

Mise en évidence d'un éventuel effet régional sur les KeqN des Produits Résiduaire Organiques (PRO) grâce à la simulation.

Intérêt de tables régionalisées de Keq ?

M. Bouviala

Groupe de travail : A. Bouthier, E. Justes, E. Burel, C. Le Souder

1. Rappel des objectifs de l'étude et de la méthodologie
2. Intérêt de régionaliser les tables de Keq ?
3. Impact pédoclimatique sur l'apport de PRO réalisé sur cultures intermédiaires

1. Objectifs de l'étude

Objectifs :

- Montrer la variabilité de minéralisation de N organique des PRO selon le contexte pédoclimatique
- Impact d'une culture intermédiaire sur la minéralisation de N organique des PRO

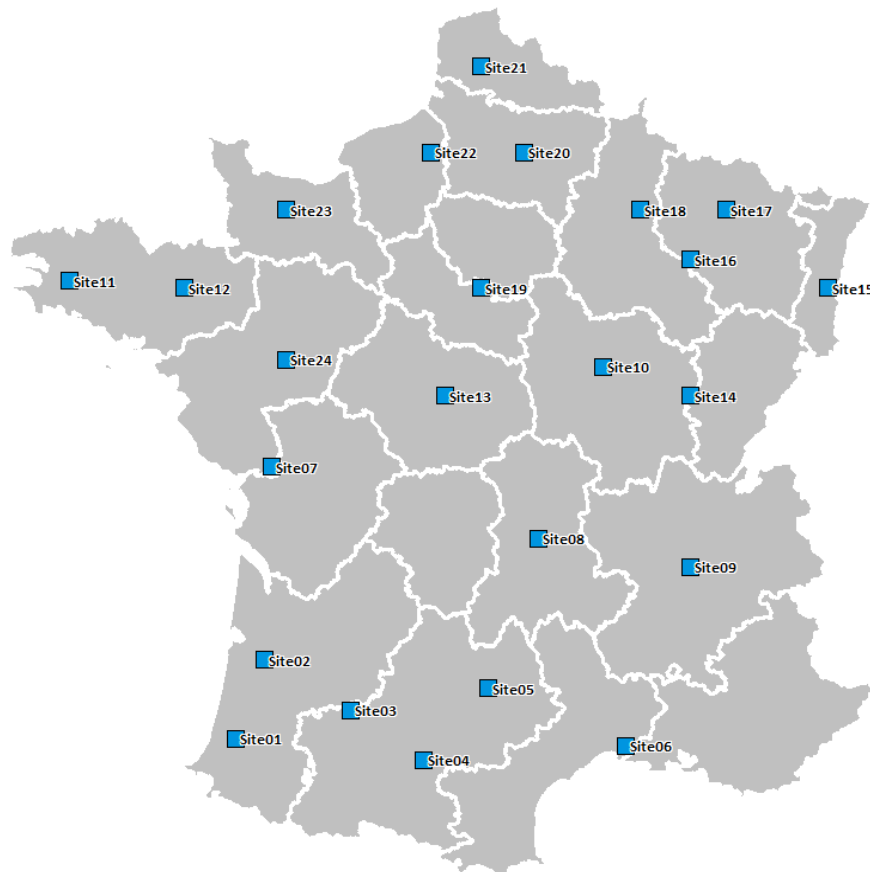
Méthode travail :

- Réutilisation du jeu de données qui avait servi pour l'étude « calendrier d'épandage » ?
- Peu de simulations réellement réutilisables
- On a refait tourner STICS sur un nouveau jeu de données

Les jeux de données :

- 24 sites en France
- 2 sols par site
- 20 années climatiques
- 4 PRO : fumier de bovin, fumier de fientes, 2 cinétiques de minéralisation par PRO
- Présence ou non d'une CIPAN (2^e fichier)
- Variables récupérées à deux ou trois dates :
 - 30 janvier : ouverture du bilan
 - 30 juin : fin de période d'absorption des cultures d'hiver (permet le calcul du CAU)
 - 30 septembre : fin de période d'absorption des cultures de printemps

