

ARVALIS  
Institut du végétal



# La fertilisation, évolution des pratiques

**ARVALIS**  
Institut du végétal

Académie d'Agriculture de France le 8 février 2018



# Raisonnement de la fertilisation: une approche multicritères

**Production**



**Economie**



**Qualités**



**Environnement**

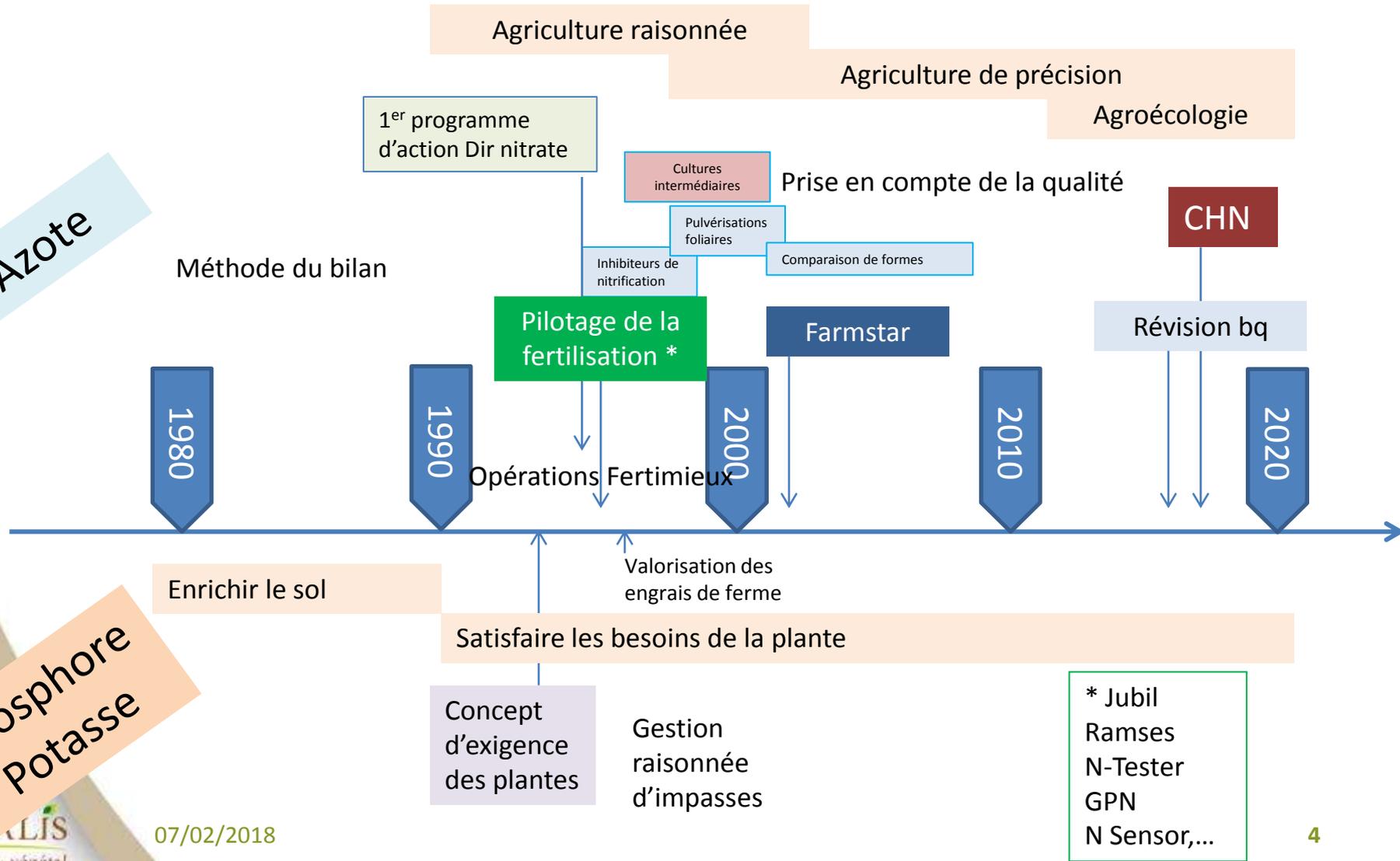




# Des innovations qui ont marqué le raisonnement et les pratiques

Azote

Phosphore  
Potasse





# L'exigence des cultures, une nouvelle clé de raisonnement pour P et K



## u P205

**Très exigeantes** Betterave, colza, luzerne, pomme de terre

**Moyennement exigeantes** Pois, blé suivant un blé, blé dur, **maïs ensilage**, orge, ray-grass, sorgho

**Peu exigeantes** Avoine, **blé tendre**, **maïs grain**, seigle, soja, tournesol

## u K20

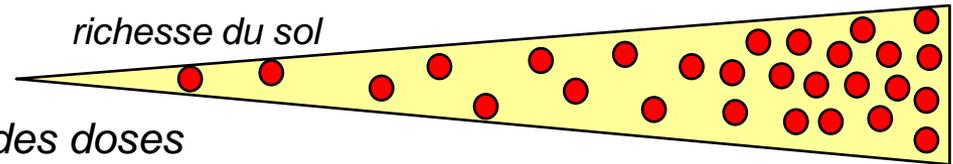
**Très exigeantes** Betterave, pomme de terre

