



La fertilité des sols dans les systèmes fourragers

Journées AFPF (8 - 9 avril 2015 – Paris)

Chaulage des prairies : les leviers efficaces pour corriger l'acidité

Bouthier Alain¹, Soenen Baptiste², Castillon
Pierre^{2†}, Crocq Gilles³

¹ : ARVALIS-Institut du Végétal, Station du Magneraud, 17700 Saint-Pierre-d'Amilly ;

² : ARVALIS-Institut du Végétal, 6 chemin de la côte vieille, 31450 Baziège

³: CLASEL 53

les sources d'acidification

Ce qui augmente l'acidification

- La pluviométrie hivernale (lessivage nitrate et cations du sol : ↗ concentration en H⁺)
- Certaines pratiques de fertilisation azotée :
 - Bilan N excédentaire,
 - Engrais avec forme NH₄⁺ majoritaire
- Cultures de légumineuses
- Exportation de biomasse (cultures, pailles, couverts)

Ce qui atténue l'acidification

- La couverture des sols en automne - hiver
- Les apports d'effluents d'élevage

Impact important du bilan d'azote sur l'acidification

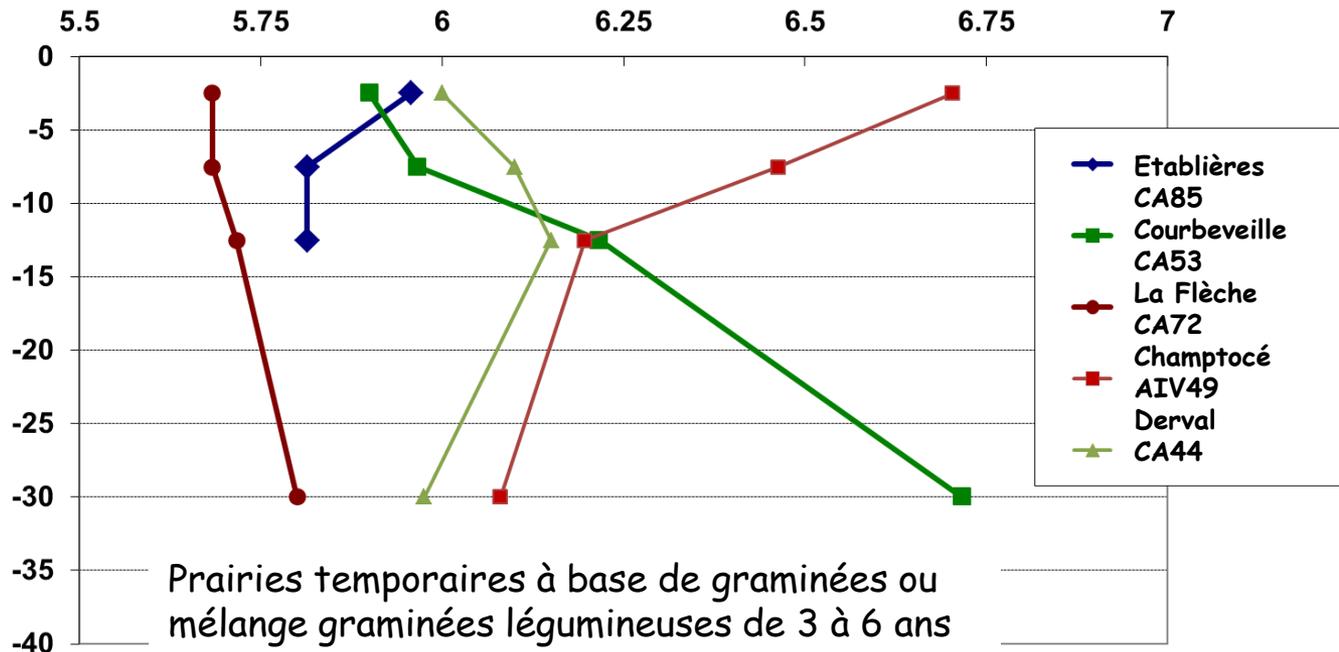
Effet de la fumure azotée sur le pH eau et la teneur en CaO échangeable sous prairies fauchées (durée des essais: 4 ans)

Essai	kg N/ha annuel	pH eau		CaO ech. ‰	
		Intitial	Final	Intitial	Final
La Chapelle Montreuil (86)	140	6,1	5,7	1,78	1,67
	340	6	5,1	2	1,27
Derval (44)	120	6,3	6,4	1,35	1,58
	300	6,6	5,7	1,2	0,98

Engrais azoté = ammonitrate

Différenciation de gradients de pH en prairie de longue durée mais non systématique

pH initial de 5 sites
réseau d'essais chaulage Prairies Pays de la Loire
2008-2012

