



La fertilité des sols dans les systèmes fourragers

Journées AFPF (8 - 9 avril 2015 – Paris)

Evolution des fournitures d'azote et du stockage de l'azote et du carbone du sol dans les rotations fourragères maïs - blé de deux essais de longue durée

J.-P. Cohan¹, A. Besnard¹, D. Hanocq², M. Moquet¹, J.
Constantin³, N. Beaudoin³, F. Laurent¹

1 : ARVALIS-Institut du végétal ; jp.cohan@arvalisinstitutduvegetal.fr

2 : Chambre d'Agriculture du Finistère

3 : INRA unité AGRO-IMPACT Laon

Introduction

- 1. Maintien d'un niveau de nutrition N des cultures compatible avec les objectifs de production = enjeu majeur.**
 - 2. Recours au engrais contingenté par le contexte économique**
 - 3. Maîtrise des transferts d'azote hors de la parcelle agricole nécessite d'explorer différentes voies d'adaptation des systèmes de culture.**
- Intérêt d'étudier les pratiques conjointes d'implantation de couvert intermédiaire et d'apport d'effluents d'élevage dans les rotations fourragères de l'Ouest de la France.**

L'essai de Kerlavic (29)

Rotation maïs fourrage-blé tendre de 1995 à 2010 – 2 soles présentes chaque année

Type de sol : limon sur arène granitique (615 mm de lame drainante annuelle)

Insertion de RGI lors de l'inter-culture blé-maïs en comparaison à une inter-culture maintenue en sol nu.

Production du RGI : de 1.4 à 4.2 t MS/ha

Quantité N-NO₃⁻ lixivié :

Sol Nu : 71 kg N/ha/an;

CI : 39 kg N/ha/an

L'essai de Bignan (56)

Rotation maïs fourrage-blé tendre de 1995 à 2004 (2005 et 2006 en orge de printemps) – 1 seule sole présente chaque année

Type de sol : limon sablo-argileux (535 mm de lame drainante annuelle)

Insertion de RGI et apport de lisier de porc lors de l'inter-culture blé-maïs selon 4 modalités:

- **T1** : RGI sans lisier
- **T2** : Sol Nu sans lisier (référence)
- **T3** : RGI avec lisier
- **T4** : Sol Nu avec lisier

Production du RGI : de 0.5 à 3.1 t MS/ha

Apport N par le lisier : 125 à 250 kg Ntotal/ha/an (dont 80% sous forme NH_4^+)

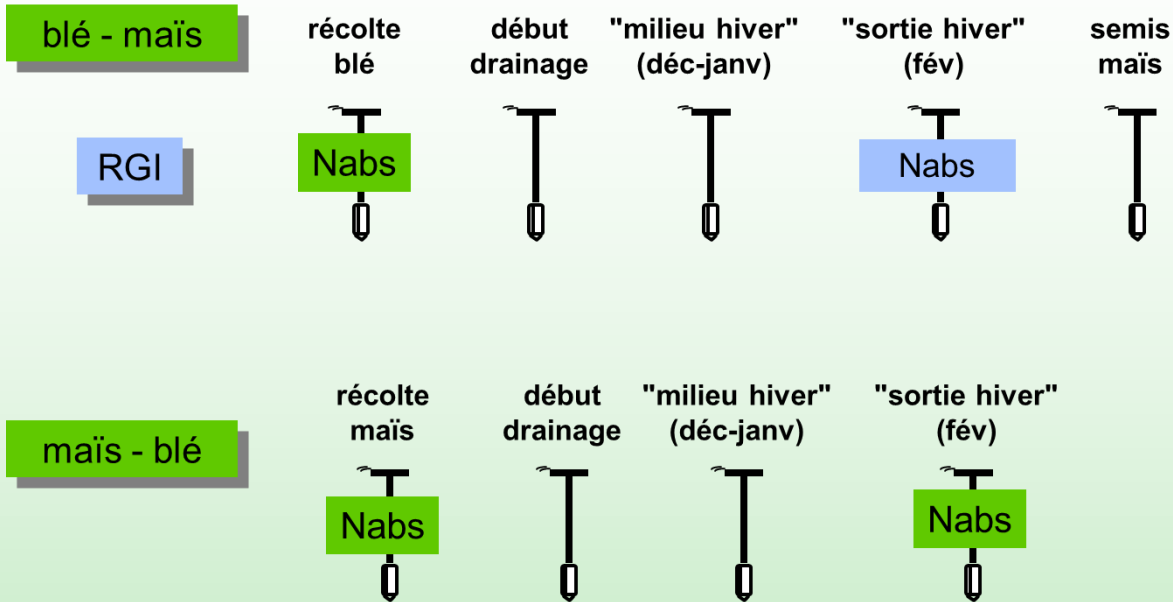
Quantité N- NO_3^- lixivié :