**Moyennement exigeantes** Colza, luzerne, **maïs**, pois, ray-grass, soja, tournesol

**Peu exigeantes** Avoine, blé dur, **blé tendre**, orge, seigle, sorgho

CLASSEMENT DES CULTURES SELON LEUR EXIGENCE d'après COMIFER

# Des impasses de fertilisation PK possibles dans certaines situations



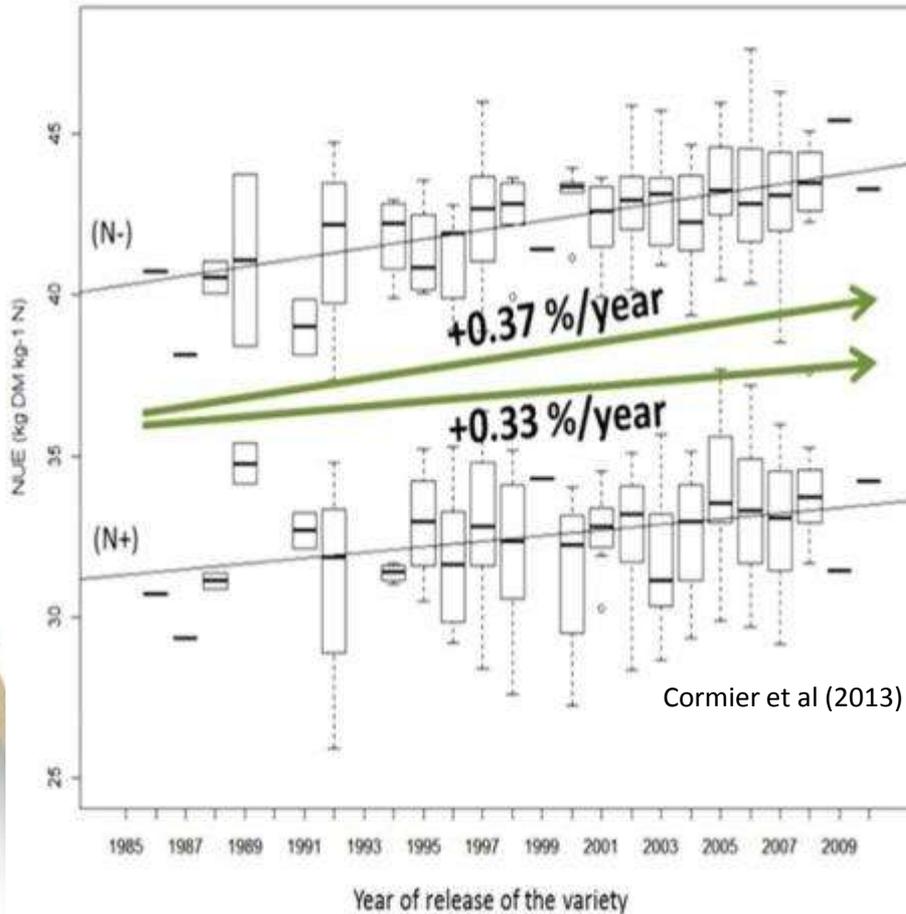
La grille de calcul des doses

 FORTE	RENFORCEMENT	IMPASSE possible ou Réduction de fumure
MOYENNE	RENFORCEMENT	IMPASSE possible
 FAIBLE	RENFORCEMENT	IMPASSE possible

les seuils retenus



# Efficacité croissante des variétés de blé vis-à-vis de l'azote



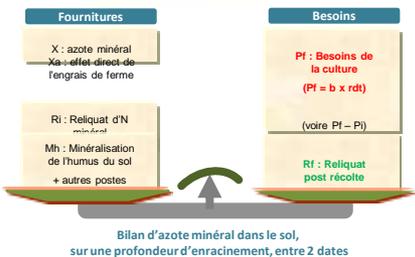
- Panel de 195 lignées élite from France)
  - Inscrites entre 1985 et 2010
  - Evaluées sur un réseau d'essai :
    - 8 essais = 2 N (N- and N+) \* 4 sites (localisation x année)
    - 2865 micro-parcelles, 10 traits mesurés
  - Témoins: Apache, Orvantis, Soissons, Caphorn

Genetic progress	Condition	Yield dt/ha/year	Protein %/year
225 French/european cultivars since 1985	High N	+0,33	-0.0200
	Low N	+0,37	-0.0100

Héritabilité ( $h^2$ ) et composantes de la variance

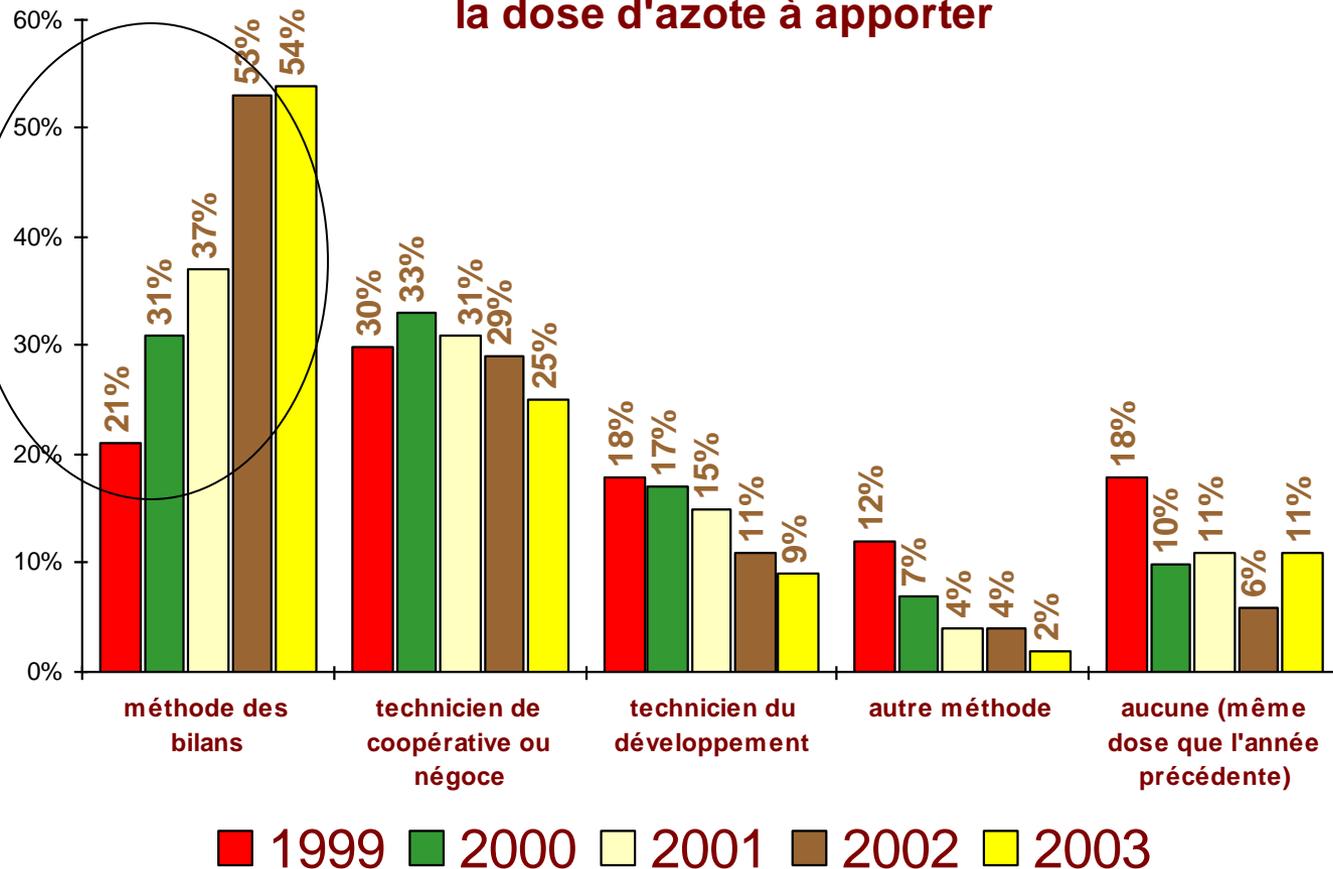
Trait	$h^2$	G	G × E	G × N
Uptake	0.00	10% ns.	77% ***	13% ns.
Utilisation	0.79	63% ***	30% ***	7% ***
NUE	0.80	69% ***	26% ***	5% *

