



**Bilan fertilisation soufrée sur
céréales
et projet d'observatoire**

Soufre et blé en résumé



Besoins et absorption du blé

- besoins : $\approx 0.55 \text{ kg SO}_3 / \text{q}$
- absorption sous forme SO_4^{2-}
- plus de 80 % de S absorbé en montaison
- Lien avec nutrition N

Fournitures par le sol

- 75 à 90 % organique
- retombées atmosphériques divisées par 10 depuis 1973
- lessivage : 20 à 100 kg $\text{SO}_3 / \text{ha} / \text{an}$

Diagnostic et prédiction

- Test sol : méthode Scott : seuils terre à cailloux ou autres sols
- Test plante : possible entre 1cm et 1 nœud, diagnostic foliaire floraison le mieux référencé

Effets sur la qualité

- Peu ou pas d'effet sur la teneur protéines
- ↗ des protéines à faible poids moléculaire
 - ↘ extensibilité des pâtes (↘ P/L)

Situations à risque historiquement connues

Sols superficiels, caillouteux, sableux
Pluviométrie hivernale $> 250 \text{ mm}$
Apports rares ou inexistants de S ou MO
Semis tardifs plus exposés

Corrections visent d'abord le rendement au travers du peuplement épis

apport préventif : mi-tallage 40 à 60 kg SO_3
Rattrapage : sur symptôme jusqu'à 1 - 2 nœuds
Forme (sulfate, thiosulfate, soufre micronisé)
indifférente





Soufre : grille de préconisation (kg SO₃/ha) sur céréales à paille

En l'absence d'apports réguliers de produits organiques

	<i>pluviométrie 1/10 au 1/03</i>	précédent colza ou autres avec apport soufre > 60 u SO ₃	autres précédents
Risques élevés = sols superficiels filtrants : argilocalcaire superficiel; sol sableux, limon caillouteux à silex	<i>forte ou normale (>250)</i>	40	50
	<i>faible (<250)</i>	20	30
Risques moyens = argilocalcaire profond ; limon battant froid hydromorphe	<i>forte (>400 mm)</i>	30	40
	<i>normale</i>	20	30
	<i>faible (<300)</i>	0	20
Risques faibles = sols profonds sains; limon argileux profond, limon franc	<i>forte (>400 mm)</i>	20	30
	<i>normale</i>	0	20
	<i>faible (<300)</i>	0	0



Soufre : grille de préconisation (kg SO₃/ha) sur céréales à paille

Avec apports fréquents (> 3 ans) de produits organiques dans les 10 dernières années

	<i>pluviométrie 1/10 au 1/03</i>	précédent avec apport de soufre (colza...)	autres préc.
Risques élevés, sols superficiels filtrants: argilocalcaire	<i>forte ou normale (>250)</i>	20	30
	<i>faible (<250)</i>	0	0
Risques moyens: argilocalcaire profond; limon battant froid hydromorphe	<i>forte (>400 mm)</i>	0	0
	<i>normale</i>	0	0
	<i>faible (<300)</i>	0	0
Risques faibles: sols profonds sains; limon argileux profond, limon franc	<i>forte (>400 mm)</i>	0	0
	<i>normale</i>	0	0
	<i>faible(<300)</i>	0	0



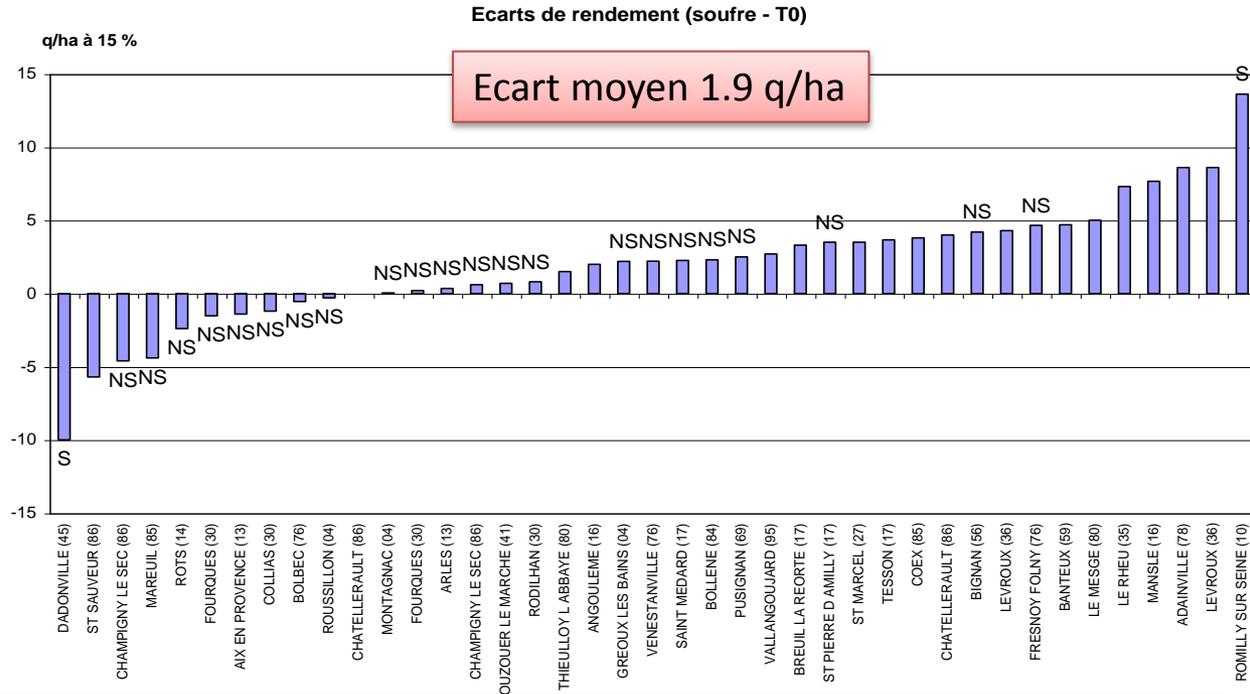
2006 - Observatoire soufre sur blé tendre et blé dur

Piloté par ARVALIS-Institut du Végétal et CEREXAGRI

Essais mis en place par: CA Ile de France, CA76, CA80, CA45, GRAINOR, SC2, CULTIVANCES, CAVAC, CETA Romilly, SYNERGIE, SOUFFLET ATLANTIQUE, CHARENTE COOP, INRA Le Rheu, MCA, NORIAP, CAPL, CEREXAGRI, ARVALIS

Caractéristiques des essais

- ❖ 41 essais dont 26 avec 3 ou 4 répétitions
- ❖ large gamme de sols, dominance de sols profonds
- ❖ 25 essais avec blé tendre et 18 avec blé dur
- ❖ Régions : Nord, Centre, Ouest, Sud
- ❖ Pluviométrie hivernale faible à moyenne
- ❖ 11 parcelles avec apport plus ou moins fréquents de produits organiques



- **Réponse globalement de faible ampleur**, cohérente avec pluviométrie hivernale faible et majorité d'essais avec risque soufre *a priori* faible (sols profonds)
- 5 essais/43 avec réponse significative ou > 5 q/ha
- 1 essai avec perte de rendement significative avec soufre et 3 autres essais avec perte > 4 q/ha (explication probable: interaction avec déficit hydrique et fortes t° lié à un décalage de végétation sur parcelles soufre : effet déjà observé sur essais antérieurs)



2007 - Observatoire soufre sur blé tendre et blé dur

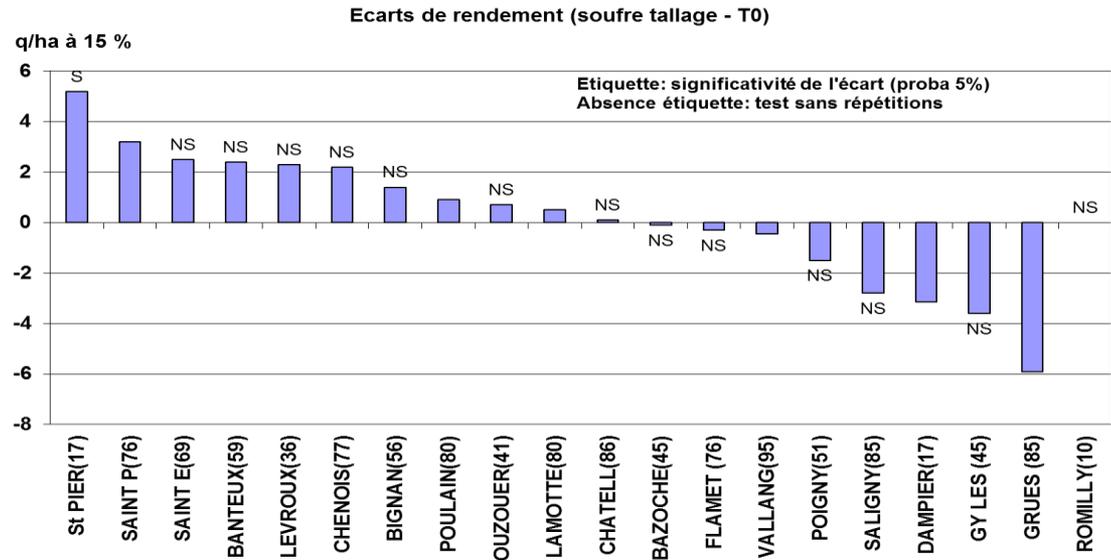
Piloté par ARVALIS-Institut du Végétal et CEREXAGRI