T1 : 45 kg N/ha/an; T2 : 66 kg N/ha/an;

T3 : 67 kg N/ha/an; T4 : 106 kg N/ha/an

Les mesures réalisées

Suivis N sol et plante en cours d'année



Suivis production des cultures

Rendements sur les modalités fertilisées « dose X »

Rendements sur des dispositifs en courbes de réponses à la dose d'engrais azotés (uniquement pour l'essai de Bignan)

En fin d'essai

Suivi Nminéral sol tous les mois pendant 1 an environ sur sol maintenu nu sur chaque modalité

Evaluation des teneurs et des stocks d'azote organique et de carbone du sol

Suivis Lixivition NO_3^- :

Lysimètres et bougies poreuses à Kerlavic

Reconstitution via LIXIM (INRA-Mary et al. 1999) à Bignan

Les indicateurs calculés

Effets sur la production des cultures :

- Analyses des rendements « à la dose X »
- Détermination des rendements et dose N optimaux sur les courbes de réponses de l'essai de Bignan (Makowski et al., 1999)

Effets sur la fourniture N au maïs :

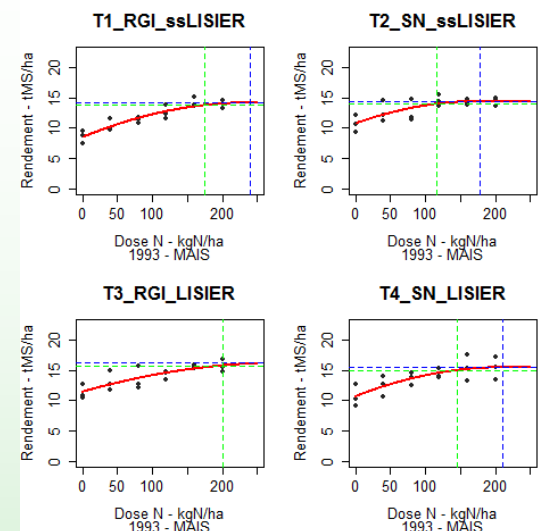
- Calculs par bilan de masse de l'azote minéral du sol (Cohan et al. 2011)

Effets sur la dynamique de minéralisation de l'azote organique du sol

- Sur le long terme : calculs par bilan de masse de l'azote minéral du sol
- A l'échelle annuelle : estimation des V_p sur sol nu en fin à l'aide des suivis N minéral sol en fin d'essai (simulations LIXIM – INRA Mary et al. 1999)

Effets sur le stockage d'azote organique et de carbone du sol

- Calculs à masse de terre équivalente (Constantin et al. 2010)



Rendements et doses d'azote optimaux

Essais		Bignan (56)				Kerlavic (29)	
Modalités	⁽¹⁾	T1_RGI_0Lisier	T2_SN_0Lisier	T3_RGI_Lisier	T4_SN_Lisier	SN	RGI
Moyenne sur la durée de l'essai ⁽²⁾							
Maïs	ROpt	13,0**	13,5	14,3*	13,7ns	Rdt 12,7	13,2**
Maïs	NOpt	212 ns	204	197 ns	203 ns		
Blé	Ropt	95,4 ns	96,5	97,2 ns	95,7 ns	Rdt 65,6	65,0 ns
Blé	Nopt	219 ns	226	199**	212*		