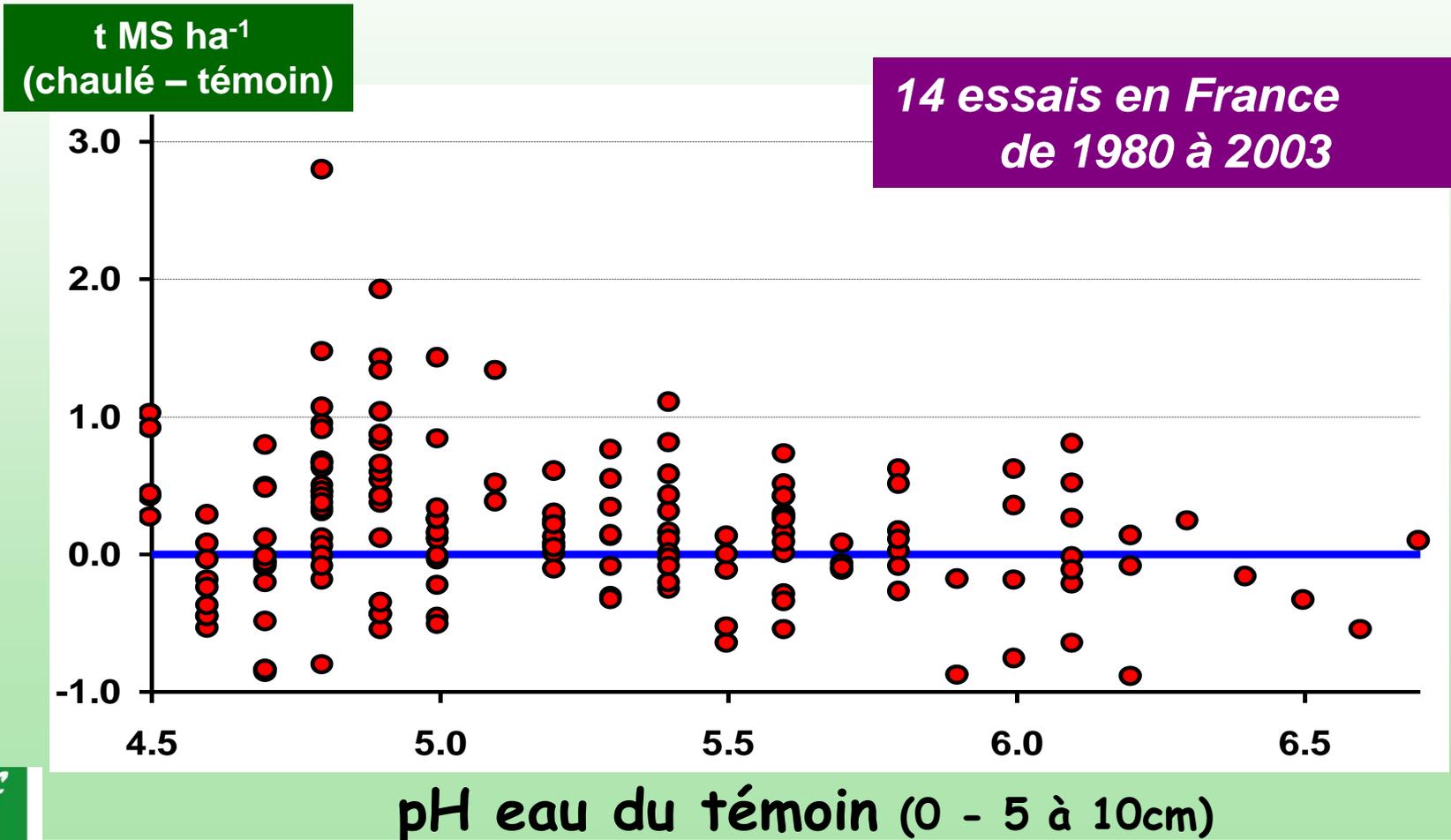


des gradients d'acidité liés au:

- type de sol
- passé cultural de la parcelle

Chaulage et production d'herbe selon le pH du sol

Gain de rendement avec chaulage > 1 t MS/ha lorsque pH eau témoin < 5

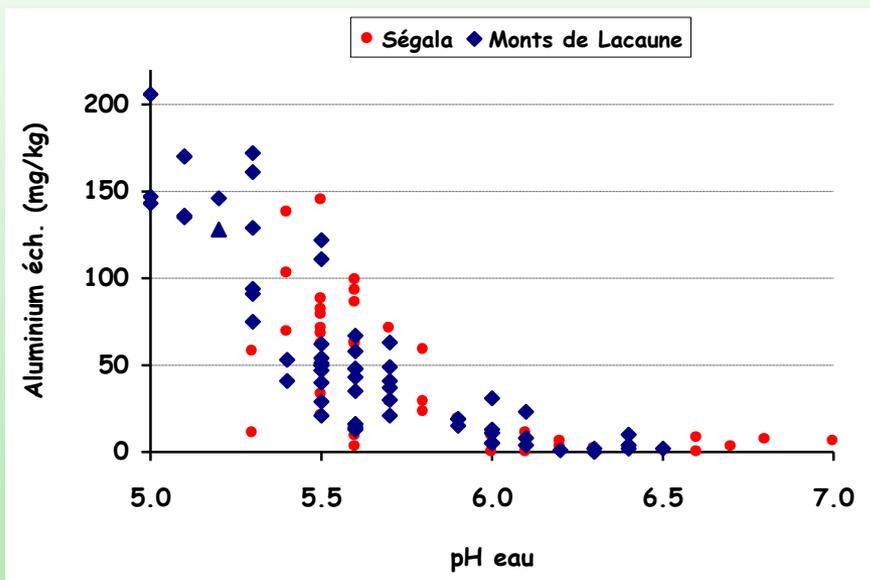


Effets des amendements basiques sur le sol et les cultures

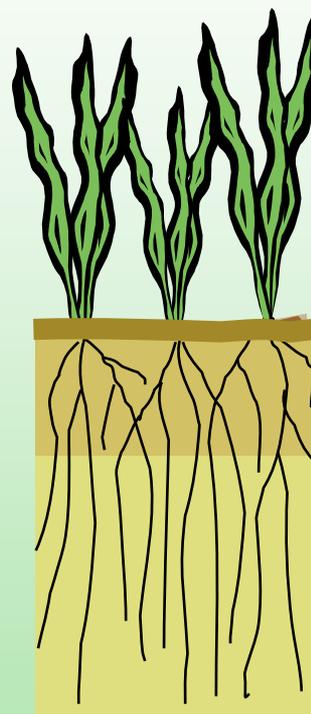
- Diminution de l'acidité du sol
- Suppression de la toxicité aluminique
- Minéralisation accrue de N organique du sol
- Modification de la disponibilité des éléments minéraux P, Mg, Oligoéléments (Mo, Mn, B, Zn, Cu)
- Modification de l'état structural du sol

Acidité: surtout une question de toxicité de l'aluminium

Relation entre le pH eau et la teneur en Aluminium échangeable du sol sous prairies dans le Tarn



Effet de la toxicité aluminique sur le système racinaire et la nutrition des plantes