Essais mis en place par: CA Ile de France, CA76, CA80, CA45, GRAINOR, SC2, CULTIVANCES, CAVAC, CETA Romilly, SYNERGIE, SOUFFLET ATLANTIQUE, CHARENTE COOP, INRA Le Rheu, MCA, NORIAP, CAPL, CEREXAGRI, ARVALIS

Ecart moyen 0.19 q/ha

Caractéristiques des essais

- ❖ 20 essais dont 13 avec 3 ou 4 répétitions
- ❖ large gamme de sols (sols à risque fort et sols à risque faible)
- ❖ 17 essais avec blé tendre et 3 avec blé dur
- ❖ Régions : Nord, Centre, Ouest, Sud
- ❖ Pluviométrie hivernale faible à moyenne
- ❖ 3 parcelles avec apport plus ou moins fréquents de produits organiques



- **Très peu de réponses à l'apport de soufre:** 1 seul essai avec réponse significative
- Cohérence avec pluviométrie hivernale faible à moyenne et 12/20 essais avec risque soufre *a priori* faible (sols profonds)
- Surprenant pour 8 essais en sols à risque élevé (autres facteur limitants ?)

Évaluation du risque soufre sur les différents essais (selon grille ARVALIS)

	St P (17)	SAIN (76)	SAIN (69)	BANT (59)	LEVR (36)	CHEN (77)	BIGN (56)	POUL (80)	OUZO (41)	LAMO (80)	CHAT (86)	BAZO (45)	FLAM (76)	VALL (95)	POIG (51)	SALI (85)	DAMP (17)	GY L (45)	GRUE (85)	ROMI (10)	STD (17)	LE C (17)	
Apports organiques																							
sensibilité sol carence soufre																							
pluviométrie hivernale																							
précédent																							
Préconisation soufre	50	30	50	20	0	20	0	40	0	50	20	0	0	0	50	0	40	0	30	20	50	50	
Ecart rendement	5.2	3.2	2.5	2.4	2.3	2.2	1.4	0.9	0.7	0.5	0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-1.5	-2.8	-3.2	-3.6	-5.9	0.0			

- 0 essai avec écart S et apport non préconisé
- 11 essais avec écart NS et apport préconisé

Quel effet des apports de soufre sur la protéine ?

2 essais 2007-2008

Des teneurs en protéines en baisse de 0,2 à 0,3 point avec un apport de soufre

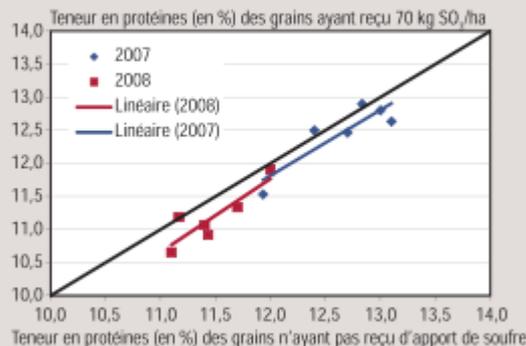


Figure 1 : Effet d'un apport de soufre sur les teneurs en protéines de six variétés en 2007 et 2008.

Quand l'apport de soufre n'a pas d'effet sur le rendement, il n'a pas d'impact sur la teneur en protéines du grain (même en cas d'apports tardifs).

Quand l'apport de soufre a un effet sur le rendement, la teneur en protéines n'est le plus souvent pas impactée. Parfois, l'impact peut être négatif sur la teneur en protéines par effet dilution en raison de la levée d'un facteur limitant sur le rendement.

5 essais 2000-2001

Site	Variété	Ecart de rendement (soufre - témoin) q/ha	Ecart de teneur en protéines (soufre - témoin) %
Misérieux (01)	Aztec	2,1	0,3
St-Hilaire en Woivre (55)	Shango	-1,4	0,1
Bergerac (24)	Galibier	6,2	0
Labergement (21)	Isengrain	4,5	-0,4
Satolas (69)	Aztec	4,6	-0,5

Conclusion :

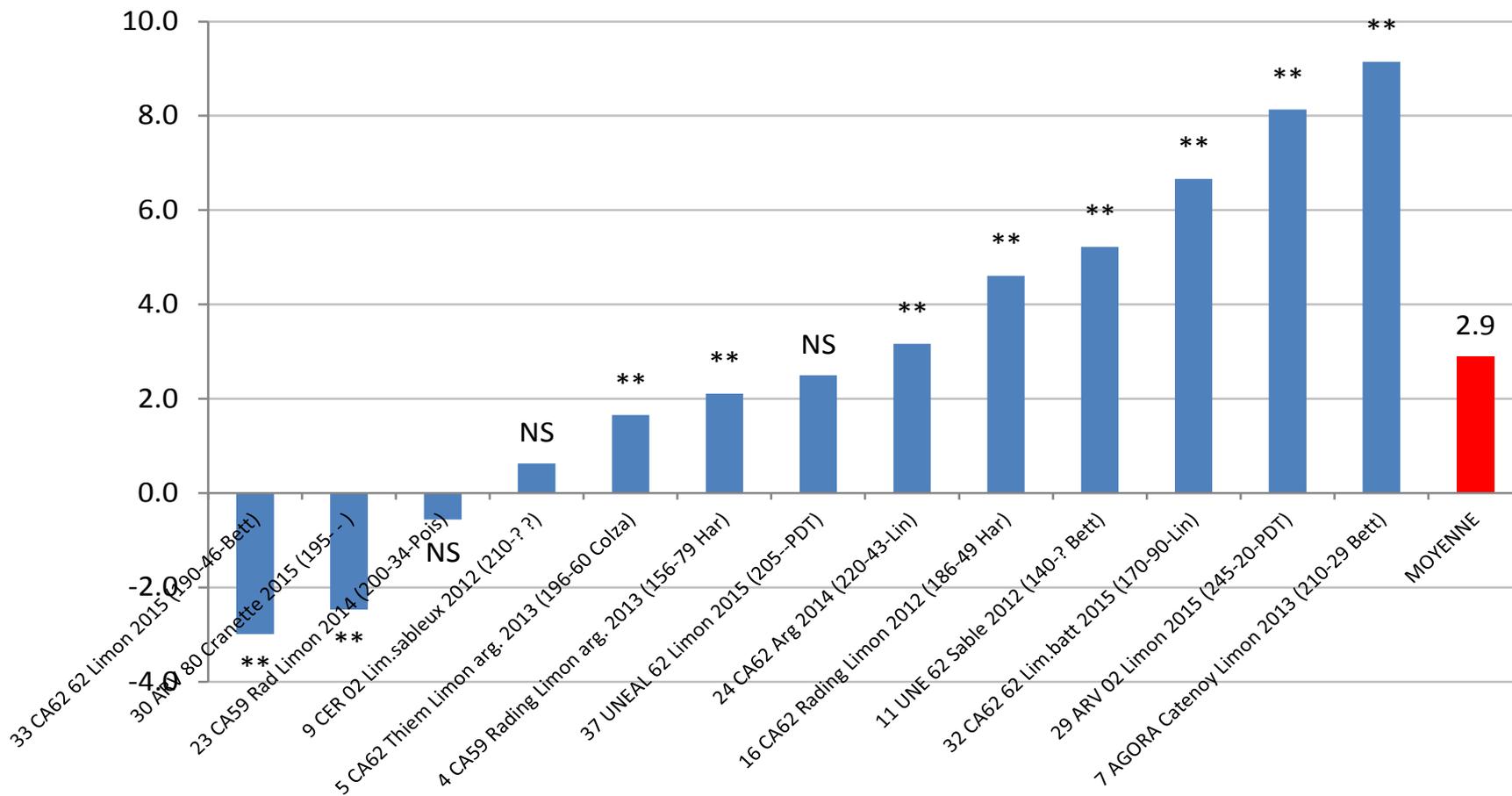
Selon les références expérimentales acquises, les apports de soufre ne peuvent être considérés comme un levier pour agir sur la teneur en protéines du grain.



Réseau d'essais 2012 à 2015 Nord-Picardie

Un gain y compris en limons profonds, malgré 4 hivers complètement différents : vers une évolution du conseil ?