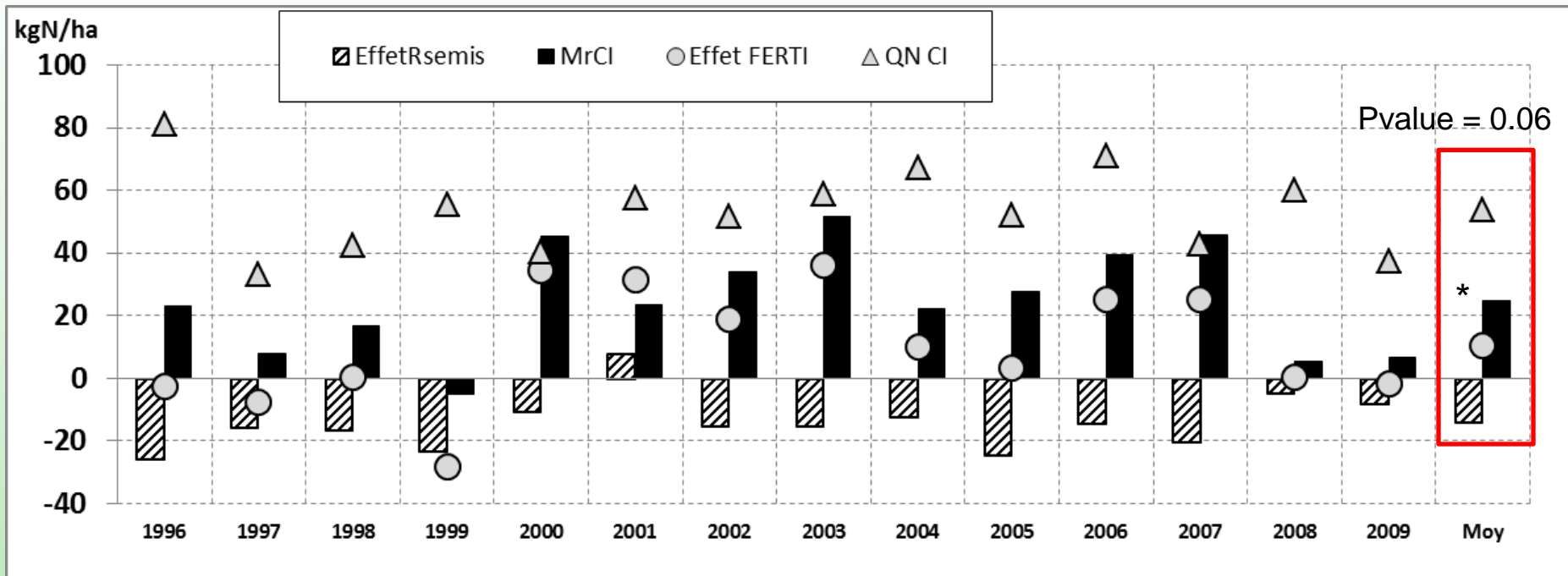
1 : ROpt : rendement optimal (t MS/ha pour le maïs et q/ha (15% H.) pour le blé). NOpt : dose d'engrais azoté optimale (kg N/ha). Rdt : rendement mesuré sur l'essai de Kerlavic (t MS/ha pour le maïs et q/ha (15% H.) pour le blé).
 2 : Tests statistiques de comparaison de moyennes par rapport à T2 (pour Bignan) ou SN (pour Kerlavic). ** pvalue < 0,05 ; * pvalue < 0,1

Selon les essais, l'introduction de CI avec ou sans apport de lisier peut avoir un impact sur la production et/ou sur la dose d'azote optimale.

Il est nécessaire d'étudier les flux d'azote sous-jacents pour expliquer ces résultats

Impact des CI sur la fourniture d'azote au maïs suivant - 1

Essai de Kerlavic (29)



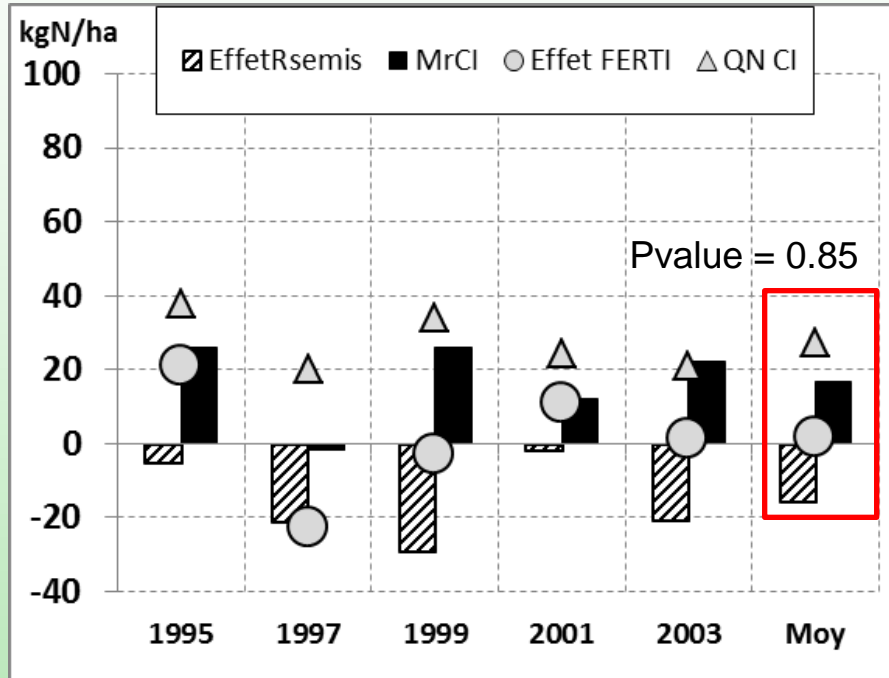
Effet Rsemis généralement négatif mais plus que compensé par la MrCI