Les 24 sites en France :



Les données de sorties de STICS :

- Teneur en eau en %pondéral des différentes couches de sol
- Quantités d'azote en kg/ha des différentes couches de sol
- Drainage sous le profil
- Quantité d'azote absorbé par la culture
- Minéralisation nette de l'humus
- Minéralisation nette des résidus (résidus de culture + PRO)
- Nombre de jours normalisés (humus)
- Nombre de jours normalisés (résidus culture + PRO)
- Lixiviation de nitrates cumulée
- Volatilisation de l'azote des PRO cumulée

Les variables calculées :

- Les CAU et Keq de chaque PRO sur le cycle et le bilan
- Minéralisation nette des PRO sur le cycle et le bilan
- L'effet des PRO sur le reliquat sur le cycle et le bilan
- L'effet des PRO sur Lixiviation des ions nitrate sur le cycle et le bilan
- L'effet des PRO sur le bilan azote

Cycle : période entre le début de la simulation (semis de la culture) et la fin d'absorption d'azote par cette culture : du 1^{er} août au 30 juin

Bilan : période entre l'ouverture du bilan et la fin d'absorption d'azote par cette culture : du 30 janvier au 30 juin

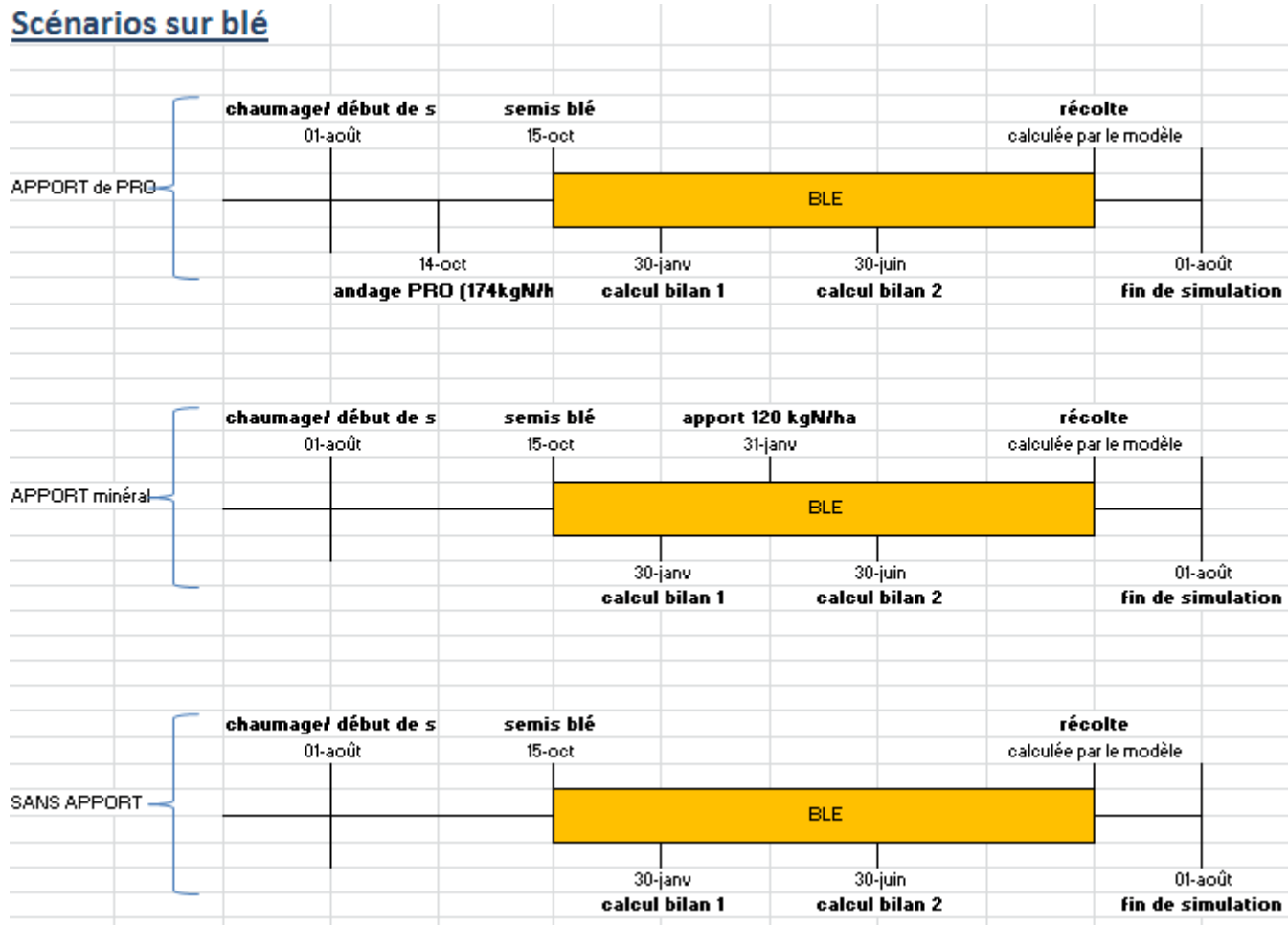
→ fichier de sortie : pour chaque variable, moyennes et écart-types années par années ou moyennes sur 20 ans