Al faible



Al élevé

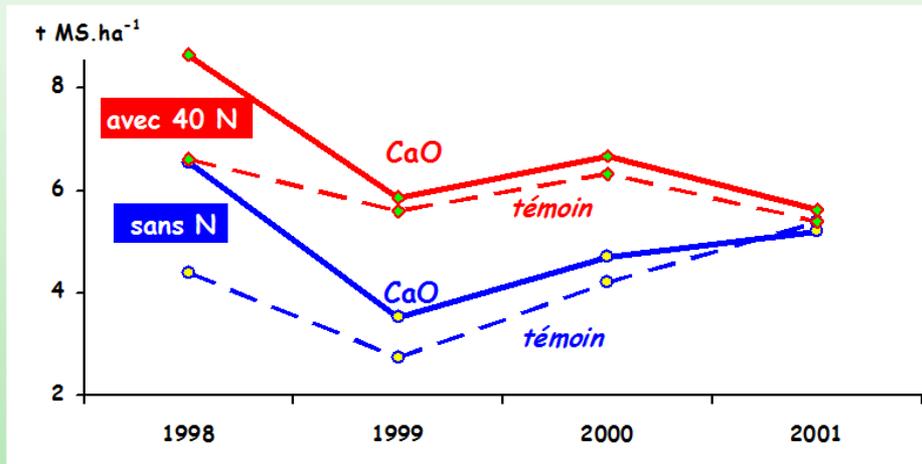
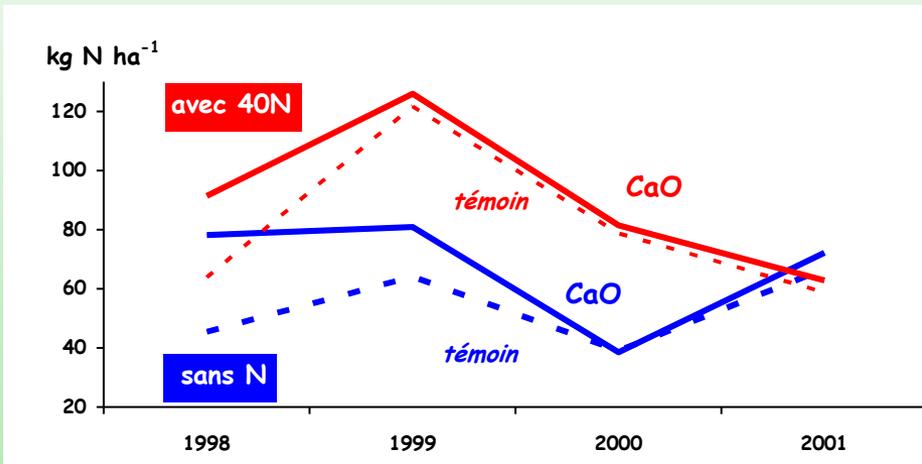
Toxicité Al =

- racines courtes, épaisses et peu ramifiées
- réserve hydrique faible
- accès limité à la réserve de P et K dans le sol
- azote mal utilisé

Minéralisation accrue de N organique du sol

Chaulage et alimentation azotée de la prairie au 1er cycle
Essais de Vezins de Levezou (12) - France Amendements - RAGT

pH eau 0-20cm = 6,2 en 1998
Apport de 1t CaO /ha en 1998 et en 1999



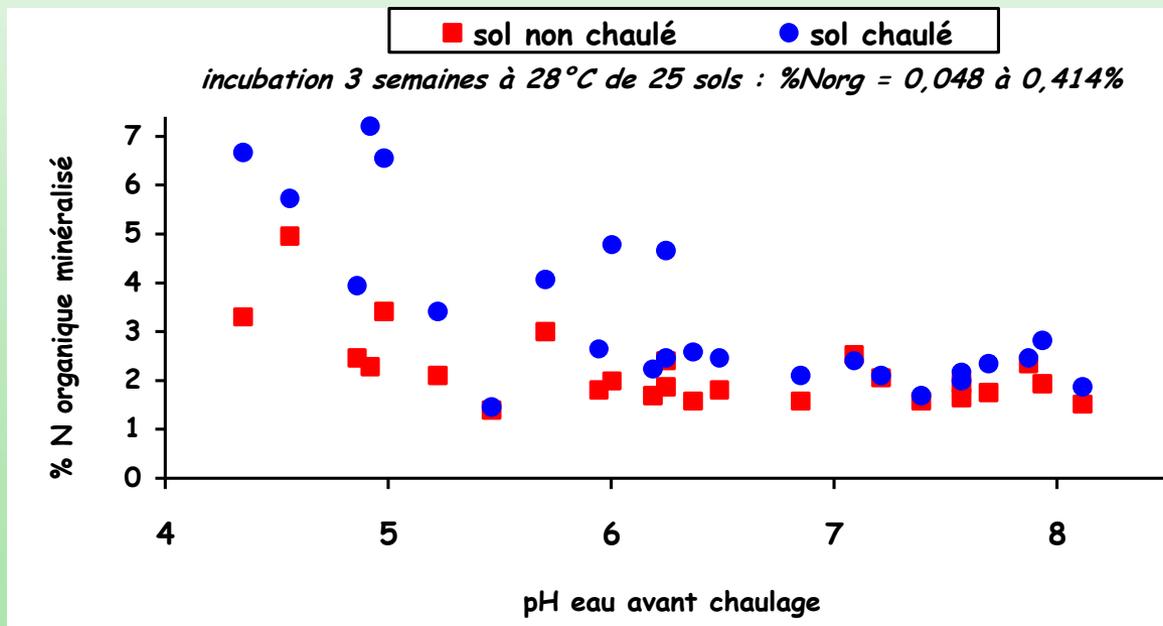
- ❑ Réponse sur la production et l'azote absorbé visible les années d'apport
- ❑ Observations similaires sur 8 autres essais sur prairie: effet chaulage + 13 % N absorbé (Peltier, 2001)

Effet sur minéralisation de N organique du sol confirmé par de nombreuses publications

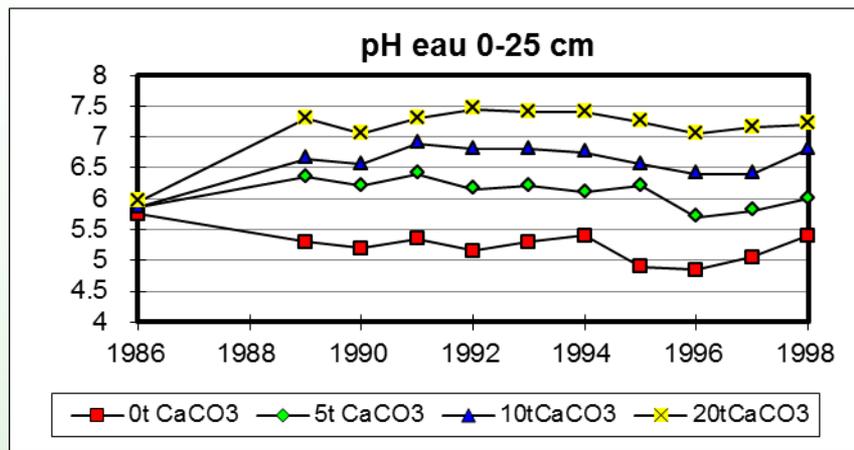
L'effet du chaulage sur la fourniture d'azote par le sol du à une minéralisation accrue de la MO est :