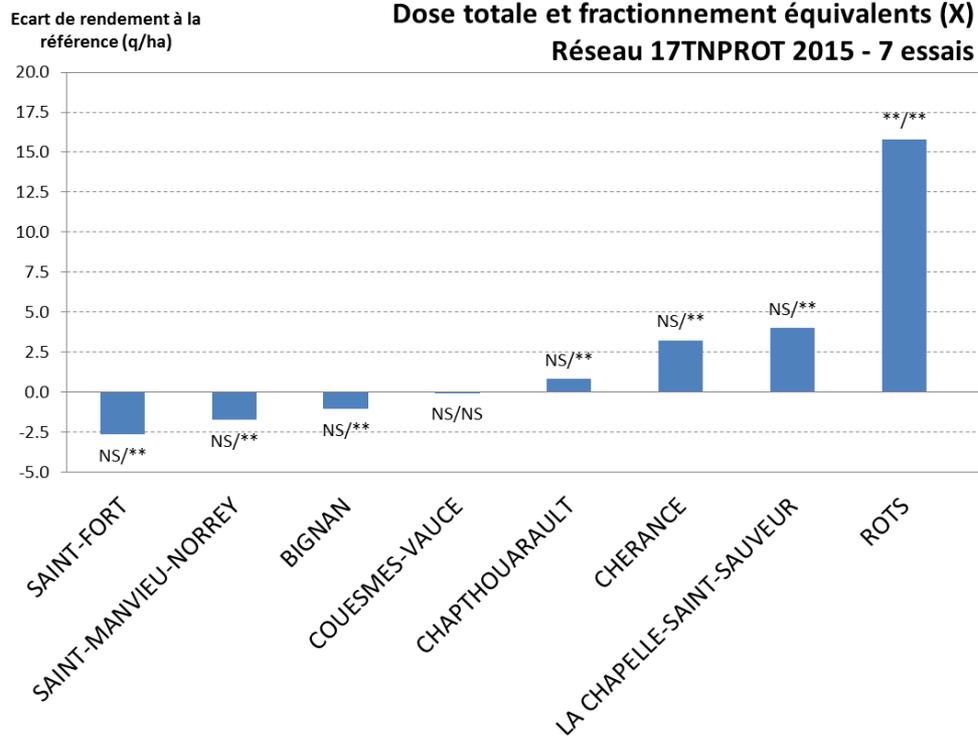
Apport de Soufre au Tallage (40u)





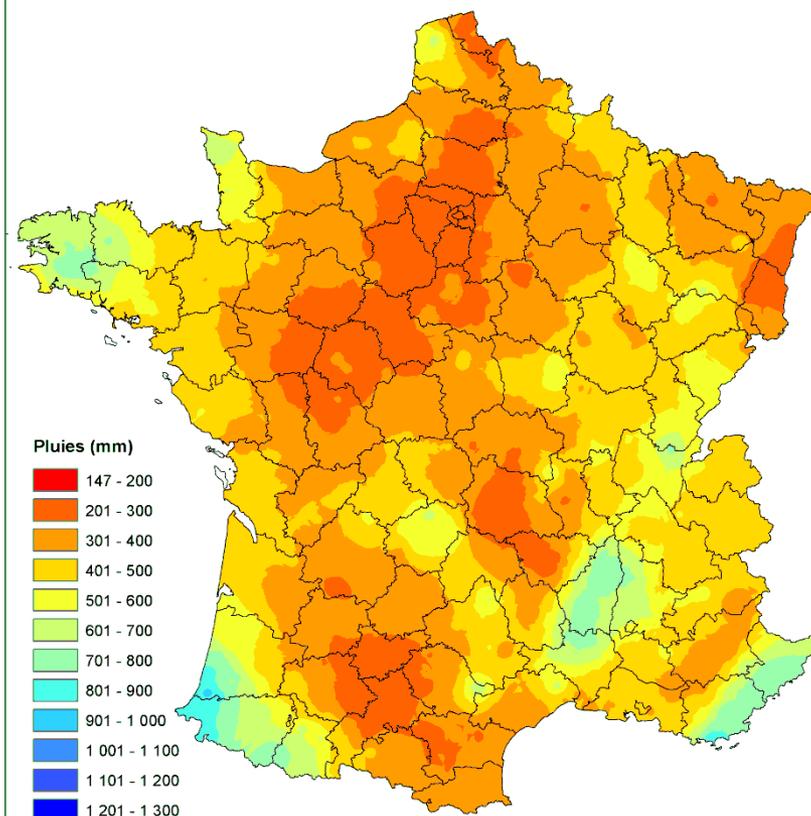
Réseau d'essais dans l'ouest de la France en 2015

Apport de soufre à E1cm : écart de rendement à l' impasse
Dose totale et fractionnement équivalents (X)
Réseau 17TNPROT 2015 - 7 essais



Peu de réponses sauf sur le site de Rots
(limon profond)
Faible pluviométrie hivernale