# La généralisation de la méthode du bilan azote prévisionnel



## Méthode utilisée pour connaître la dose d'azote à apporter

Besoin de calcul pour la dose totale d'azote



Source: enquête Perspectives Agricoles 300 agriculteurs



# Meilleure prise en compte des produits organiques: [www.arvalisinstitutduvegetal.fr](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr)

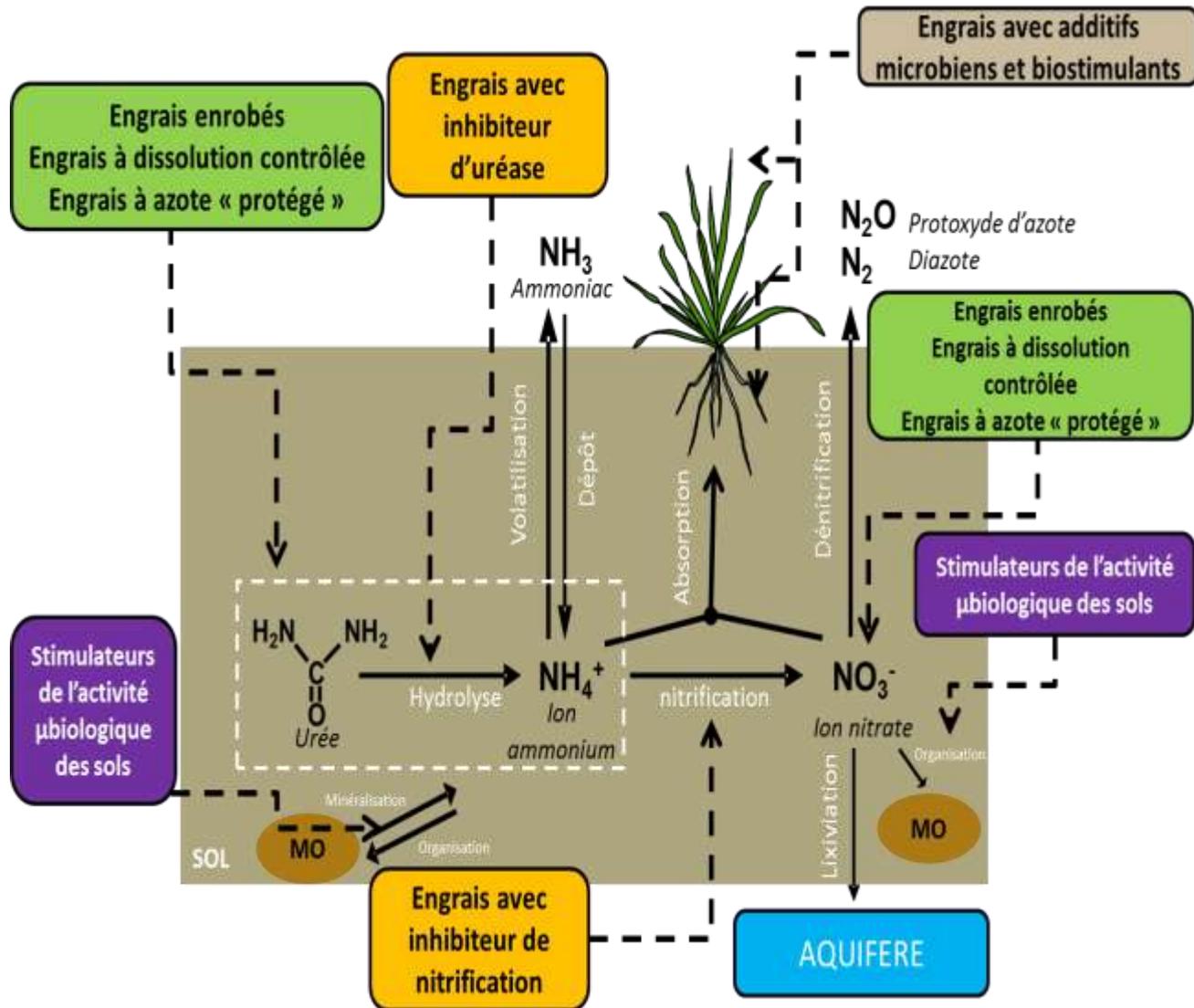
Département : 08 - Ardennes  
 Culture : Blé tendre hiver  
 Période d'implantation : du 16/09 au 31/12  
 Produit organique : Fumiers mûr de bovins mous de logettes  
 Teneurs en éléments fertilisants : N : 5.1 kg/T, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 2.3 kg/T, K<sub>2</sub>O : 6.2 kg/T, MgO : 1.5 kg/T  
 Période d'apport du produit organique : du 01/08 au 15/09  
 Technique d'épandage : épandage en surface  
 Cette période d'apport est **conseillée** agronomiquement  
 Dose prévue : 20 T/ha **Recalculer**  
 Effet fertilisant de cette dose : N : 15 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 46 kg/ha, K<sub>2</sub>O : 124 kg/ha, MgO : 30 kg/ha  
 Fumure prévue (avec votre conseiller, un logiciel de fertilisation, ...) : N : 180 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 70 kg/ha, K<sub>2</sub>O : 030 kg/ha, MgO : 0 kg/ha  
 Apport minimum sous forme d'engrais minéral déjà réalisé ou prévu : N : 150 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 0 kg/ha, K<sub>2</sub>O : 0 kg/ha, MgO : 0 kg/ha  
 Doses du produit organique correspondant à la fumure prévue : N : 39.2 T/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 30.4 T/ha, K<sub>2</sub>O : 4.8 T/ha, MgO : 0.0 T/ha  
 Bilan des éléments fertilisants : N : -15 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : -24 kg/ha, K<sub>2</sub>O : 94 kg/ha, MgO : 30 kg/ha  
**Recalculer**  
**Effacer**