+ 10 kg N/ha en moyenne pour le maïs suivant la CI

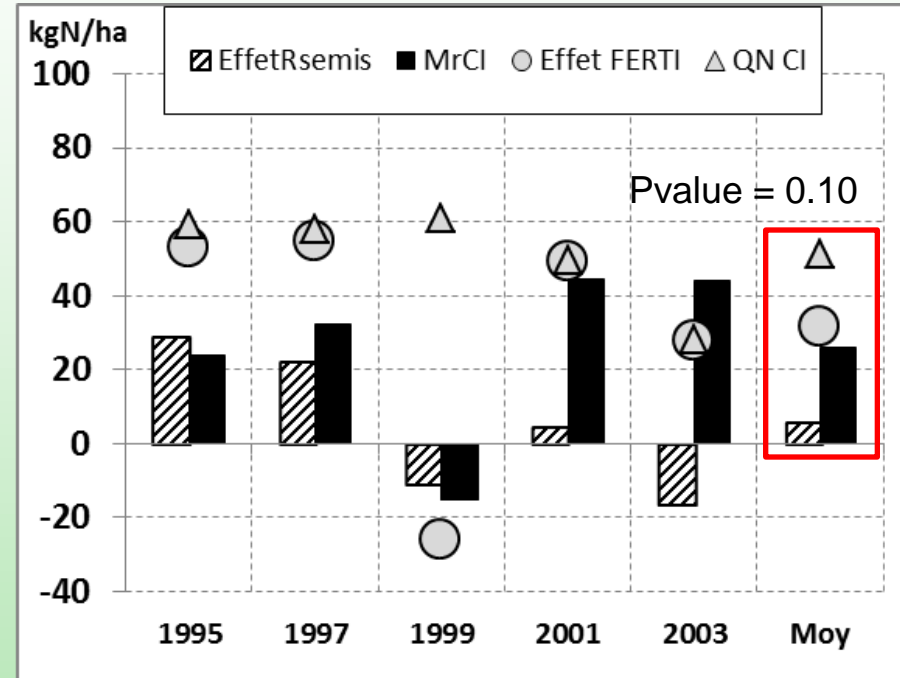
Impact des CI sur la fourniture d'azote au maïs suivant - 2

Essai de Bignan (56)

Sans lisier



Avec lisier



Seule la modalité CI+Lisier entraîne une fourniture d'azote supplémentaire pour le maïs suivant (+ 32 kg N/ha)

Dynamique pluriannuelle de minéralisation de l'azote organique - 1

Essai de Kerlavic (29)

Table 5 Linear regression analysis of the extra N mineralization in soil (ΔM_1 or ΔM_2) against time for the various sites and periods (whole year or two periods per year)

	ΔM_1 vs. t	ΔM_2 vs. t	ΔM^a vs. t	
	annual	annual	autumn+winter	spring+summer

L'introduction de CI a entraîné un accroissement annuel de la minéralisation de l'azote organique du sol d'environ de 2,6 kg N/ha/an

Kerlavic	Slope	2.6 **	–	2.1 **	0.6
	Intercept	–8		–21 ***	+15 **

^a The extra mineralization selected (ΔM) is ΔM_1 at Kerlavic and ΔM_2 at Boigneville and Thibie

^b Slope of linear regression against time, expressed in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-2}$