Cumul des précipitations
du 01/10/2014 au 01/03/2015



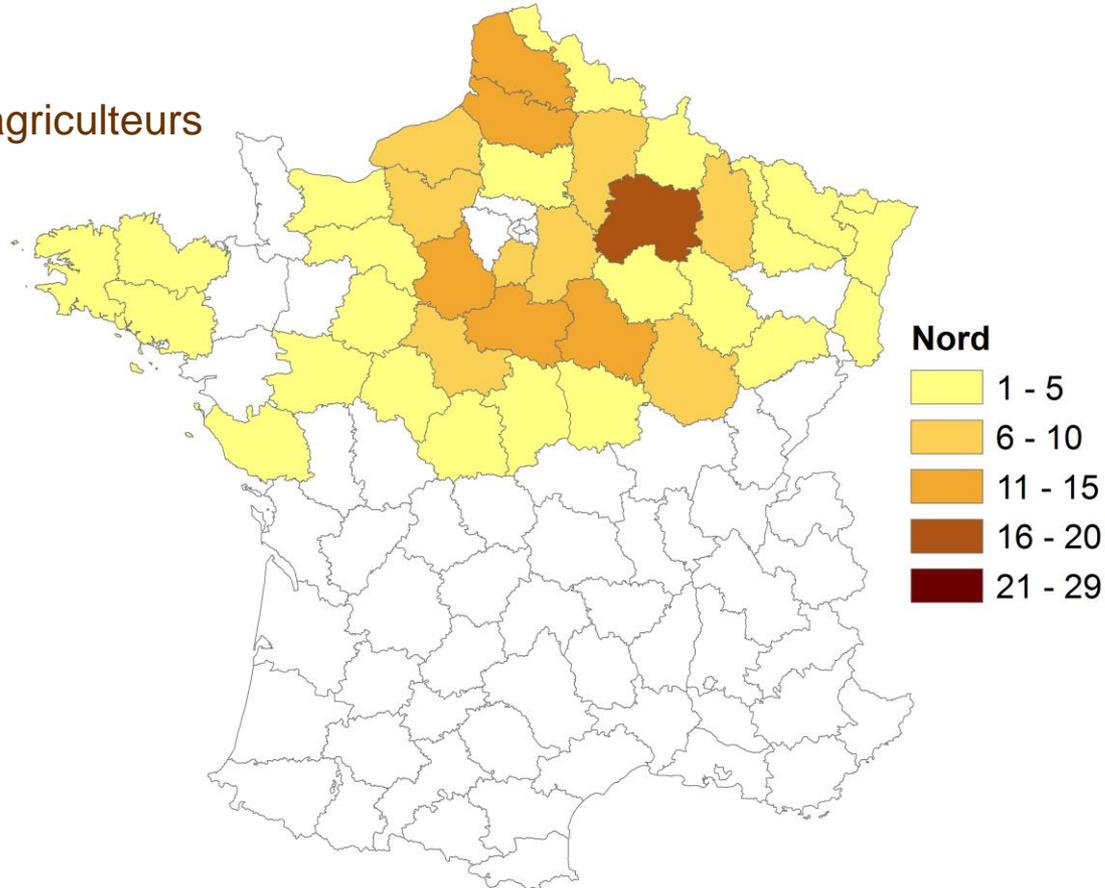


Enquête pratiques de fertilisation N et S

Origine géographique des agriculteurs enquêtés en 2015

NORD LOIRE

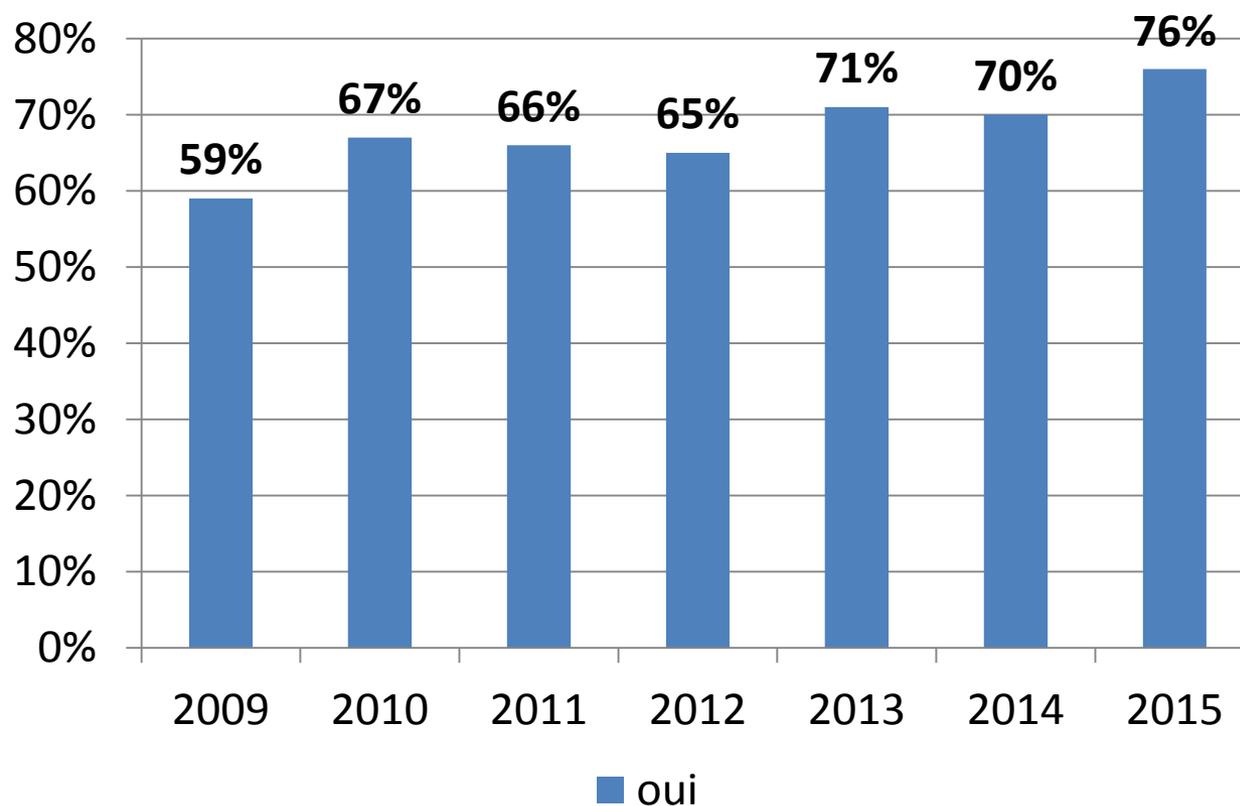
Base : 200 agriculteurs





Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Nord Loire

Apport d'un engrais soufré: tendance à l'augmentation depuis 2009

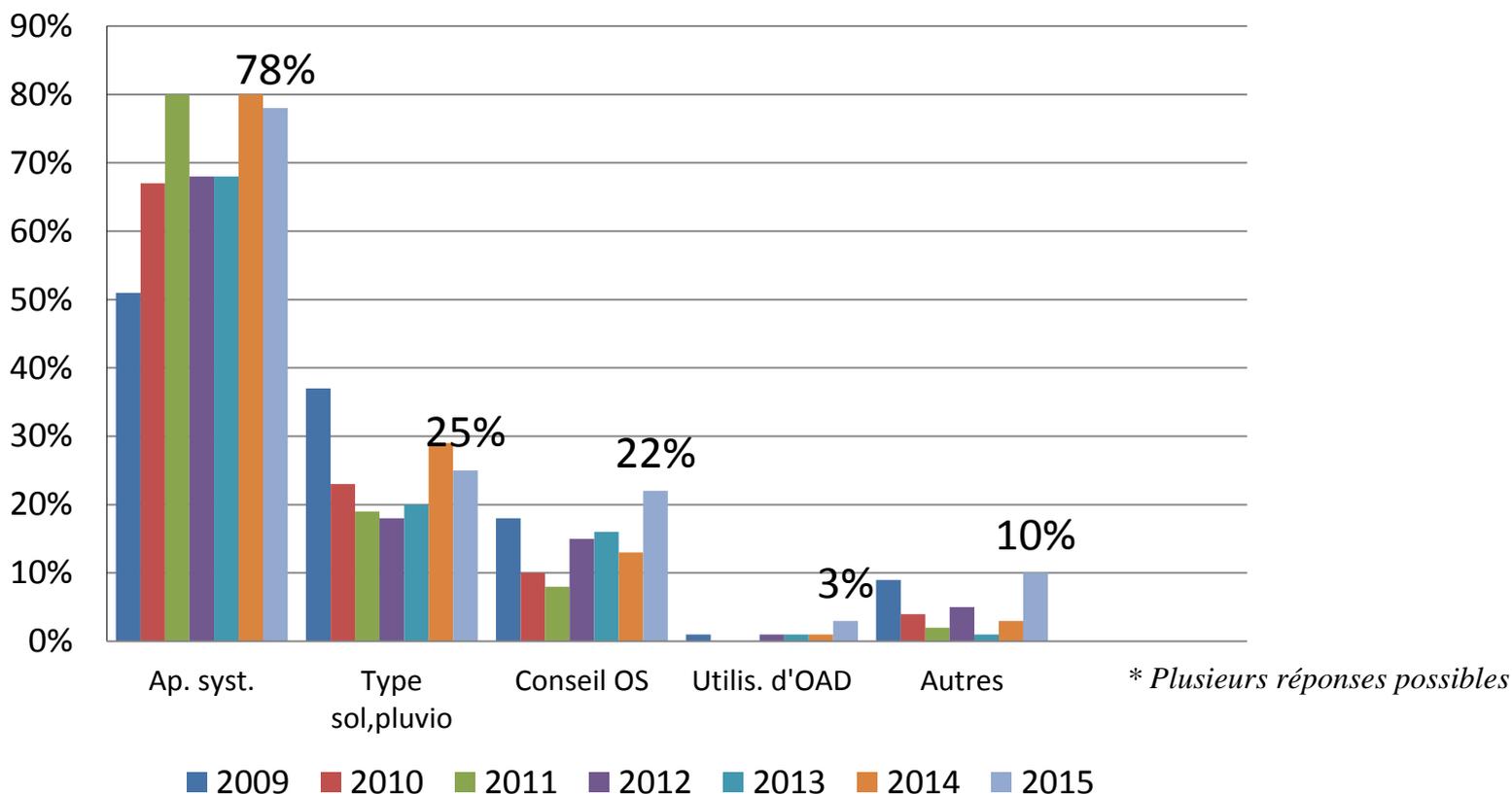


Question supplémentaire posée dans le cadre de l'enquête fertilisation azotée



Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Nord Loire

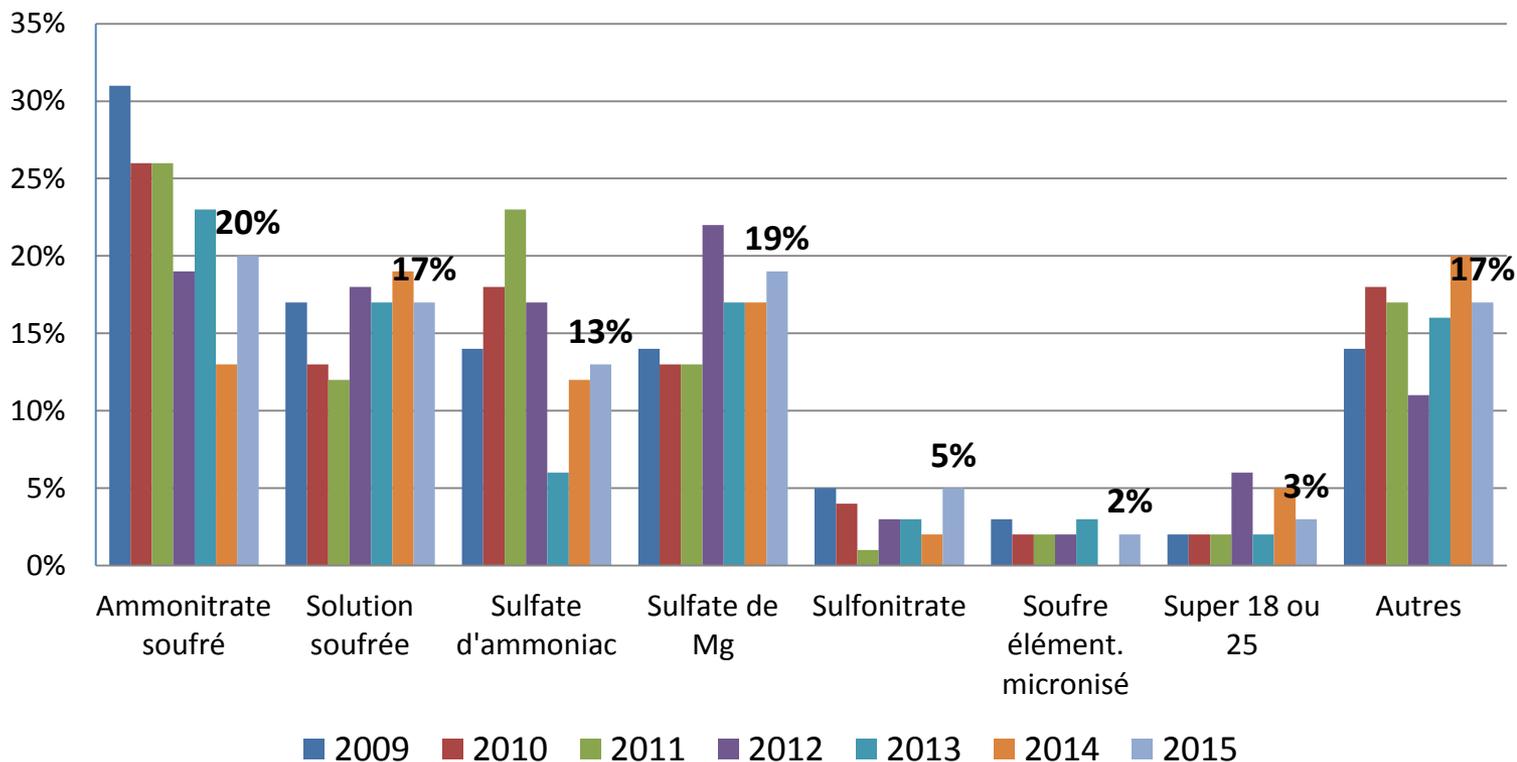
En fonction de quels critères avez-vous décidé d'apporter du soufre?





Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Nord Loire

Quelle a été la forme d'apport soufré ?

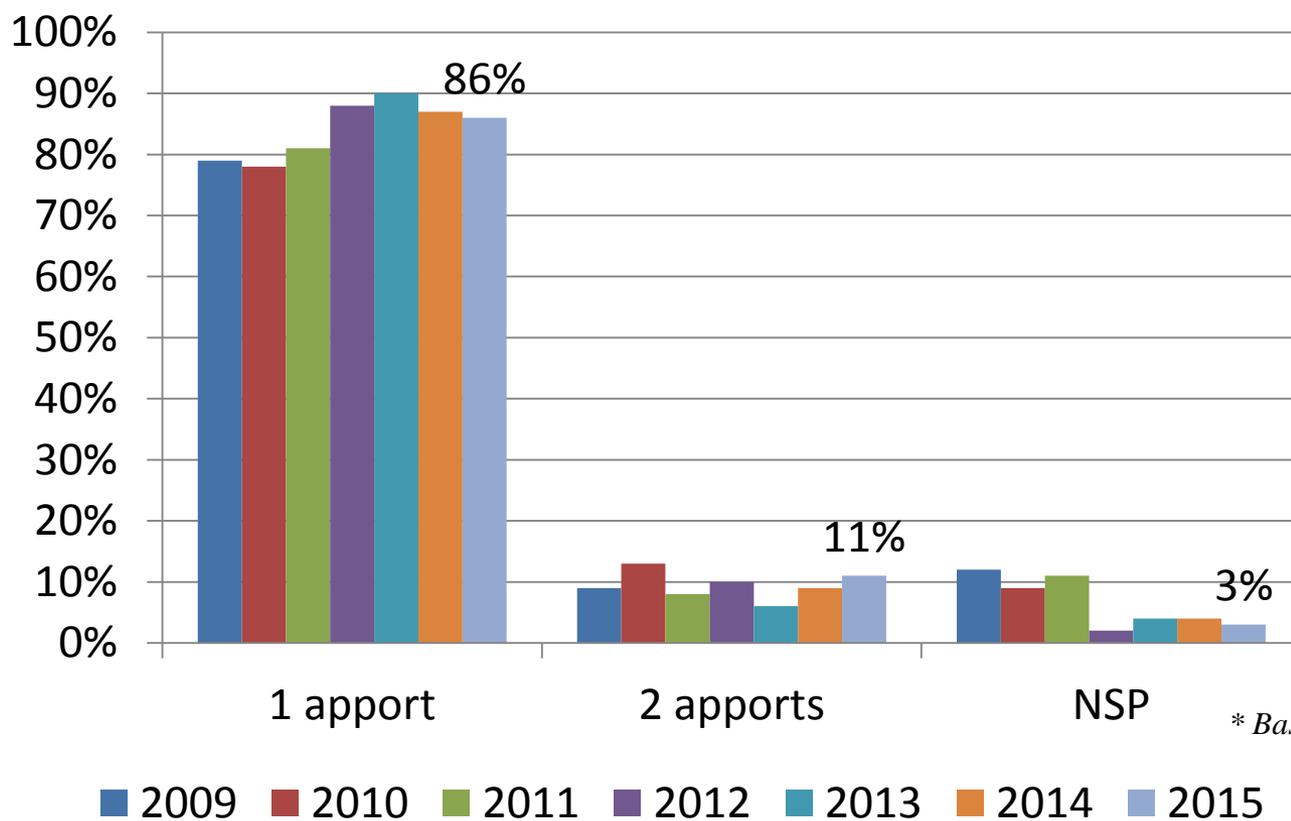


Question supplémentaire posée dans le cadre de l'enquête fertilisation azotée



Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Nord Loire

Quel a été le nombre d'apport soufré ?

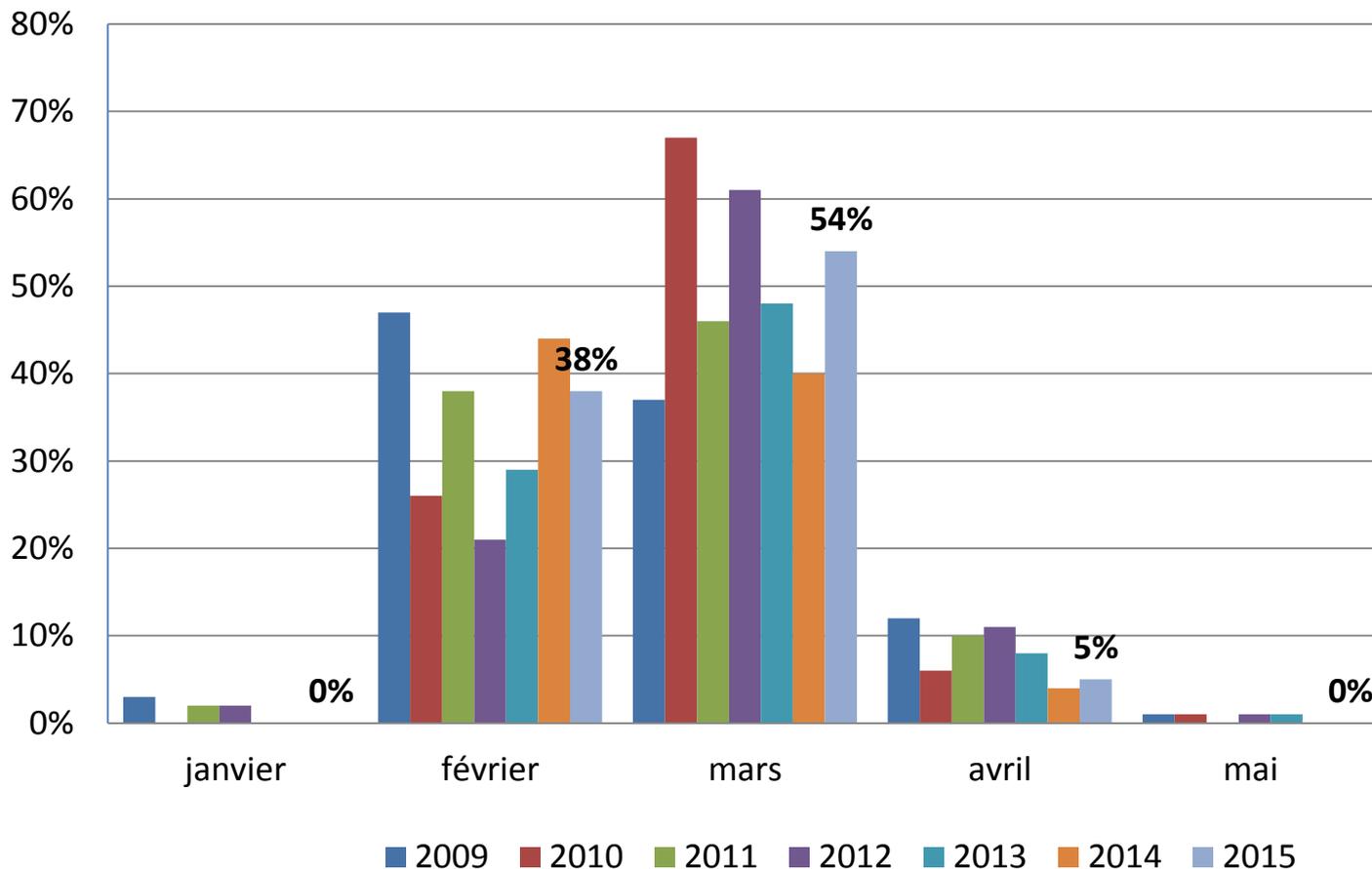


Question supplémentaire posée dans le cadre de l'enquête fertilisation azotée



Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Nord Loire

Quelle a été la date de réalisation du 1er apport ?