 N : -15 kg/ha Le bilan est négatif, une fertilisation minérale complémentaire est nécessaire. L'utilisation d'un outil de pilotage de l'azote (Jubil, N tester,...) est alors conseillée.	 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : -24 kg/ha Le bilan est négatif, une fertilisation minérale complémentaire est nécessaire.	 K <sub>2</sub> O : 94 kg/ha Le bilan est positif, reporter 80 % des unités excédentaires sur la culture suivante.	 MgO : 30 kg/ha Le bilan est positif, reporter 80 % des unités excédentaires sur la culture suivante.
--	--	--	---

- Estime la valeur fertilisante de 60 produits organiques
- Fait le lien avec la réglementation dans le département
- Compare aux besoins de la culture
- Simulations possibles



# Technologie des engrais: des progrès visant à réduire les pertes





# Azote et qualité: la fertilisation azotée peut piloter la teneur en protéines



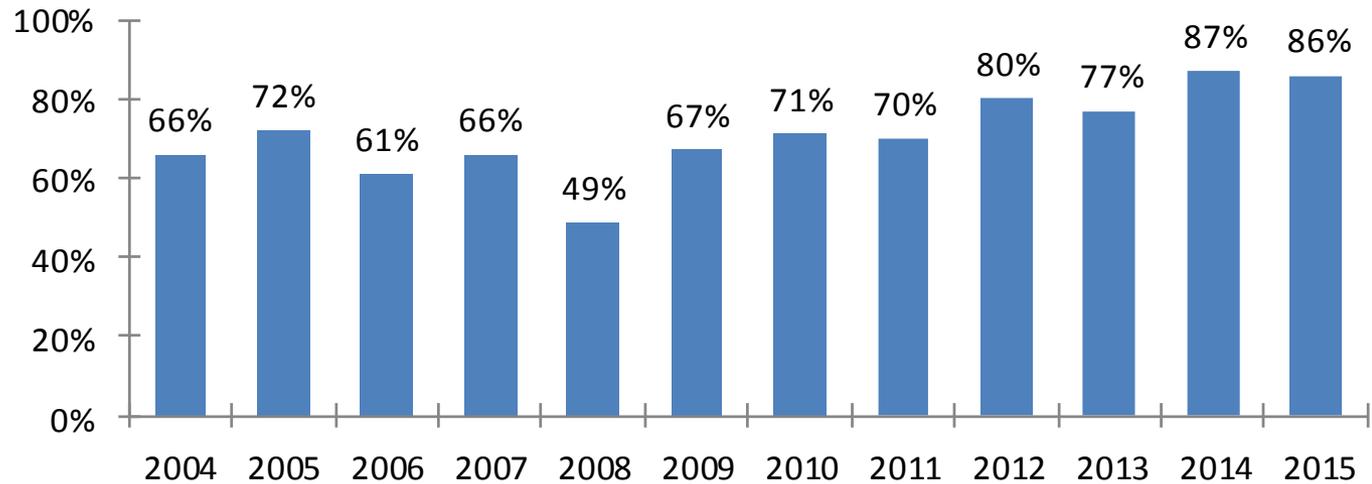
facteurs	Enjeux protéines
● l'année (climat)	0.5 à 2 %
● la parcelle	0.5 à 2%
● la variété	0.5 à 3%
● l'azote	
dose totale (effet de 50 un)	0,5 à 1%
fractionnement	0,2 à 0,5%
forme	0,2 à 1,0%
● la date de semis	0 à 0,1 %
● la dose de semis	0 à 0,1%
● les fongicides	0 à 0.1 %



# L'enjeu protéine de plus en plus fort



**Part des agriculteurs connaissant le taux de protéines de leur récolte**



Evolution comparée 2004/2015 - Sud Loire



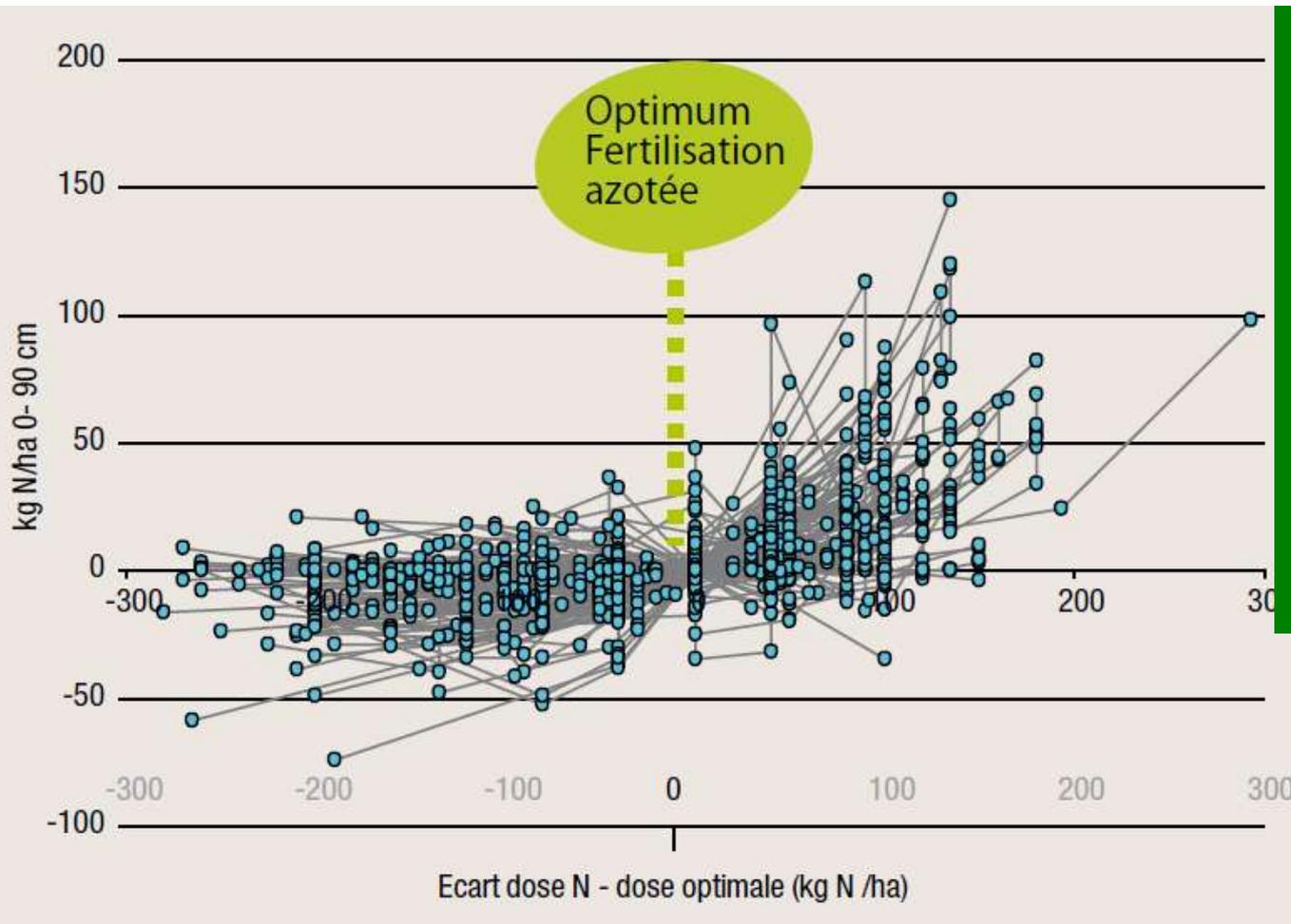
# Nouveau référentiel des besoins en azote des variétés en blé tendre intégrant la protéine (b qualité)