- occasionnel (sols riches en MO)
- temporaire (1 à 3 ans après le chaulage)
- d'intensité variable (0 à 60 kg N ha⁻¹) selon l'acidité initiale du sol et la dose d'amendement

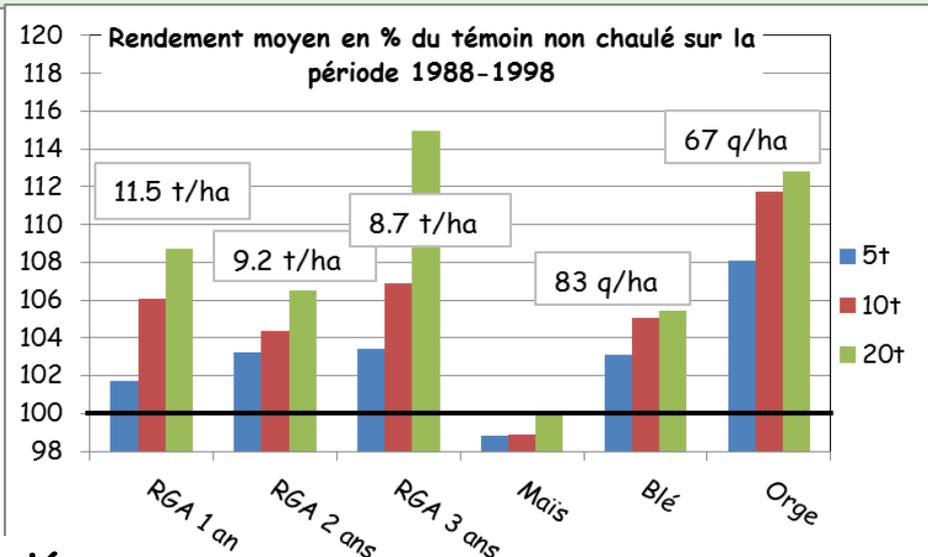
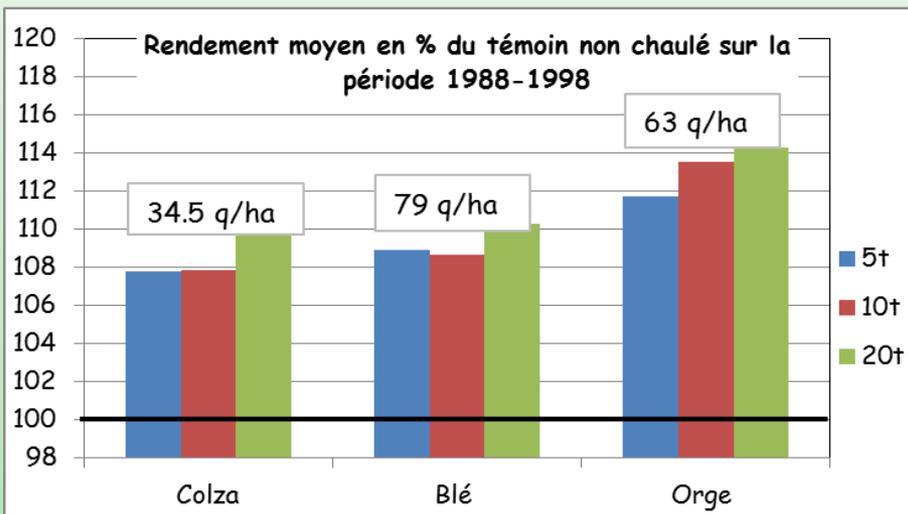
Effet d'un apport de 1% CaCO₃ sur le taux de minéralisation de N organique du sol (*Cornfield 1959*)



Effet du chaulage sur la production de cultures annuelles et d'une prairie de RGA dans 2 rotations: essai de Jeu les Bois 1988-1998



- Effet du chaulage sur toxicité aluminique mais également sur propriétés physiques (sol sablo-limoneux instable, hydromorphe, drainé)
- Réponse plus forte des cultures d'hiver, surtout les années avec hivers pluvieux
- Réponse de la prairie (1^{ère} coupe) également plus forte après hivers pluvieux
- Réponse plus forte des céréales en rotation céréalière qu'en rotation mixte



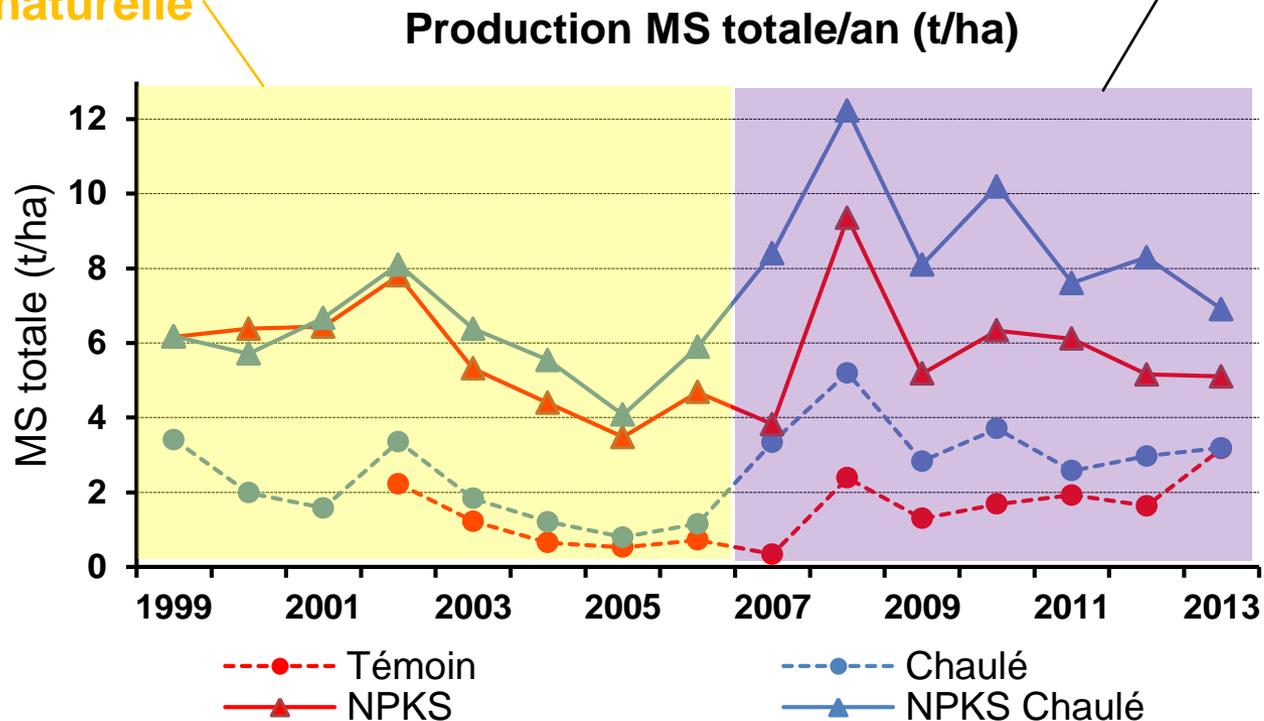
Etiquette: rendement du témoin non chaulé