2. Mise en évidence d'un effet régional variable selon les PRO sur les KeqN des PRO grâce à la simulation.

Intérêt de tables régionalisées de Keq ?

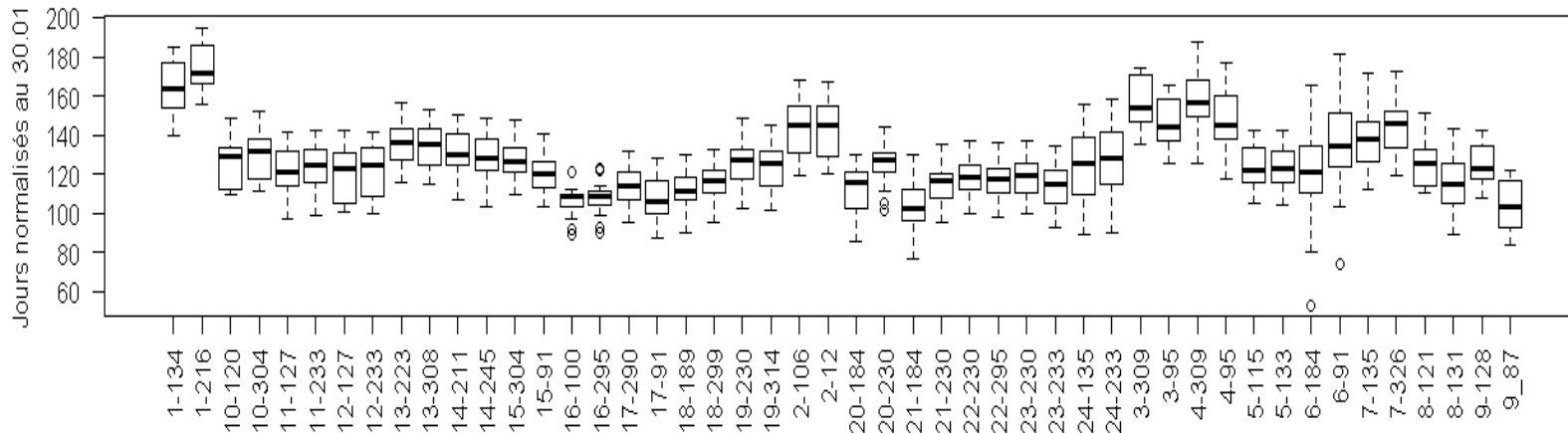
- Objectif : Mise en évidence d'un effet régional sur les KeqN des PRO grâce à la simulation. Intérêt de tables régionalisées de Keq ?
- Hypothèses de simulations :
 - Reliquat initial : 30 kgN/ha sur 0-90 cm
 - Précédent colza : 5 tMS/ha de résidus de colza, C/N = 50, teneur en C = 42%, incorporé à 7 cm
 - Blé semé le 15 octobre
 - Fumier apporté la veille du semis du blé, incorporé par labour , à 174 kgN/ha soit :
 - Fumier de bovin : 30 t/ha de produit brut dont 30 kg N-NH₄/ha
 - Fumier de volailles : 6.2 t/ha de produit brut dont 43.4 kg N-NH₄/ha