**FERTILISATION DU BLÉ TENDRE : dans le calcul des doses d'azote, le besoin unitaire d'azote ou le besoin « qualité » sera choisi selon la variété et l'objectif de la culture**

Classes de b (kg N/q)	Objectif RENDEMENT	Variétés	Objectif RENDEMENT & 11,5% PROTÉINES	Classes de bq <sub>11,5%</sub> (kg N/q)	Modalités de fractionnement à respecter en utilisant bq <sub>11,5%</sub>	
					bc <sub>11,5%</sub> (kg N/q)	Mise en réserve minimale conseillée pour la fin de montaison
2,8		Addict, Adhoc, Advisor, Aigle, Ambition, Arlequin, Armada, Atoupic, Basmati, Bermude, Boisseau, Complice, Costello, Creek, Diderot, Fairplay, Folklor, Garcia, Granamax, Hybello, Hybery, Hybiza, Hyclick, Hydrock, Hyguardo, Hyking, Hystar, Hysun, Hyteck, Hywin, JB Diego, Kundera, Lear, Lithium, Lyrik, Modern, Popeye, RGT Mondio, RGT Texaco, Salvador, Sokal, Stadium, Stereo, Trapez, Tremie, Viscount, Zephyr		3	0,2	60 kg N/ha (40*+20)
		Glasgow, Istabraq, Sobred, Torp		3,2	0,4	70 kg N/ha (40*+30)
3		Accor, Alhambra, Allez Y, Altigo, Andino, Apache, Apanage, Aplomb, Aprilio, Arezzo, As De Coeur, Aubusson, Bagou, Bonifacio, Boregar, Brentano, Buenno, Calabro, Calcio, Calisol, Calumet, Cellule, Cezanne, Chevalier, Comilfo, Compil, Descartes, Diamento, Distinxion, Ephoros, Euclide, Fluor, Forblanc, Foxyl, Galactic, Galopain, Goncourt, Gotik, Hyfi, Hyxo, Hyxpress, Illico, Interet, Isengrain, Kalystar, Koreli, Lavoisier, LG Abraham, LG Absalon, LG Altamont, Memory, Musik, Nucleo, Numeric, Oregrain, Paledor, Pibrac, Prevert, Reciproc, RGT Ampiezzo, RGT Cesario, RGT Kilimanjaro, RGT Tekno, RGT Velasko, RGT Venezia, Rochfort, Rubisko, Rustic, Saint Ex, Samurai, Scenario, Silverio, Sirtaki, Sobbel, Solehio, Sollario, Solognac, Solveig, Sothys CS, Sponsor, Starway, Syllon, Vyckor		3	0	40* kg N/ha
		Accroc, Alixan, Andalou, Aristote, Arkeos, Ascott, Auckland, Barok, Belepi, Bergamo, Chevron, Collector, Expert, Fructidor, Gallixe, Grapeli, Hyxtra, Ionesco, Laurier, Matheo, Milor, Nemo, Oxebo, Pakito, Pr22r58, RGT Celesto, RGT Libravo, RGT Sacramento, Ronsard, Sherlock, SY Mattis, SY Moisson, System, Terroir, Thalys, Tobak, Triomph, Valdo, Waximum		3,2	0,2	60 kg N/ha (40*+20)
3,2		Aerobic, Altamira, Ambello, Athlon, Atlass, Bienfait, Camp Rémy, CCB Ingenio, Centurion, Exelcior, Exotic, Falado, Graindor, Hendrix, Lazaro, Lukullus, Manager, Nogal, Scipion, Soissons, Sorrial, Tulip		3,2	0	40* kg N/ha

(\*) La mise en réserve de 40 kg N/ha, envisagée pour réaliser un apport de fin de montaison, majorée selon la variété, pourra être réduite en cas de cultures de blés à faible potentiel.

