  - en approche « système », environ **20 % d'azote** supplémentaire requis avec l'urée
- Ce calcul statistique d'une dose N équivalente entre forme ne constitue en aucune manière une recommandation de majoration de la dose d'apport. Le risque de se tromper est élevé (sur ou sous-fertilisation)**

# Conclusions & perspectives

- Un meilleur CAU (+5 points) c'est plus d'azote absorbé par les plantes avec l'ammonitrate (de 7 à 27kg N/ha) comparé à l'urée et donc moins de pertes dans l'environnement
- Un effet « annuel » significatif de +2.1% sur le rendement, renforcé par un effet « passé » de la forme d'azote utilisée de +1.9% composent un effet « système » de +4.1% sur le rendement en faveur de l'ammonitrate
- La fourniture d'azote par le sol après un historique ammonitrate est supérieure
  - Existence d'un effet historique particulièrement marqué sur les T0
- De 10 à 20% d'apport d'azote en moins avec l'ammonitrate pour un rendement équivalent à l'urée

## Perspectives :

- Rechercher les facteurs explicatifs des écarts d'efficacité analyse des conditions climatiques au moment de l'apport, type de sol,...
- Approche bilan à l'échelle de la succession culturale pour estimer les sorties en azote du système : Estimation par Syst'N des pertes en azote en fonction de la forme d'azote utilisée
- Evaluation environnementale de l'utilisation des formes d'azote par une approche d'ACV (bilan énergétique et GES par unité produite)