Question supplémentaire posée dans le cadre de l'enquête fertilisation azotée

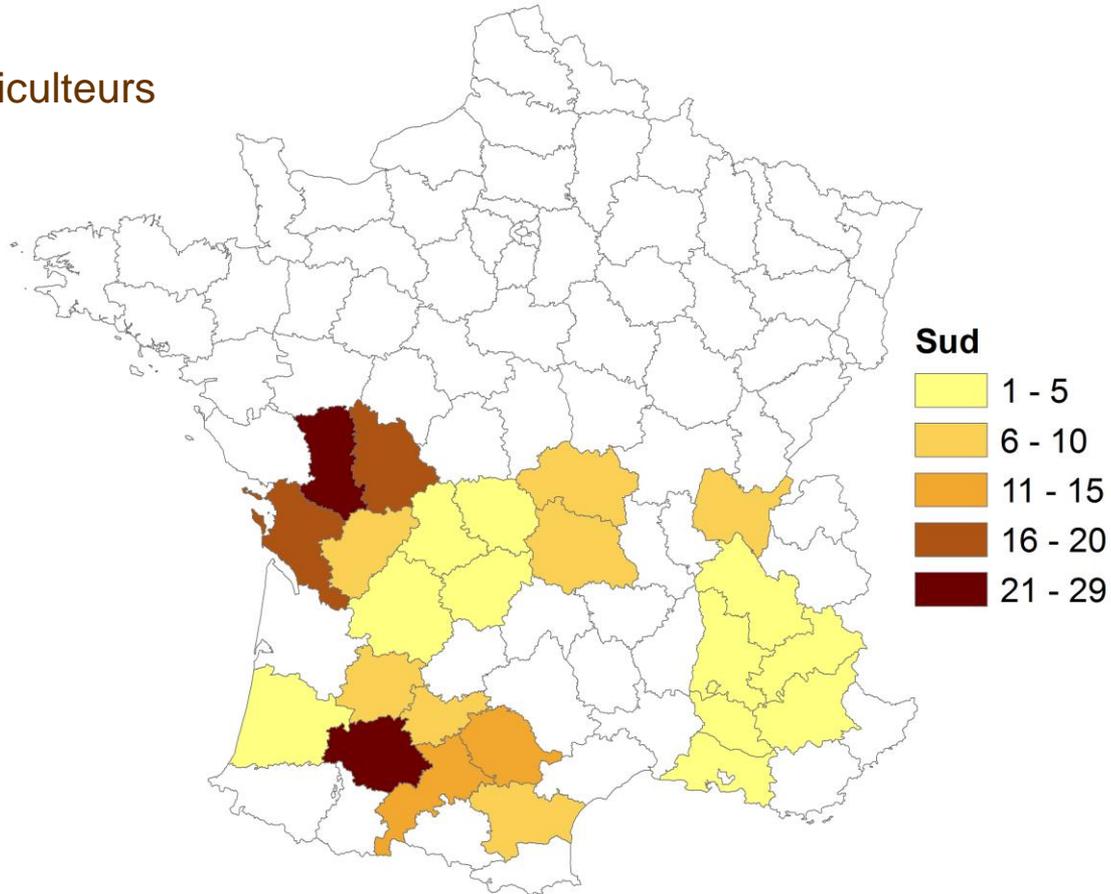


Enquête pratiques de fertilisation N et S

Origine géographique des agriculteurs enquêtés en 2015

SUD LOIRE

Base : 200 agriculteurs

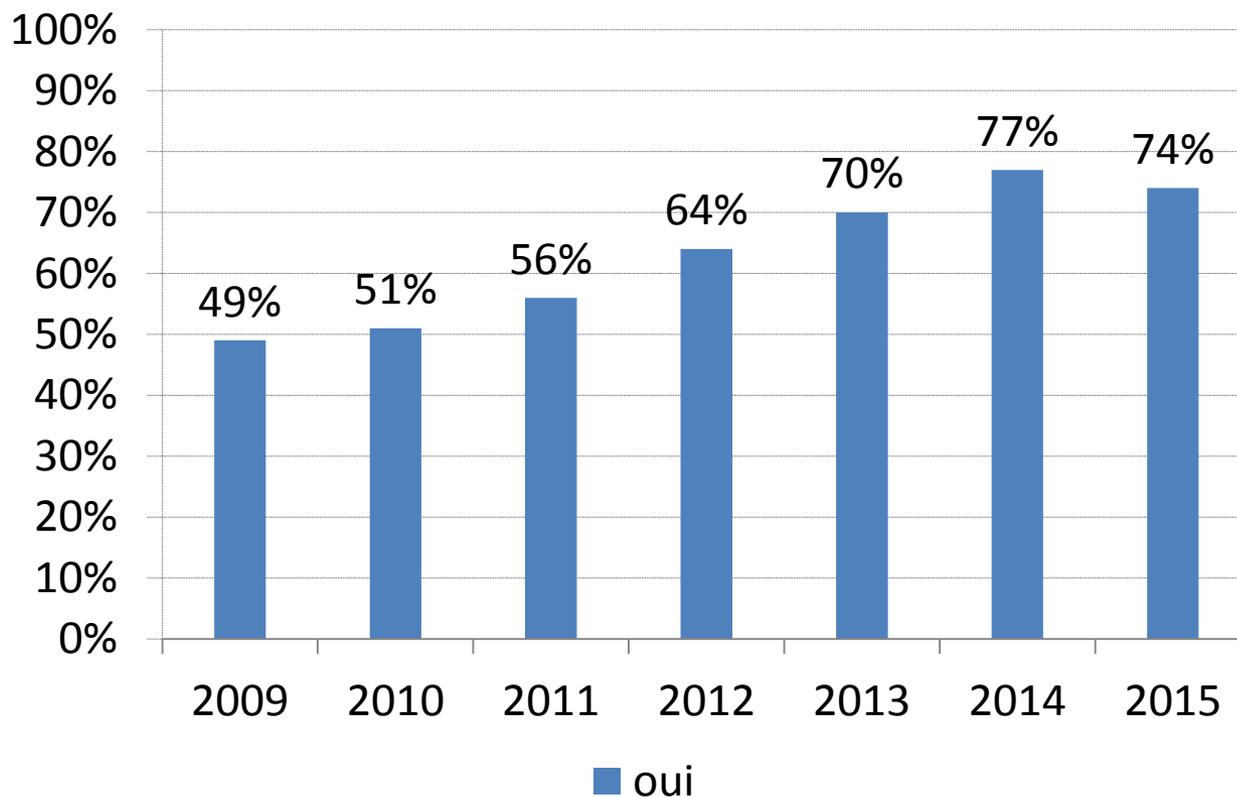




Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Sud Loire

Apport soufré

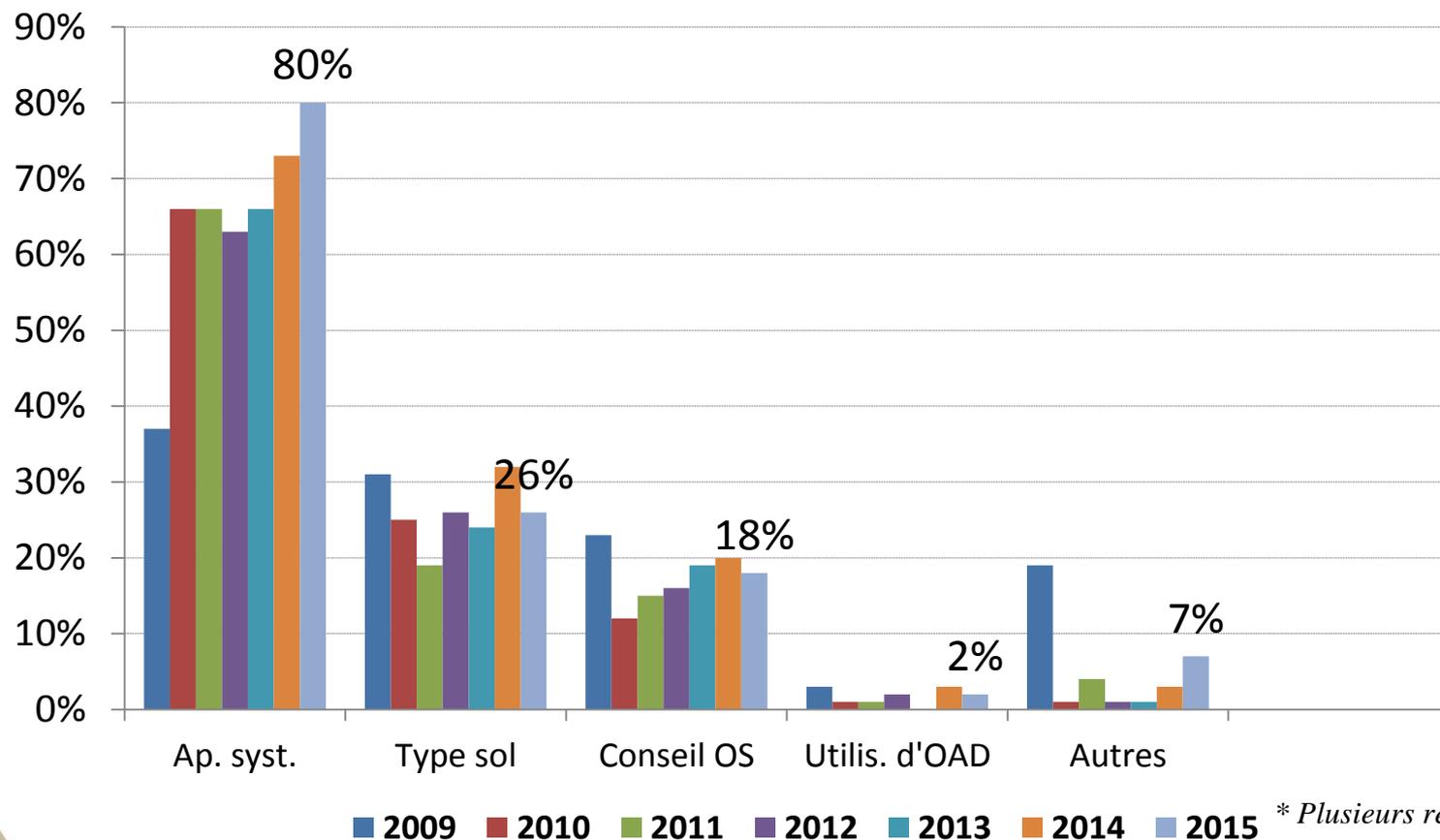
Apport d'un engrais soufré en 2015 ?





Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Sud Loire

En fonction de quels critères avez-vous décidé d'apporter du soufre ?



* Plusieurs réponses possibles

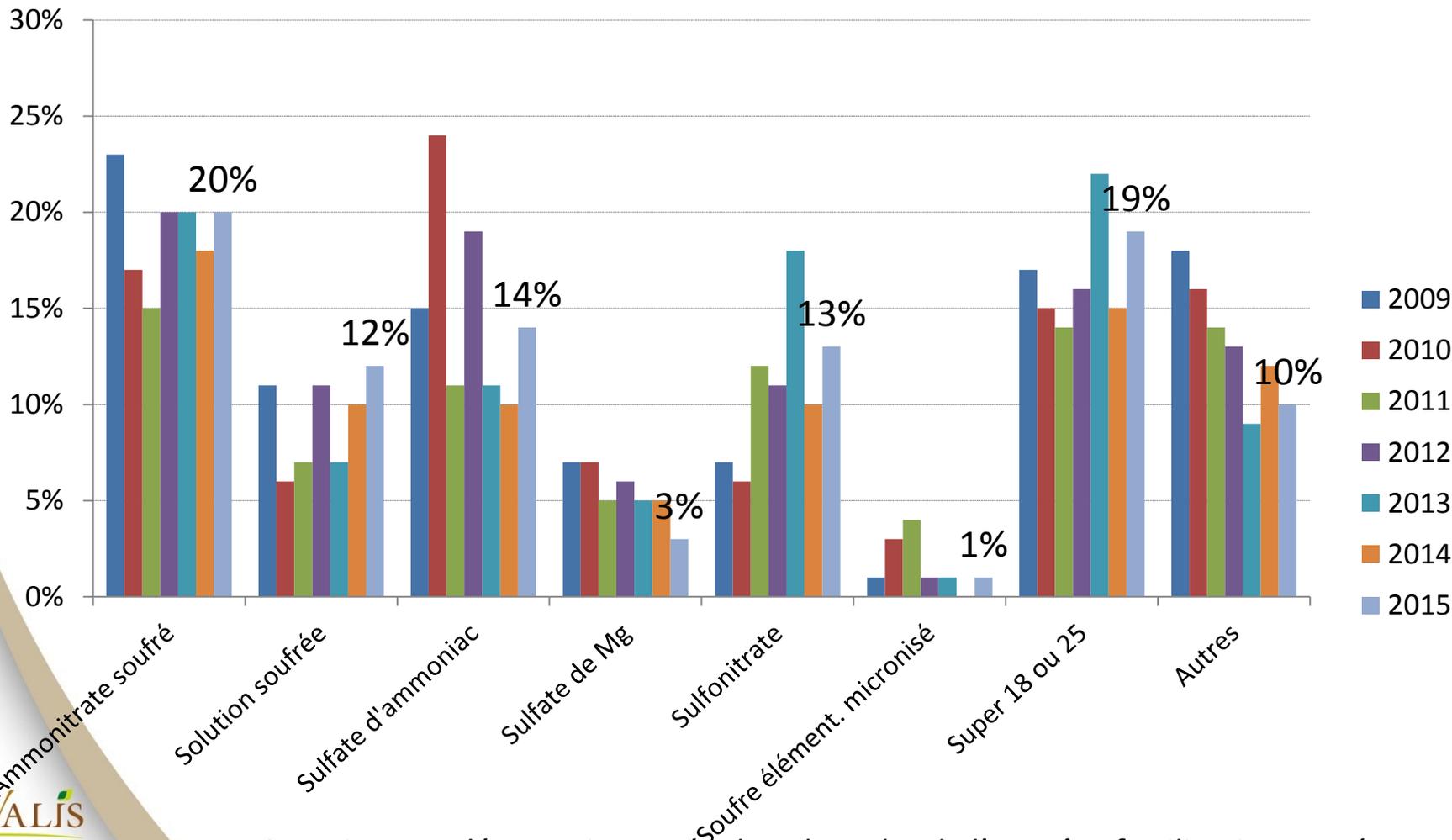
Question supplémentaire posée dans le cadre de l'enquête fertilisation azotée



Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Sud Loire

Apport soufré

Quelle a été la forme d'apport soufré ?



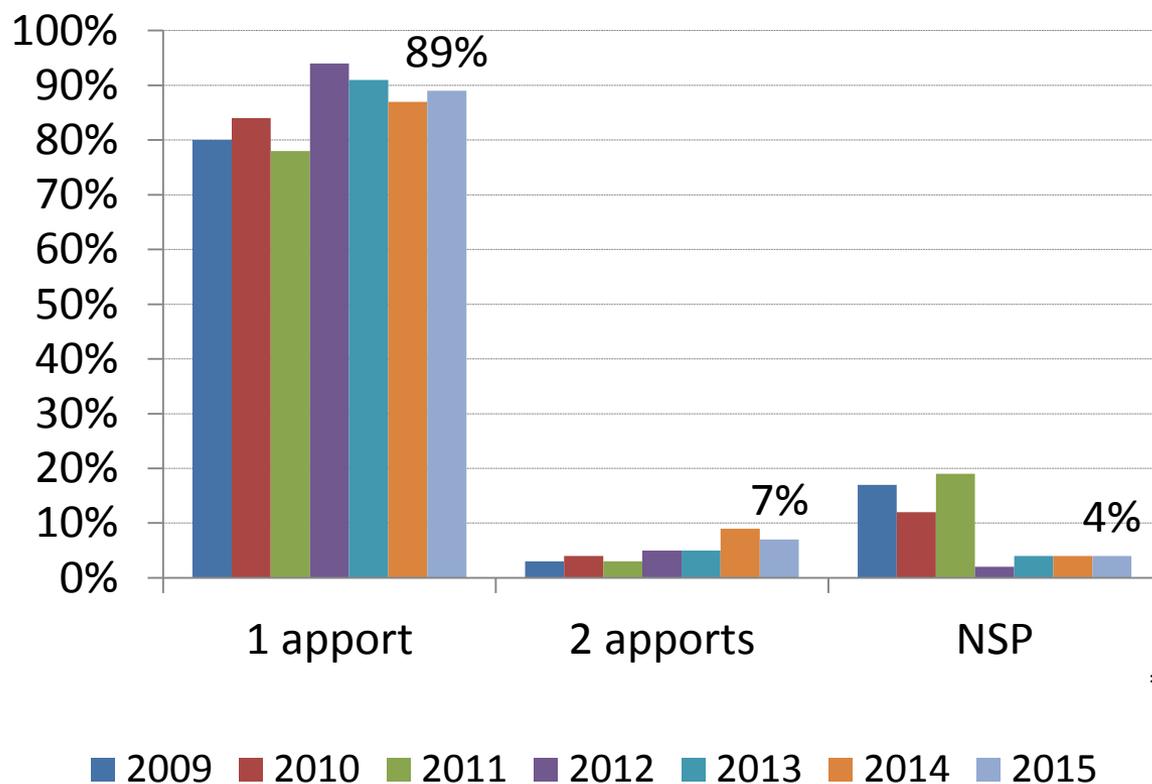
Question supplémentaire posée dans le cadre de l'enquête fertilisation azotée



Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Sud Loire

Apport soufré

Nombre d'apport soufré ?