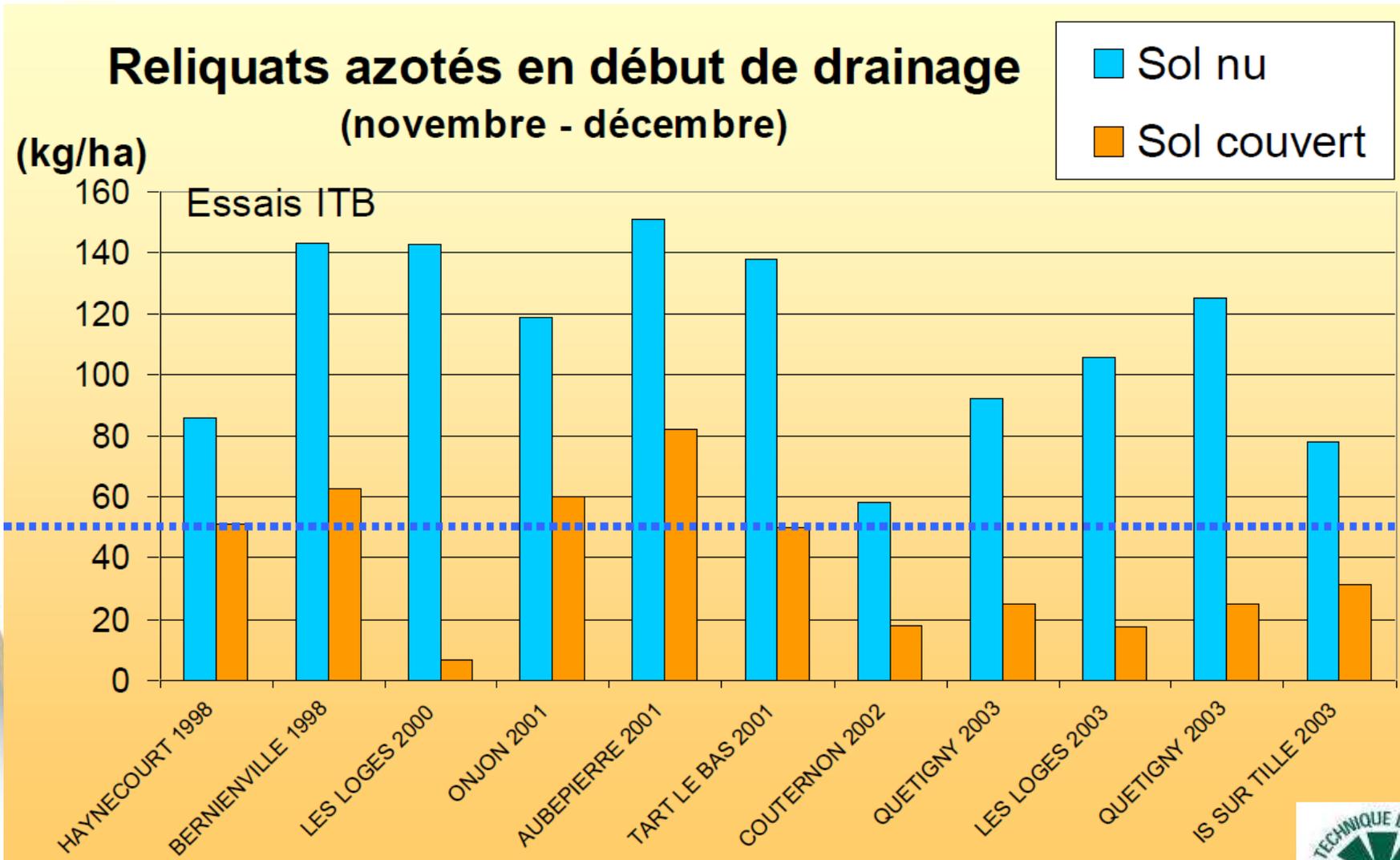
# Azote et environnement: réduction de la dose d'azote en dessous de l'optimum ne réduit pas le risque



Effet de la dose d'engrais apportée sur blé (exprimée en écart à la dose optimale de chaque essai) sur l'augmentation du reliquat récolte par rapport au témoin sans engrais.



# Intérêt des couverts végétaux en interculture pour réduire l'azote minéral dans le sol



Source: Essais ITB multi locaux



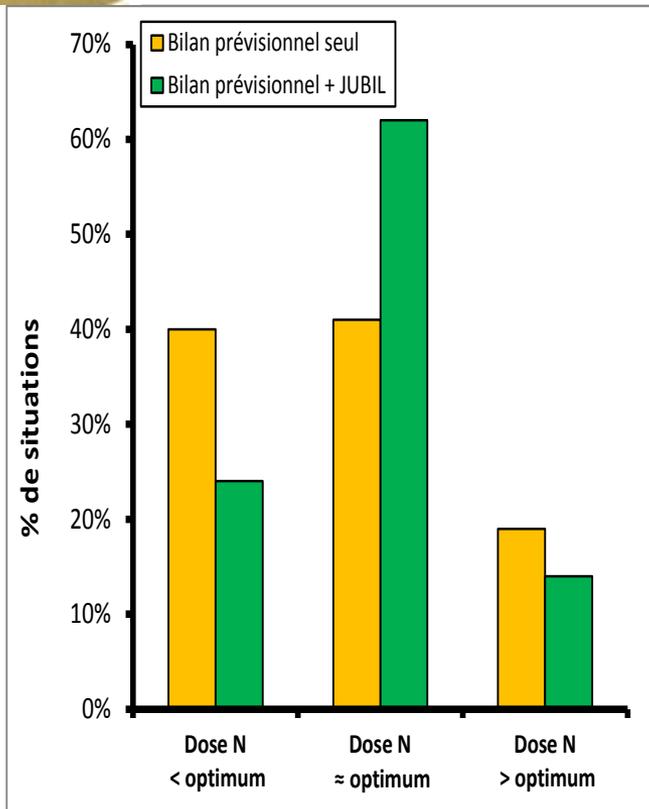
# Objectif de rendement: la dose optimale d'azote résulte d'un ajustement technico-économique