Le chaulage : à raisonner avec la conduite de la prairie dans son ensemble

Prairie naturelle

Dactyle

Essai de longue durée de Massat (09) 1989 à 2013
Prairie permanente
pH eau (0-5 cm) < 5



En sol très acide, le chaulage n'a que très peu d'effet à lui seul sur la production fourragère.

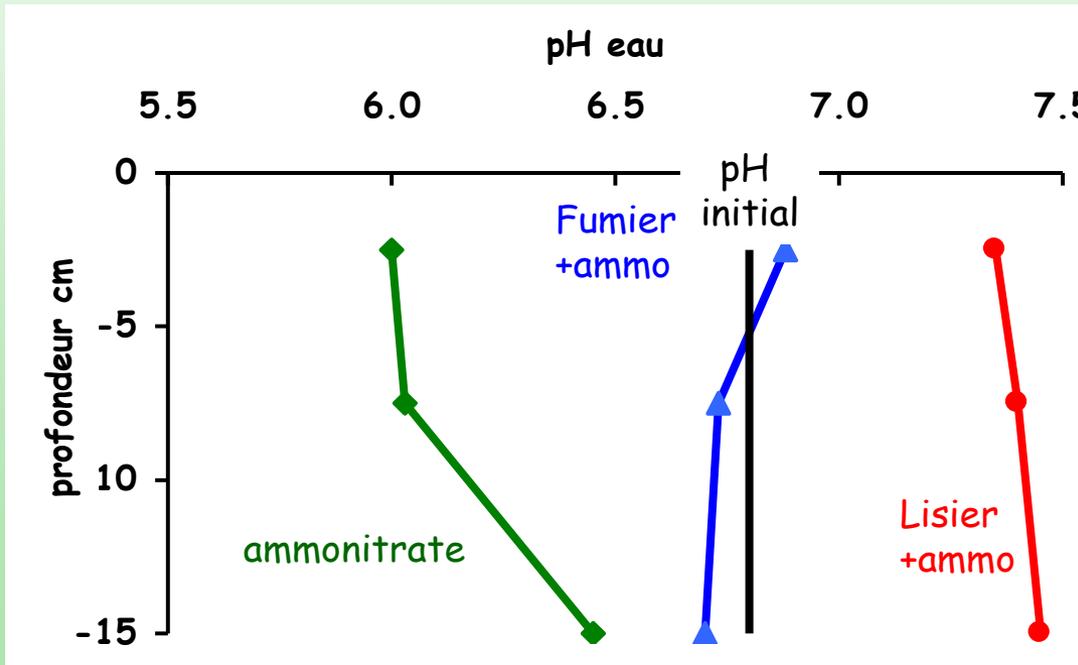
Une modification de la flore en faveur des bonnes graminées fourragères et légumineuses passe par :

- Un rythme d'exploitation adapté
- Une fertilisation adaptée
- Le chaulage

Les engrais de ferme n'acidifient pas les sols.

Le remplacement partiel ou total des engrais azotés minéraux par des engrais de ferme ralentit la vitesse d'acidification des sols ou les alcalinise

Effet sur le pH eau d'un sol limoneux de fumier et lisier de bovins appliqués pendant 9 ans sur RGA Station Arvalis de La Jaillière (44)



Gamme de pH eau souhaitable selon le type de sol et le type de prairie

Borne inférieure

□ variabilité spatiale et temporelle du pH

- pH eau 5 à 6 selon les sols, les cultures et la profondeur d'échantillonnage

5.5 en sols sableux

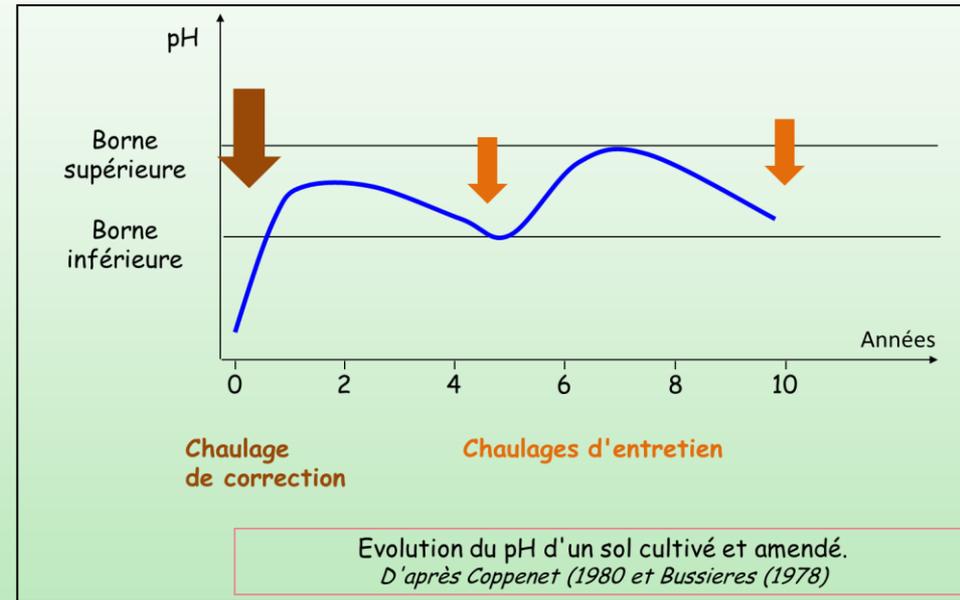
5 (0-5 cm) ou 5.5 (0-10 cm) en prairie permanente