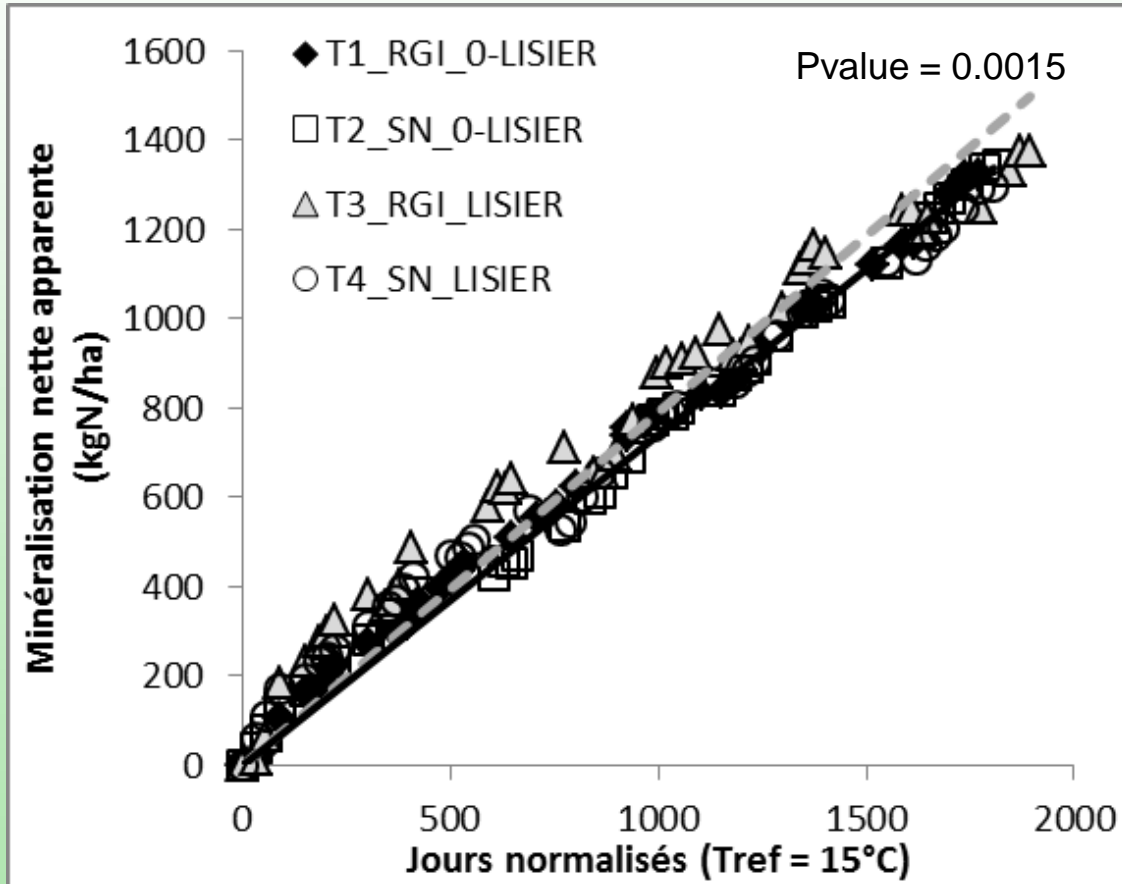
^c Intercept of linear regression against time, expressed in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$

Asterisks correspond to the significance level obtained by Student test (see Table 4)

Constantin et al. 2011

Dynamique pluriannuelle de minéralisation de l'azote organique - 2

Essai de Bignan (56)