		prix blé (€/tonne)																	
		90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260
coût azote (€/unité N)	Dose N	12	15	17	19	20	21	23	23	24	25	26	26	27	27	28	28	29	29
	0.35	8	11	14	16	17	19	20	21	22	23	24	24	25	26	26	27	27	27
	0.40	4	7	10	12	14	16	17	19	20	21	22	23	23	24	24	25	26	26
	0.45	0	4	7	9	11	13	15	16	18	19	20	21	21	22	23	23	24	25
	0.50	-4	0	3	6	9	11	12	14	15	17	18	19	20	20	21	22	23	23
	0.55	-8	-4	0	3	6	8	10	12	13	15	16	17	18	19	20	20	21	22
	0.60	-12	-7	-3	0	3	5	7	9	11	12	14	15	16	17	18	19	19	20
	0.65	-16	-11	-7	-3	0	3	5	7	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19
	0.70	-20	-15	-10	-6	-3	0	2	5	7	8	10	11	12	14	15	16	16	17
	0.75	-24	-18	-13	-9	-6	-3	0	2	4	6	8	9	11	12	13	14	15	16
	0.80	-28	-22	-17	-12	-9	-5	-2	0	2	4	6	7	9	10	11	12	13	14
	0.85	-32	-26	-20	-15	-11	-8	-5	-2	0	2	4	6	7	8	10	11	12	13
	0.90	-36	-29	-23	-18	-14	-11	-7	-5	-2	0	2	4	5	7	8	9	10	11
	0.95	-40	-33	-27	-21	-17	-13	-10	-7	-4	-2	0	2	4	5	6	8	9	10
	1.00	-44	-36	-30	-24	-20	-16	-12	-9	-7	-4	-2	0	2	3	5	6	7	9
	1.05	-48	-40	-33	-27	-23	-18	-15	-12	-9	-6	-4	-2	0	2	3	5	6	7
	1.10	-52	-44	-36	-30	-25	-21	-17	-14	-11	-8	-6	-4	-2	0	2	3	4	6
	1.15	-56	-47	-40	-33	-28	-24	-20	-16	-13	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	3	4
	1.20	-60	-51	-43	-36	-31	-26	-22	-18	-15	-12	-10	-7	-5	-3	-2	0	1	3
	1.25	-64	-54	-46	-39	-34	-29	-24	-21	-17	-14	-12	-9	-7	-5	-3	-2	0	1
1.30	-68	-58	-49	-42	-36	-31	-27	-23	-19	-16	-14	-11	-9	-7	-5	-3	-1	0	
1.35	-72	-61	-53	-45	-39	-34	-29	-25	-21	-18	-16	-13	-11	-8	-6	-5	-3	-1	
1.40	-76	-65	-56	-48	-42	-36	-32	-27	-24	-20	-17	-15	-12	-9	-7	-6	-4	-3	
1.45	-79	-68	-59	-51	-45	-39	-34	-30	-26	-22	-19	-17	-14	-11	-9	-8	-6	-4	
1.50	-83	-72	-62	-54	-47	-42	-36	-32	-28	-24	-21	-18	-16	-13	-11	-9	-7	-5	
1.55	-87	-75	-65	-57	-50	-44	-39	-34	-30	-26	-23	-20	-18	-15	-13	-11	-9	-7	
1.60	-91	-79	-69	-60	-53	-47	-41	-36	-32	-28	-25	-22	-19	-17	-14	-12	-10	-9	
1.65	-95	-82	-72	-63	-56	-49	-44	-39	-34	-30	-27	-24	-21	-18	-16	-14	-12	-10	
1.70	-98	-85	-75	-66	-58	-52	-46	-41	-36	-32	-29	-26	-23	-20	-18	-15	-13	-11	
1.75	-102	-89	-78	-69	-61	-54	-48	-43	-39	-34	-31	-27	-24	-22	-19	-17	-15	-13	
1.80	-106	-92	-81	-72	-64	-57	-51	-45	-41	-36	-33	-29	-26	-23	-21	-18	-16	-14	
1.85	-109	-96	-84	-75	-66	-59	-53	-48	-43	-38	-35	-31	-28	-25	-22	-20	-18	-16	
1.90	-113	-99	-87	-77	-69	-62	-55	-50	-45	-40	-36	-33	-30	-27	-24	-21	-19	-17	
1.95	-117	-102	-90	-80	-72	-64	-58	-52	-47	-42	-38	-35	-31	-28	-25	-23	-21	-18	
2.00	-121	-106	-93	-83	-74	-67	-60	-54	-49	-44	-40	-36	-33	-30	-27	-24	-22	-20	

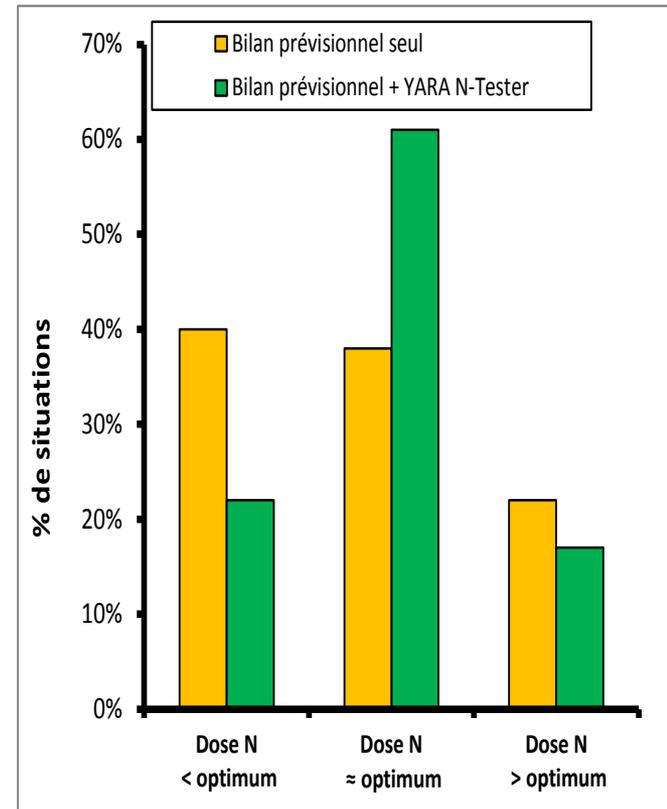
Impact du prix du blé et de l'engrais N sur la dose technico-économique optimale

Le contexte actuel (2008) correspond à une dose technico-économique optimale inférieure d'environ 30 kgN/ha en moyenne par rapport à la référence.

# Le pilotage de l'azote réduit les sous et sur-fertilisations

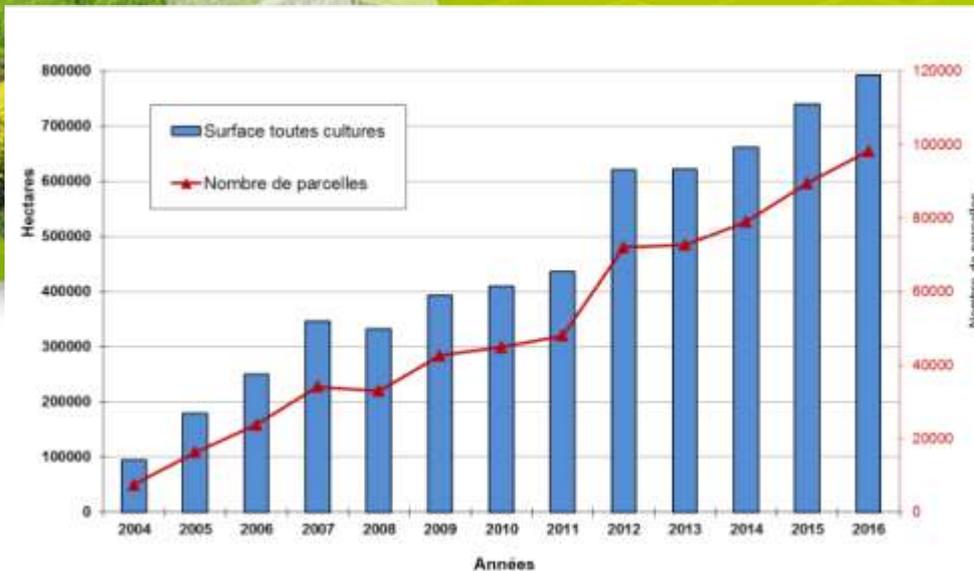


220 essais (1994-1999)