5,6 - 6 dans les autres sols en rotations avec grandes cultures et prairies temporaires

6 à l'implantation d'une luzerne

Borne supérieure dans certains sols (6.5 à 6.8)

□ éviter les problèmes de carences induites en **manganèse**, zinc, cuivre, ou bore surtout en sols sableux, sablo-limoneux ou limons caillouteux riches en MO



Conclusions: gestion du chaulage sur prairies

- ✓ prairies temporaires courte durée (≤ 5 ans)

pH eau horizon travaillé > 5.6
à 6

- ✓ acidité du sol contrôlée par amendements apportés pour les cultures en rotation ou avant le semis de la prairie

- ✓ prairies permanentes ou temporaires de longue durée

pH eau 0-5 cm > 5.0

- ✓ s'il y a présence d'espèces peu tolérantes à la toxicité aluminique

- ✓ prairies permanentes à flore « acidophile »
- ✓ chaulage n'a pas d'effet sur la production d'herbe.
- ✓ Attention: à long terme le sol peut s'acidifier fortement en profondeur.

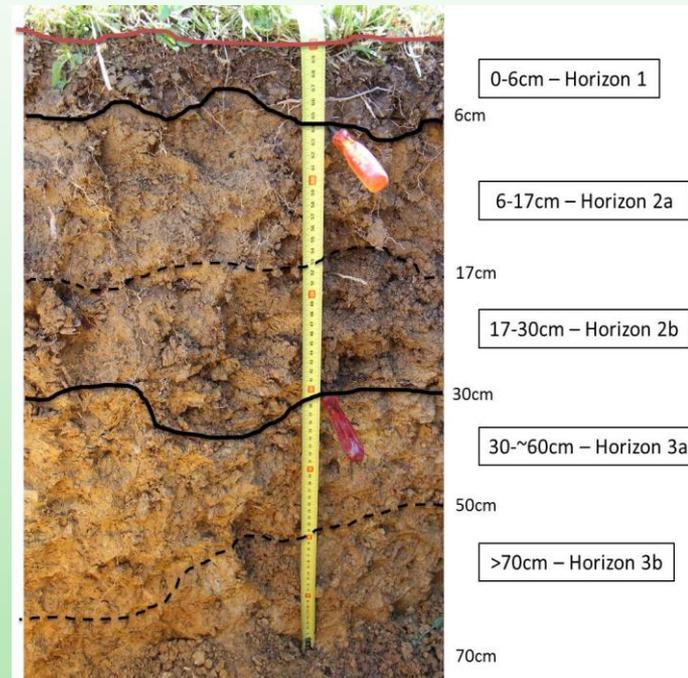
- apport d'amendement basique = fourniture d'azote par le sol plus abondante année (20 à 60 kg N ha⁻¹) mais réponse aléatoire
- Produits organiques limitent l'acidification ou alcalinisent

Etude de l'effet du gypse sur prairie permanente acide

Essai de longue durée de Massat (09)
1989 à 2013
Prairie permanente pH eau (0-5 cm) < 5

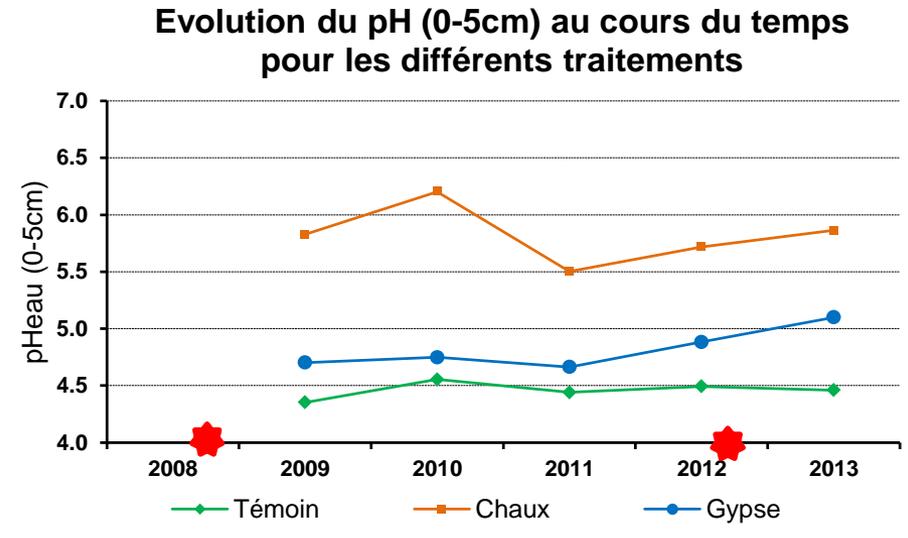
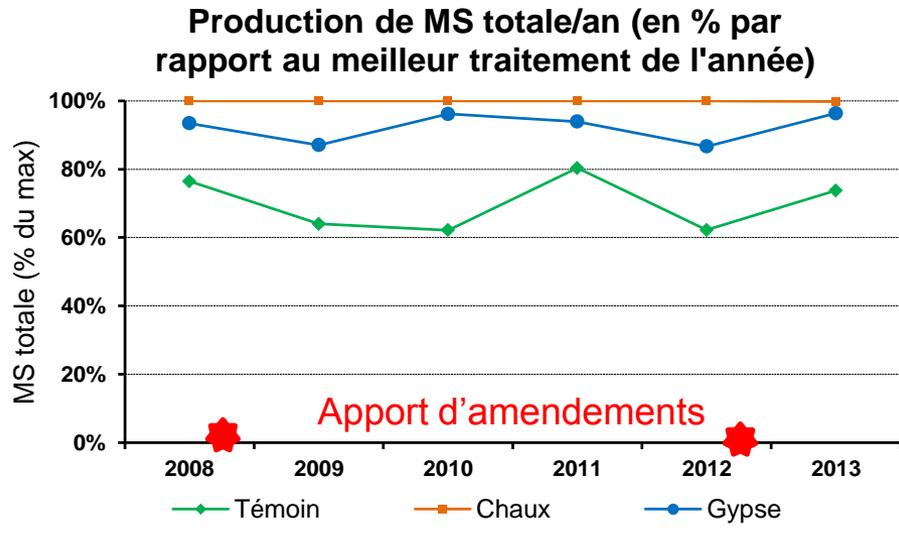
Appellation	Traitements (2008 à 2014)					
		N	P	K	S	Amendement
Témoin	T0	=	0	=	0	-
Témoin fertilisé	T1		-			
Chaux fertilisé	T2		100% chaux (CaO)			
Carbonates fertilisé	T3		100% carbonates (CaCO ₃)			
Gypse fertilisé	T4		100% gypse (CaSO ₄)			
Gypse et chaux fertilisé	T5		2/3 chaux + 1/3 gypse			
Chaux seule	T6	0	100% chaux			