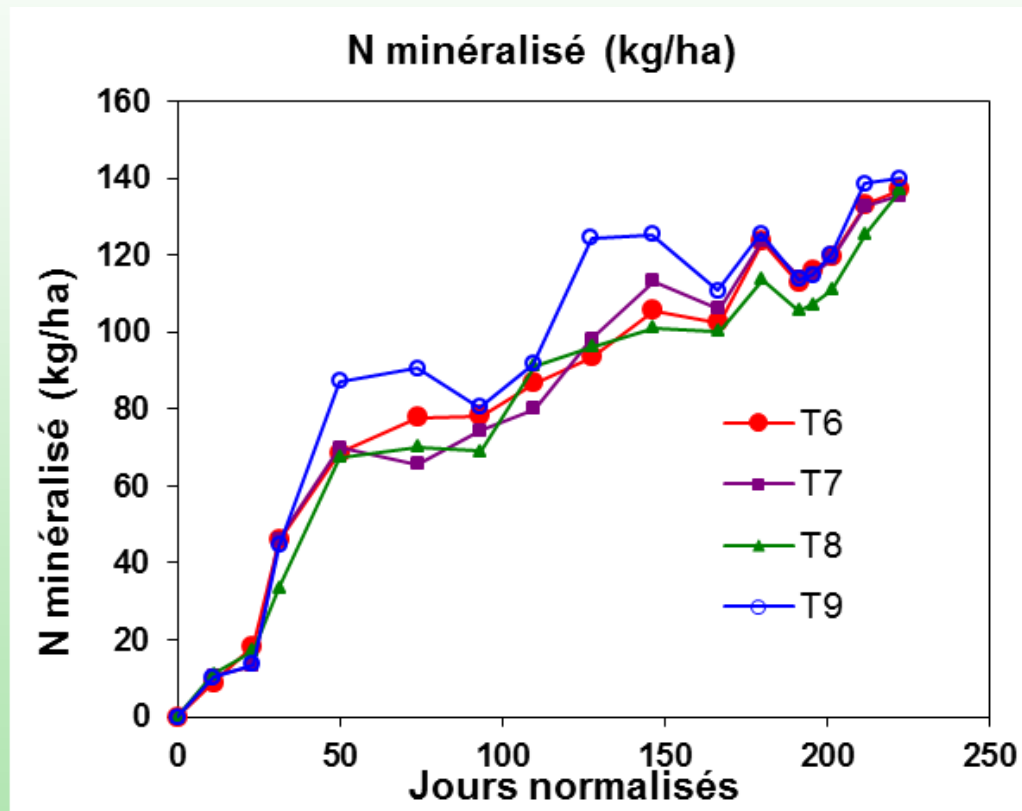


**Seule la modalité
Cl+Lisier affiche une
dynamique de
minéralisation
significativement
supérieure à celles
des 3 autres modalités**

**Pas d'effet
d'accroissement annuel
de l'azote organique du
sol détectable**

Vitesse potentielle de minéralisation de l'azote organique humifié en fin d'essai - 1

Essai de Kerlavic (29)



Vitesse potentielle de minéralisation:

**Inter-culture en sol nu :
0.64 kg N/ha/JN**

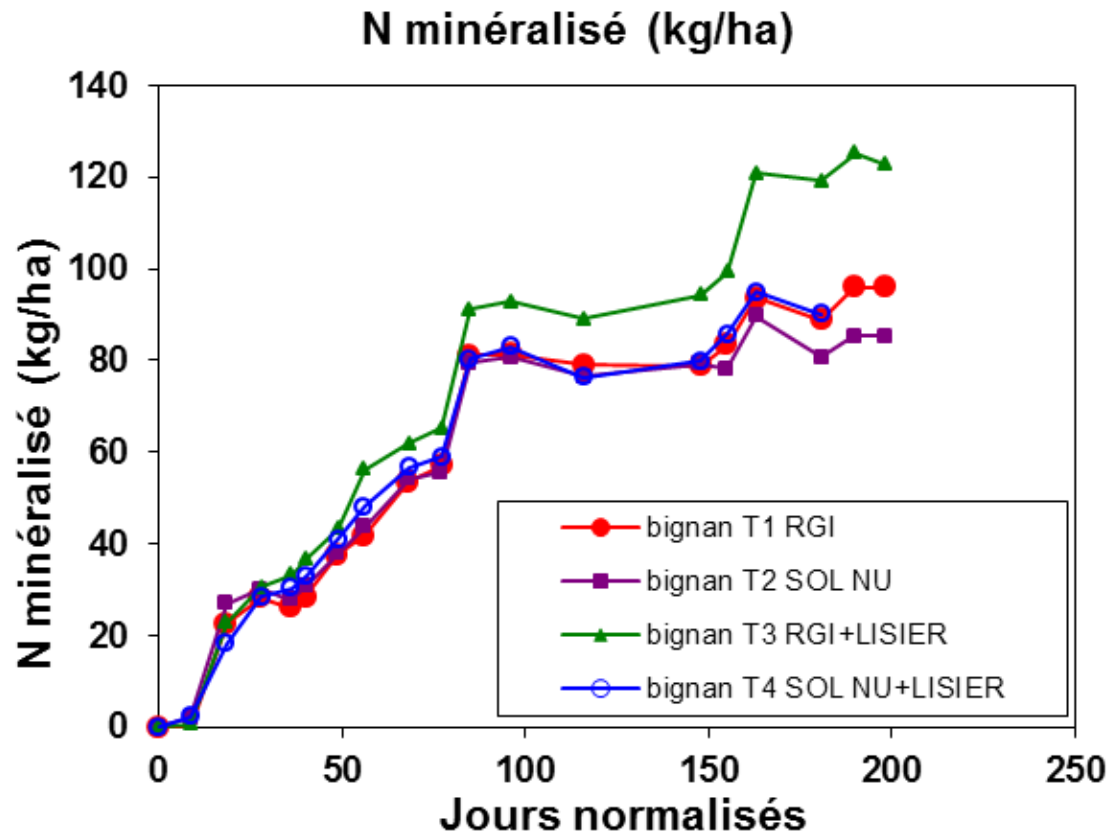
**Inter-culture avec CI :
0.68 kg N/ha/JN**