Les scénarios étudiés :

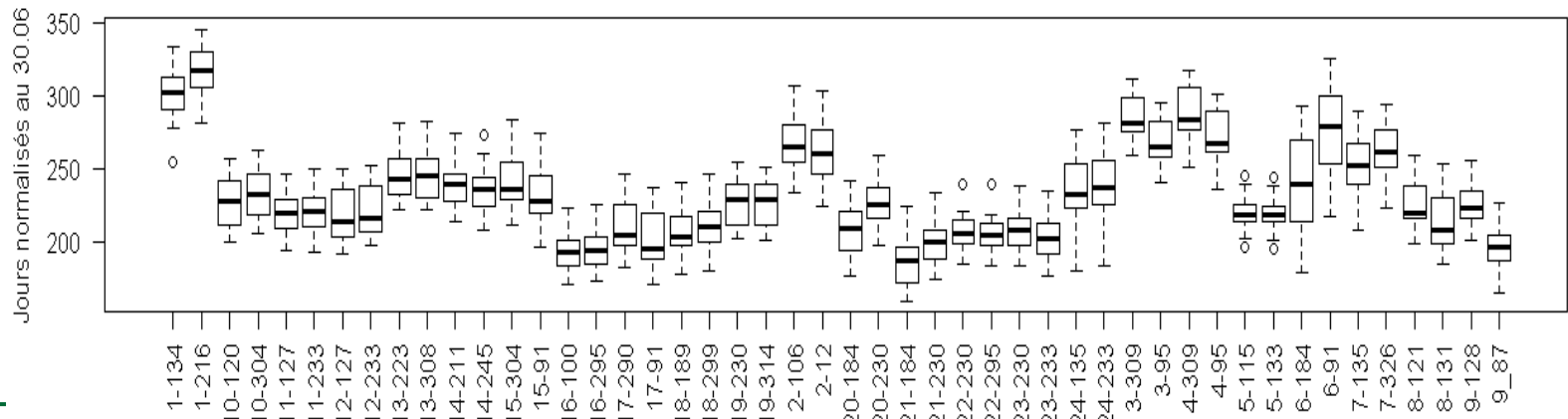


- Caractéristiques des sites : les Jours Normalisés