206 essais (1994-2000)

# Le couplage télédétection et agronomie lève les contraintes logistiques

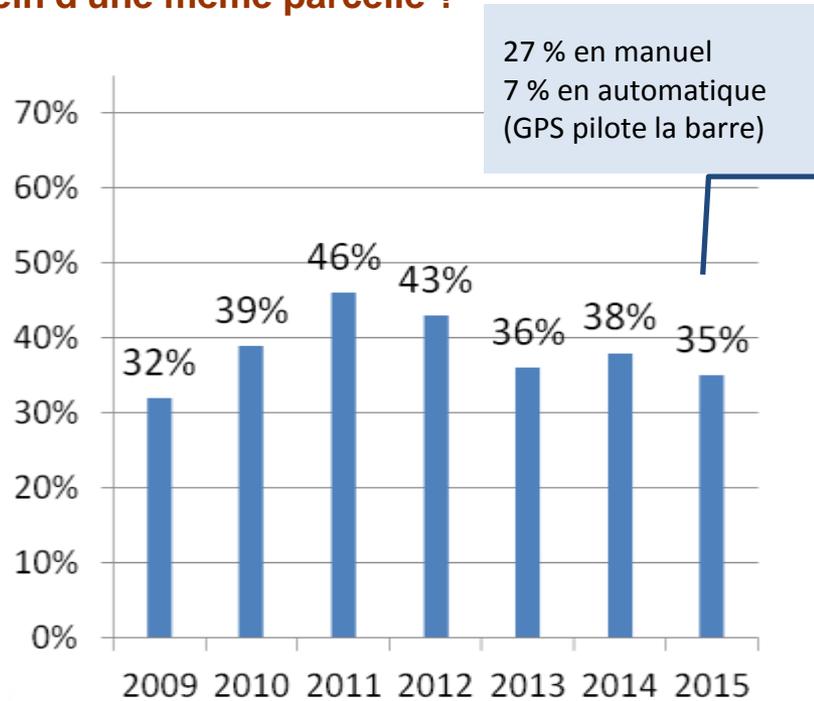


Plus de 18 000  
agriculteurs  
39 organismes  
793 000 ha abonnés  
➔ Blé, Orge, Colza,  
Triticale,...

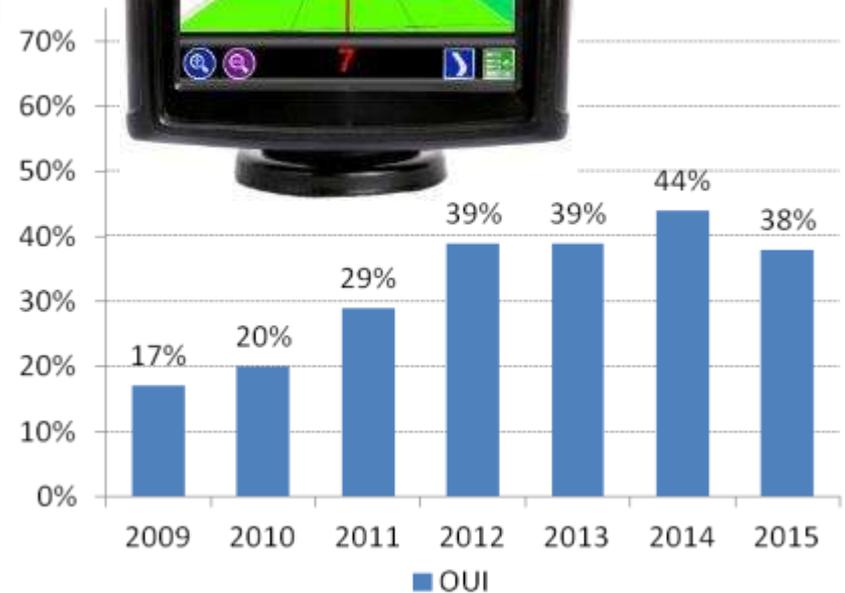


# Fertilisation de précision: « La bonne dose au bon endroit », enquête 2015, Nord Loire

**Avez-vous modulé les doses au sein d'une même parcelle ?**



27 % en manuel  
7 % en automatique  
(GPS pilote la barre)

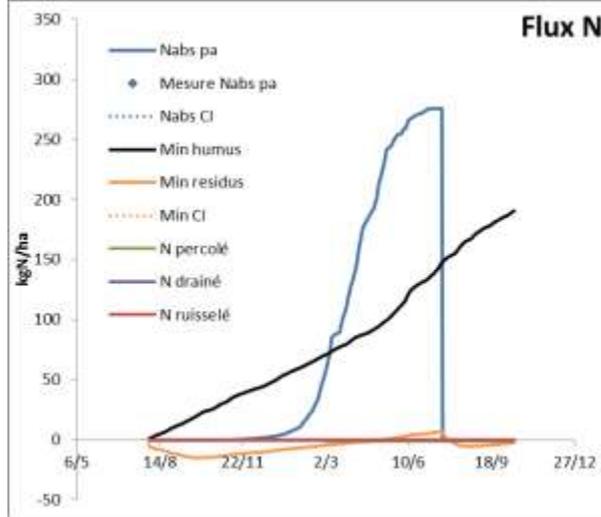


**Avez-vous utilisé une barre de guidage pour réaliser vos épandages ?**



# Le raisonnement de la fertilisation demain

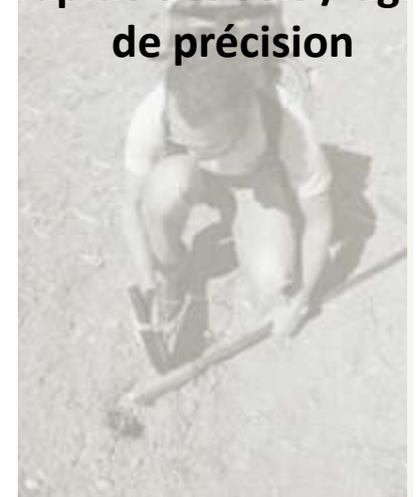
## Modélisation intégrale: CHN



## Plantes de service



## Méthodes d'analyse rapide des sols / agric de précision



## Capteurs plantes autonomes



## Météo prévisionnelle





# Conclusions

1. La fertilisation suit un processus d'amélioration continue
2. Enjeux multiples: économie/environnement/qualité
3. Vers une fertilisation toujours plus précise et plus efficace
4. Le diagnostic de nutrition = saut technologique
5. Le numérique et l'agroécologie: prochaines étapes