**Différence non
significative**

T6 et T8 : sol nu
T7 et T9 : CI

Vitesse potentielle de minéralisation de l'azote organique humifié en fin d'essai - 2

Essai de Bignan (56)



Vitesse potentielle de minéralisation:

T1_CI_0-LISIER : 0.57 kg N/ha/JN

T2_SN_0-LISIER : 0.54 kg N/ha/JN

T3_CI_LISIER : 0.71 kg N/ha/JN
(***)

T4_SN_LISIER : 0.63 kg N/ha/JN

*** : pvalue<0.01 (par rapport à T2)

Teneurs et stocks de carbone et d'azote organique du sol en fin d'essai - 1

Essai de Kerlavic (29)

	Bulk density (g cm ⁻³)	Depth (cm)	Soil mass (t ha ⁻¹)	C stock		N stock		Mean (t ha ⁻¹)
				No CC (t ha ⁻¹)	CC (t ha ⁻¹)	No CC (t ha ⁻¹)	CC (t ha ⁻¹)	
Kerlavic	1.26	30.0	3766	98.6 (2.6)	102.9*** (2.8)	9.20 (0.23)	9.52* (0.25)	

Confidence intervals ($p < 0.05$) are indicated in parenthesis. Asterisks indicate results of Student test applied to the comparison between CC and No CC treatments (* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$). Results of other statistical tests (not shown here) are: N and C stocks at Boigneville were not significantly different between NT and CT. At Thibie, only N stock was significantly smaller in N- as compared to N ($p < 0.10$).

Constantin et al. 2010

Effet significatif de l'insertion de CI sur les stocks d'azote organique et de carbone

Teneurs et stocks de carbone et d'azote organique du sol en fin d'essai - 2

Essai de Bignan (56)

Essai	Bignan (56)			
Modalités	T1_RGI_0Lisier	T2_SN_0Lisier	T3_RGI_Lisier	T4_SN_Lisier
Teneur C (g/kg)	17,00	17,50	18,34	17,71
Stock C (t/ha)	65,52	67,47	70,69	68,27
Teneur N (g/kg)	1,52	1,42	1,52	1,50
Stock N (t/ha)	5,84	5,47	5,86	5,78

Analyse de variance sur les teneurs : pvalue = 0,08022 pour le carbone ; pvalue = 0,6437 pour l'azote

Tendance non significative

Lien avec la densité de prélèvements ?

Conclusion

- 1. Seules les pratiques engendrant les restitutions les plus importantes d'azote organique et de carbone au sol sont susceptibles d'influer de manière significative sur le cycle de ces éléments**
- 2. A Kerlavic (29), l'introduction de CI suffit. A Bignan (56), la combinaison CI+LISIER est nécessaire.**
- 3. La différence de comportement de la CI entre les 2 sites est liée aux différences de croissance du couvert et aux différences de quantités d'azote soustraites à la lixiviation.**
- 4. En situation à risque de lixiviation faible à moyen, l'introduction d'une CI NON-LEGUMINEUSE ne suffit pas à augmenter les fournitures d'azote par le sol. Dans ces cas-là, il est nécessaire de recourir à des couverts à base de LEGUMINEUSES.**