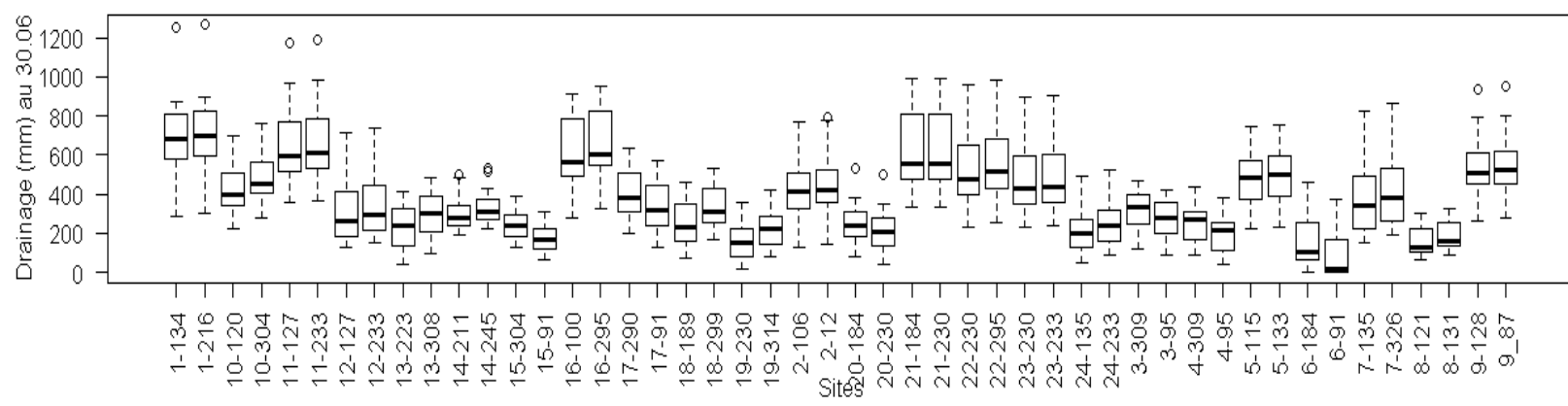
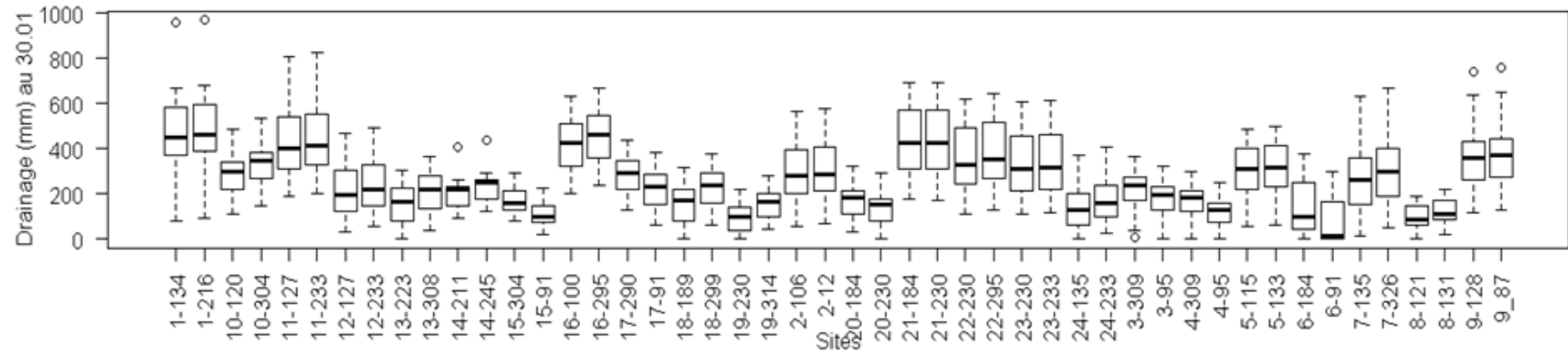
Caractéristiques des sites