Introduction de 2 modalités à base de Gypse, car effet bénéfique déjà prouvé dans la littérature étrangère -> il permet d'améliorer les rendements des productions et les enracinements sans modifier le pH (Carvalho, 1997 ; Luz Mora G.M., 1998)



Profil de sol à Massat, hors essai

Effet du gypse sur le pH et la production de fourrage en prairie permanente acide



Stat: Test sur l'ensemble des données (T0 à T6) de MStot de 2008 à 2013

Modèle Mixte :

$MStot \sim \text{Traitement} + \text{Bloc} + \text{Année} + (\text{Trait}:\text{Bloc}) + (\text{Trait}:\text{Année})$

-> Effet traitement significatif ($p=0.000$), Témoign significativement différent des autres

Stat: Test sur l'ensemble des données (T0 à T6) de pH de 2009 à 2013:

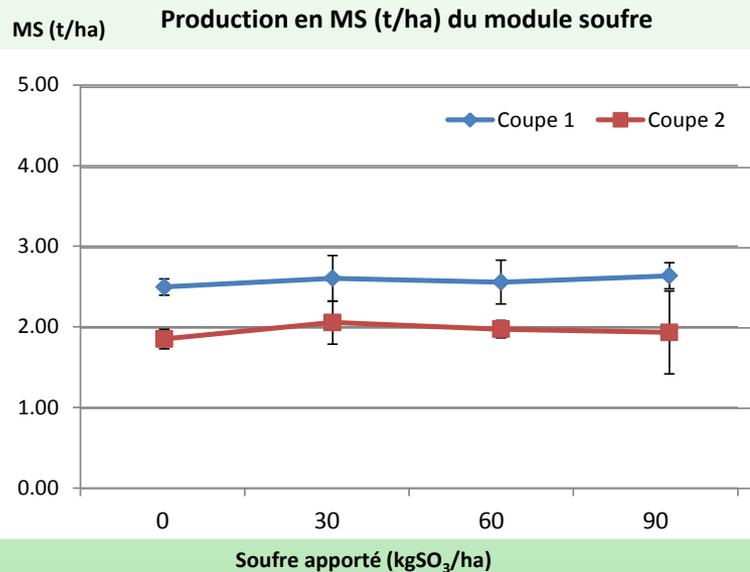
Modèle Mixte : $\text{pH} \sim \text{Traitement} + \text{Année}$

-> Effet traitement significatif ($p=0.000$), Chaque modalité est différente des autres

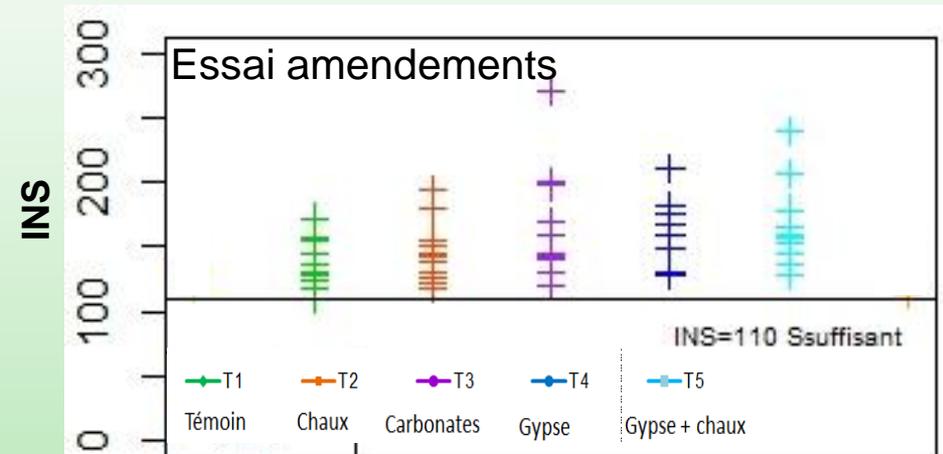
-> Modalité « Gypse » a des niveaux de rendement non significativement différent sde la modalité « Chaux », alors que le pH reste acide (<5)

Hypothèse : effet du gypse sur la nutrition soufrée de la prairie

Mise en place d'un module courbe de réponse au soufre



Utilisation des indices de nutrition soufrée



D'après Mathot, Vermeiren, Lambert, 2009

Stat: Test sur les MS des 2 coupes de 2014

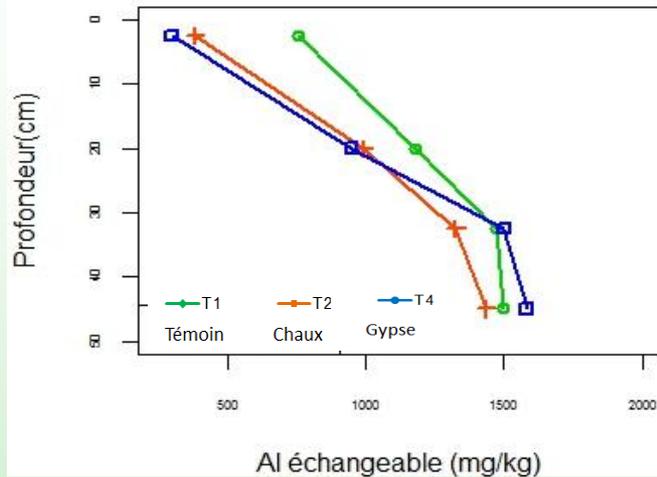
Modèle mixte: MS~traitement+bloc+coupe+(traitement:bloc)+(traitement:coupe)