* Base : ont apporté du soufre

■ 2009 ■ 2010 ■ 2011 ■ 2012 ■ 2013 ■ 2014 ■ 2015

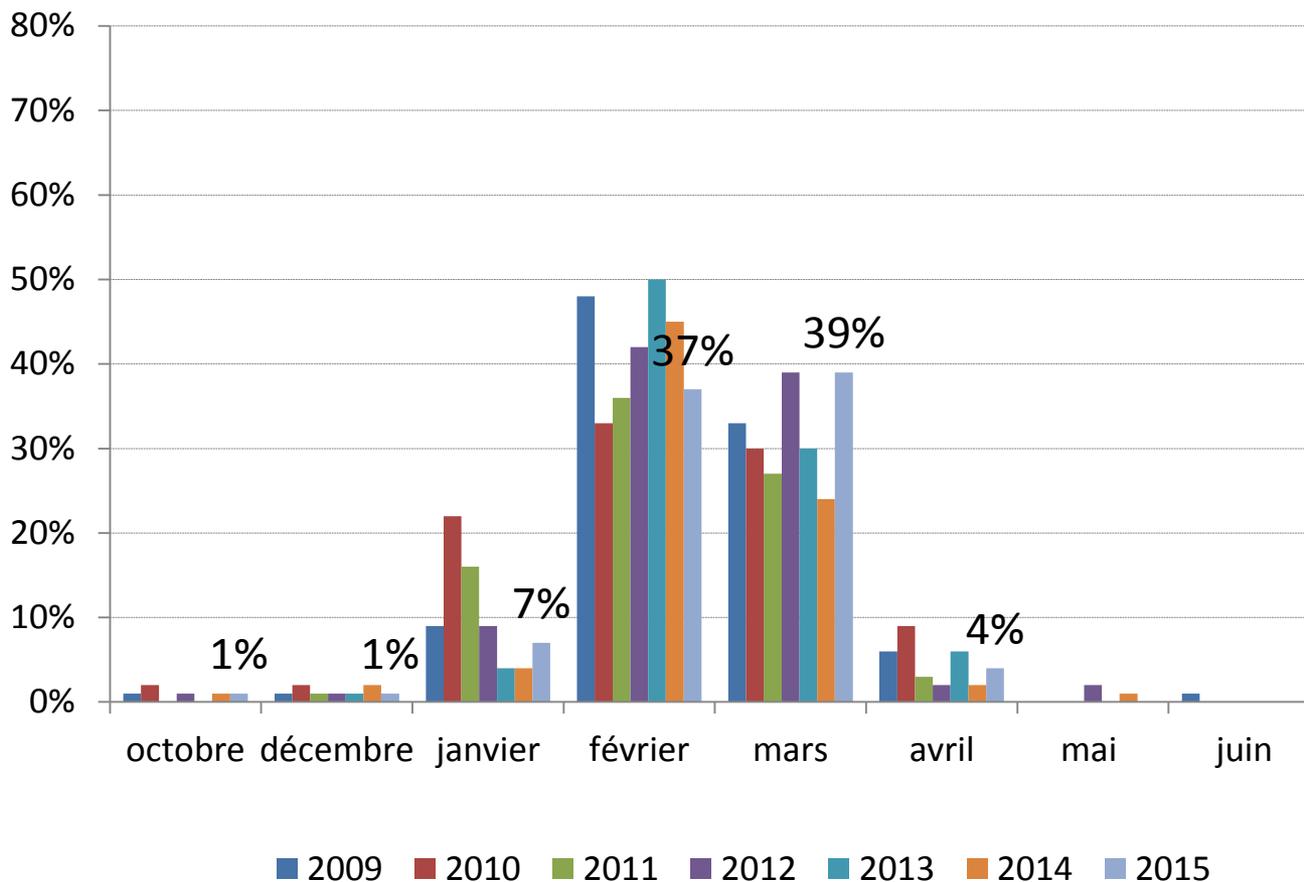
Question supplémentaire posée dans le cadre de l'enquête fertilisation azotée



Pratique de fertilisation soufrée du blé tendre Sud Loire

Apport soufré

Quelle a été la date de réalisation du 1er apport ?



Question supplémentaire posée dans le cadre de l'enquête fertilisation azotée



Revoir la grille de risque

- Préciser le risque dans les sols à faible risque

	<i>pluviométrie 1/10 au 1/03</i>	précédent colza ou autres avec apport soufre > 60 u SO3	autres précédents
Risques élevés = sols superficiels filtrants : argilocalcaire superficiel; sol sableux, limon caillouteux à silex	<i>forte ou normale (>250)</i>	40	50
	<i>faible (<250)</i>	20	30
Risques moyens = argilocalcaire profond ; limon battant froid hydromorphe	<i>forte (>400 mm)</i>	30	40
	<i>normale</i>	20	30
	<i>faible (<300)</i>	0	20
Risques faibles = sols profonds sains; limon argileux profond, limon franc	<i>forte (>400 mm)</i>	20	30
	<i>normale</i>	0	20
	<i>faible (<300)</i>	0	0

- Introduire critère prédicteur minéralisation S: %MO
- Introduire notion de besoin de soufre (rendements élevés)
- Retombées atmosphériques S (carte ?)



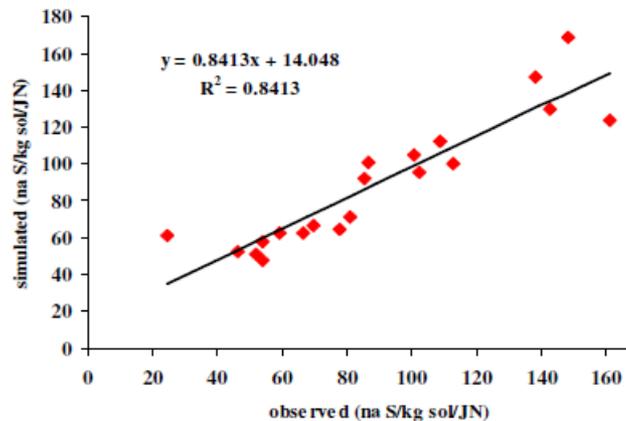
Travaux de Machet et al, 2009

Prédiction de la minéralisation de S du sol

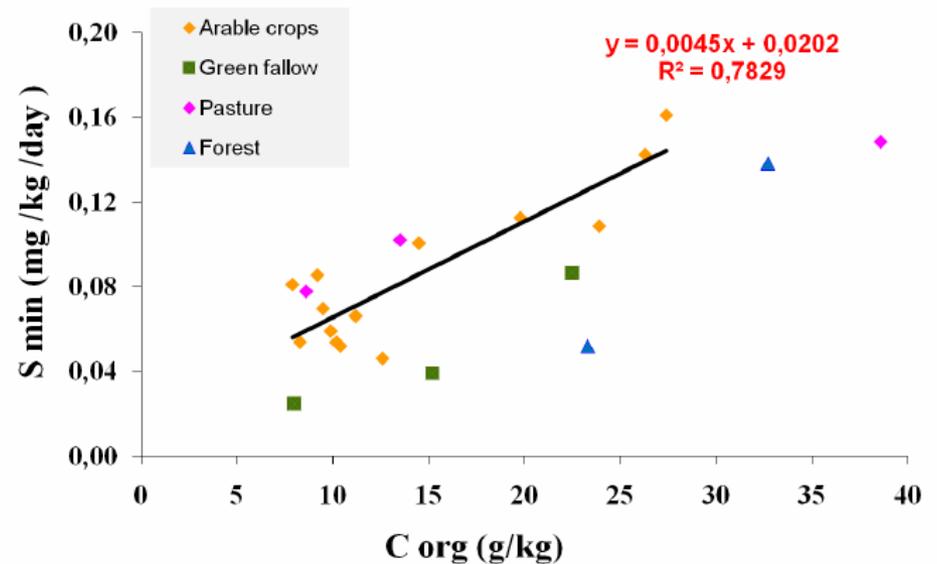
$$S \text{ min} = 3.72 * C \text{ org} - 14.58 * \text{pH} + 0.57 * \text{initial S-SO}_4 - 0.08 * \text{arg} + 146.6$$

(20 sols, $r^2=0.84$)

Comparaison des vitesses simulées et observées



Minéralisation de S : relation avec la teneur en Corg du sol





Réseau de test simple de grande ampleur (100 aine de sites à l'échelle France)

Choix de situations:

- Ciblage des sols à faible risque
- Système céréalier (pas d'apport MO ou occasionnel)
- Blé tendre
- Essais avec répétitions



Réseau de test simple de grande ampleur (100 aine de sites à l'échelle France)

Module de base:

- Réponse Rdt, à un apport de soufre (50 kg SO₃/ha fin tallage)
- Diagnostic de nutrition soufrée dans le témoin sans soufre
 - Indicateurs plantes
- Evaluation du risque: pluie hivernale, type de sol (teneur MO), historique apport de soufre
- Mesure rdt, % prot, PMG



Réseau de test simple de grande ampleur (100 aine de sites à l'échelle France)

A voir:

- Type d'engrais soufré (dans tous les cas compensation élément apporté avec soufre)
- Espèce: blé tendre, blé dur, orge d'hiver, orge de printemps...
- Démarrage campagne 2016 ?

Compléter évaluation grille de risque sur essais soufre récents

Compléter fichier

Site	Type de sol	Espèce	Rdt sans soufre q/ha
Organisme	calcaire	Variété	Rdt avec soufre q/ha
commune	caillouteux	Date de semis	Significativité
Année récolte	profond	Date d'apport de soufre	% prot sans soufre q/ha
Station météo	hydromophe	Dose kg SO3/ha	% prot avec soufre q/ha
Pluie 1/10 au 31/12	Texture	Type engrais soufré	Significativité
Pluie 1/01 au 1/03	%MO	dose N totale kg N/ha	Significativité
Précédent			
Apport SO3 sur précédent			
Fréquence d'apports de PRO depuis 10 ans			