Caractéristiques des sites

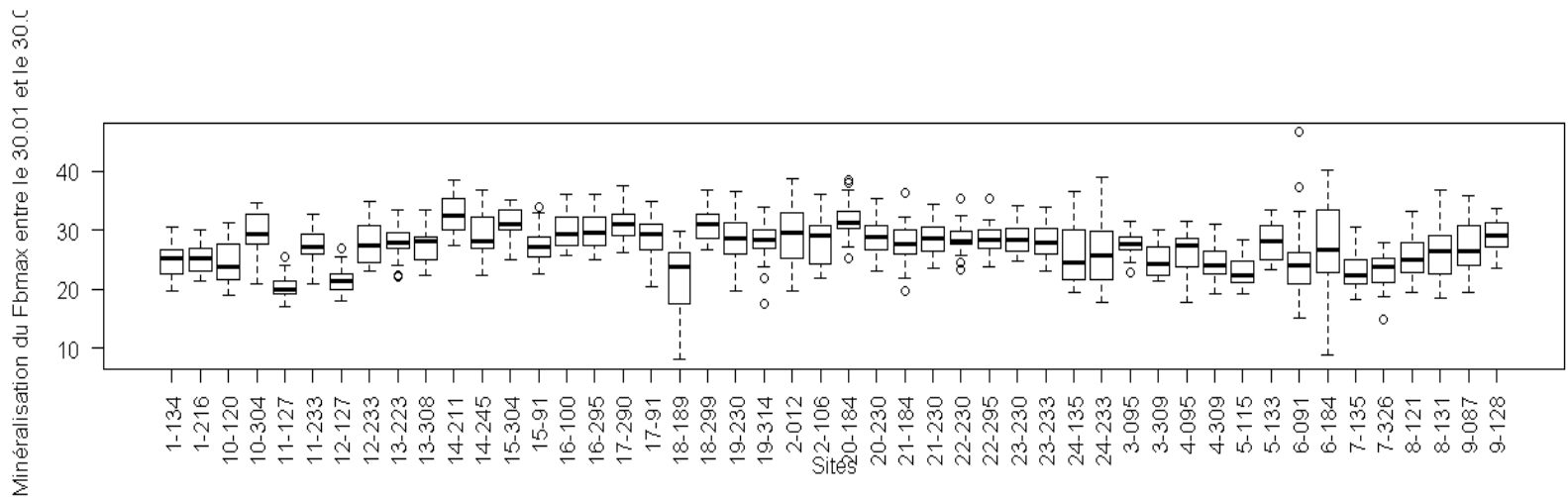
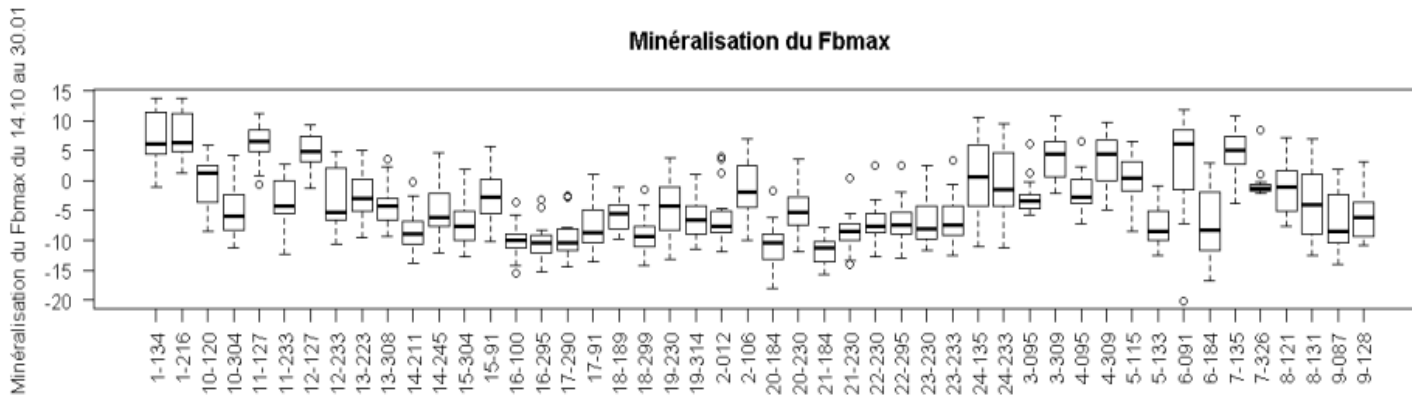


- Caractéristiques des sites : le drainage (mm)



- Caractéristiques des sites : conclusion
- L'effet « site » est généralement plus important que l'effet « sol » sur les variables 'Drainage' et 'JN'. En effet, il y a souvent peu de différences entre les boxplots des deux sols du même site.
- L'hypothèse d'un drainage plus élevé en sols superficiels ne se vérifie pas toujours ici.
- A première vue, il semblerait y avoir un effet « Sud » sur la variable 'Jours normalisés' (JN des sites du Sud France (sites 1, 2, 3, 4, 5 et 6) supérieurs aux JN des autres sites).
- Attention, la simulation est arrêtée au 30 juin, donc le 'cycle' du blé est peut-être fini en zone Sud mais pas encore en zone Nord, d'où des valeurs de JN inférieures. La prise en compte de la période de végétation du blé plus longue en zone Nord, conduirait à réduire les écarts entre Nord et Sud France.