-> Aucune différence significative

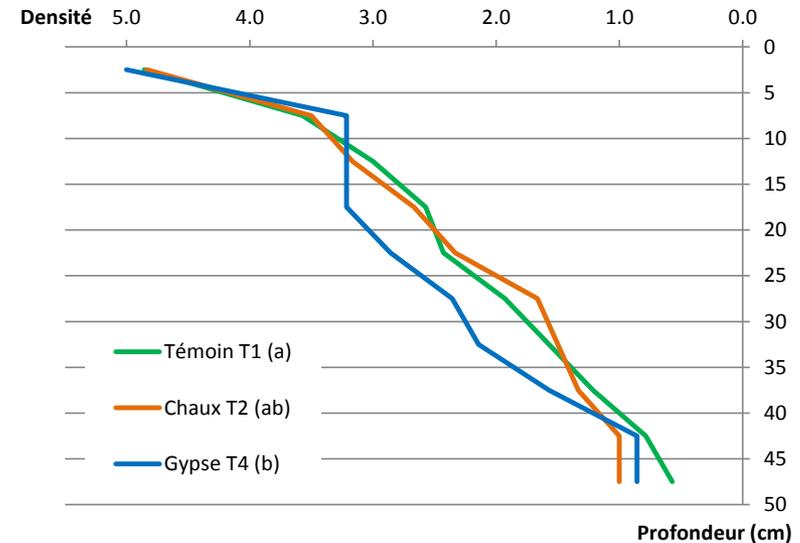
→ Le soufre n'est pas un facteur limitant pour la nutrition de la plante

Hypothèse : effet du gypse sur la toxicité aluminique et la prospection racinaire

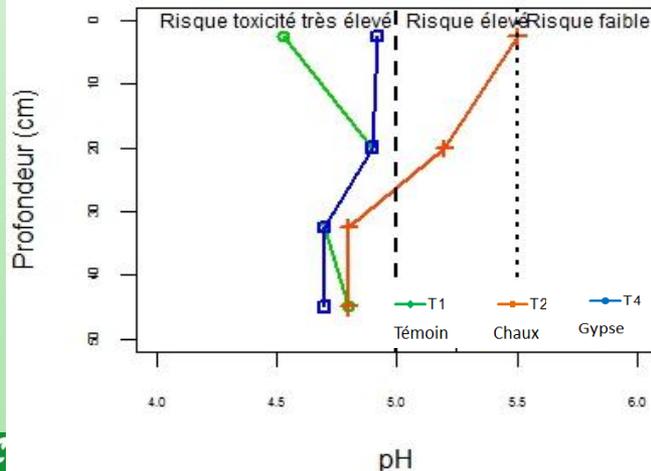
Al échangeable en fonction de la profondeur



Note de densité de racines en fonction de la profondeur



pH en fonction de la profondeur



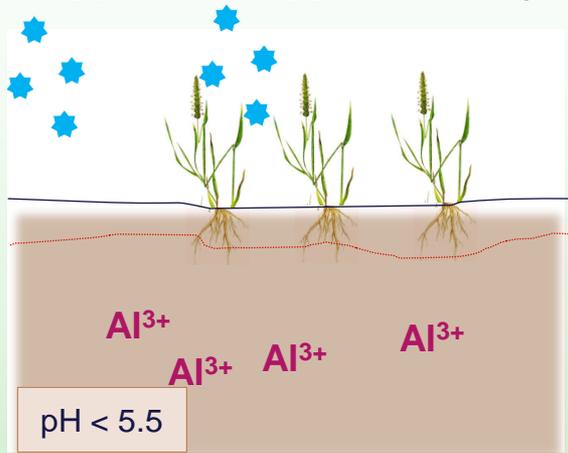
Stat: Test sur les notes de densité de l'ensemble des carottes de 2014

Modèle: Régression linéaire: densité ~ profondeur + bloc + traitement

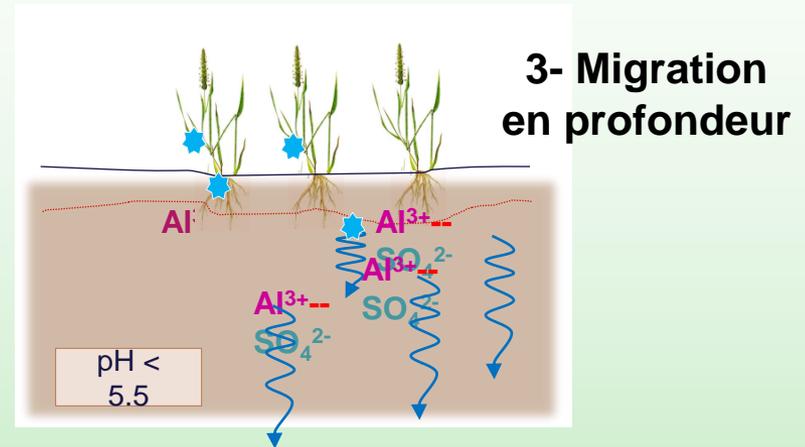
-> *Effet significatif du traitement (p = 0.022) : enracinement plus dense avec le gypse sur 10-40cm*

Mécanisme d'action du gypse dans le sol

1- Apport de Gypse CaSO_4

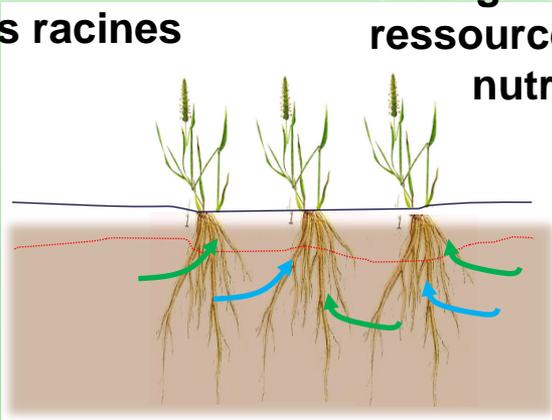


2- Dissolution du gypse (Ca^{2+} + SO_4^{2-}) et fixation de Al^{3+}



3- Migration en profondeur

4- Croissance des racines



5- Augmentation des ressources en eau et nutriments

6- Augmentation de la production de MS