- La minéralisation : à l'automne (01.08 → 30.01) et sur le bilan (30.01 → 30.06)



- La minéralisation :

(kgN/ha)	Miné. automne	Miné. bilan	Miné. cycle
Fbmax	-4	27.3	23.3
Fbmin	-9.9	16.3	6.4
fvmax	34.5	19.6	54.1
fvmin	24.2	15.4	39.6

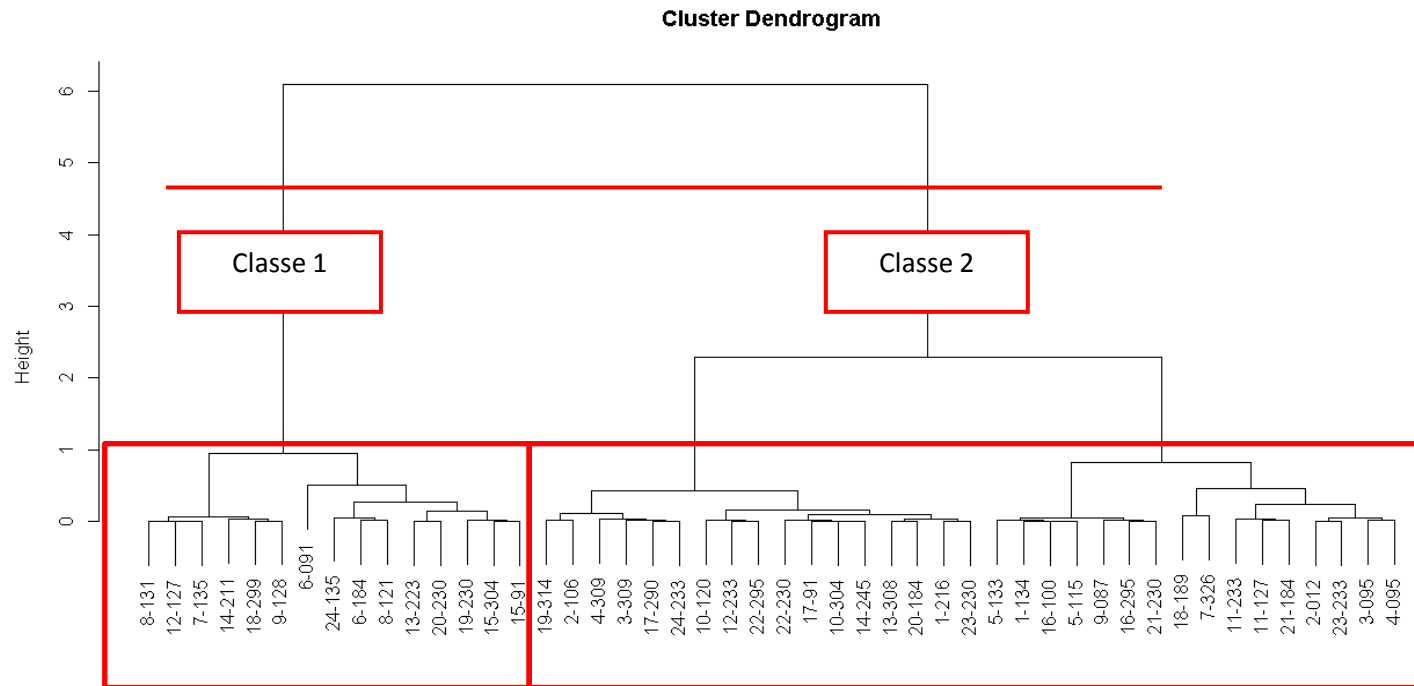
- Analyse statistique : modèle linéaire mixte

$$QMIN_cycle \sim \text{site_sol} * \text{produit} + (1 | \text{annee}) + (1 | \text{annee} : \text{site_sol}) + (1 | \text{annee} : \text{produit})$$

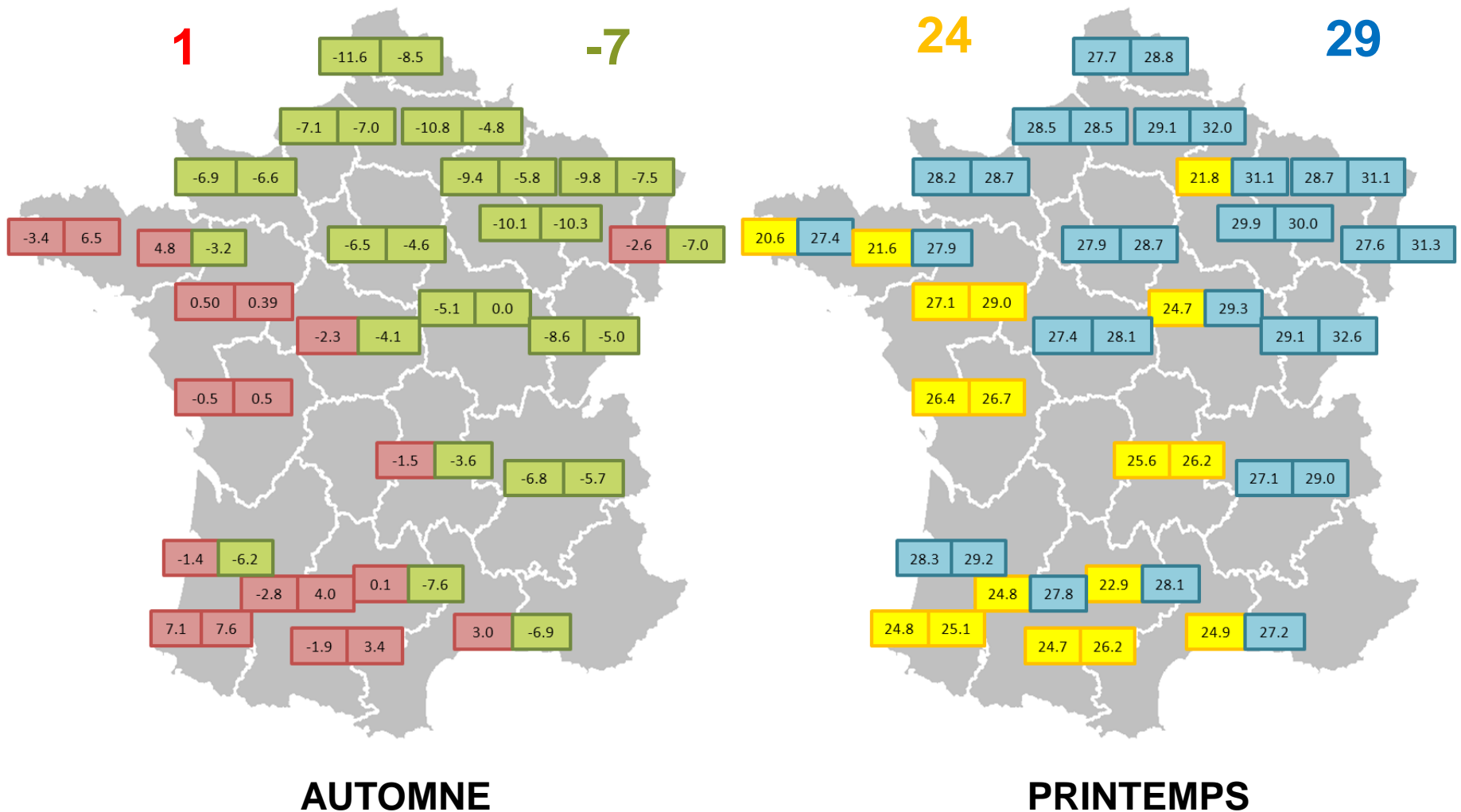
- Anova significative à 5% : la variable « site_sol » a un effet sur QMIN

	Pr(<F)
Site_sol	2.2e-16***
Produit	2.2e-16***
Site_sol *Produit	2.2e-16***

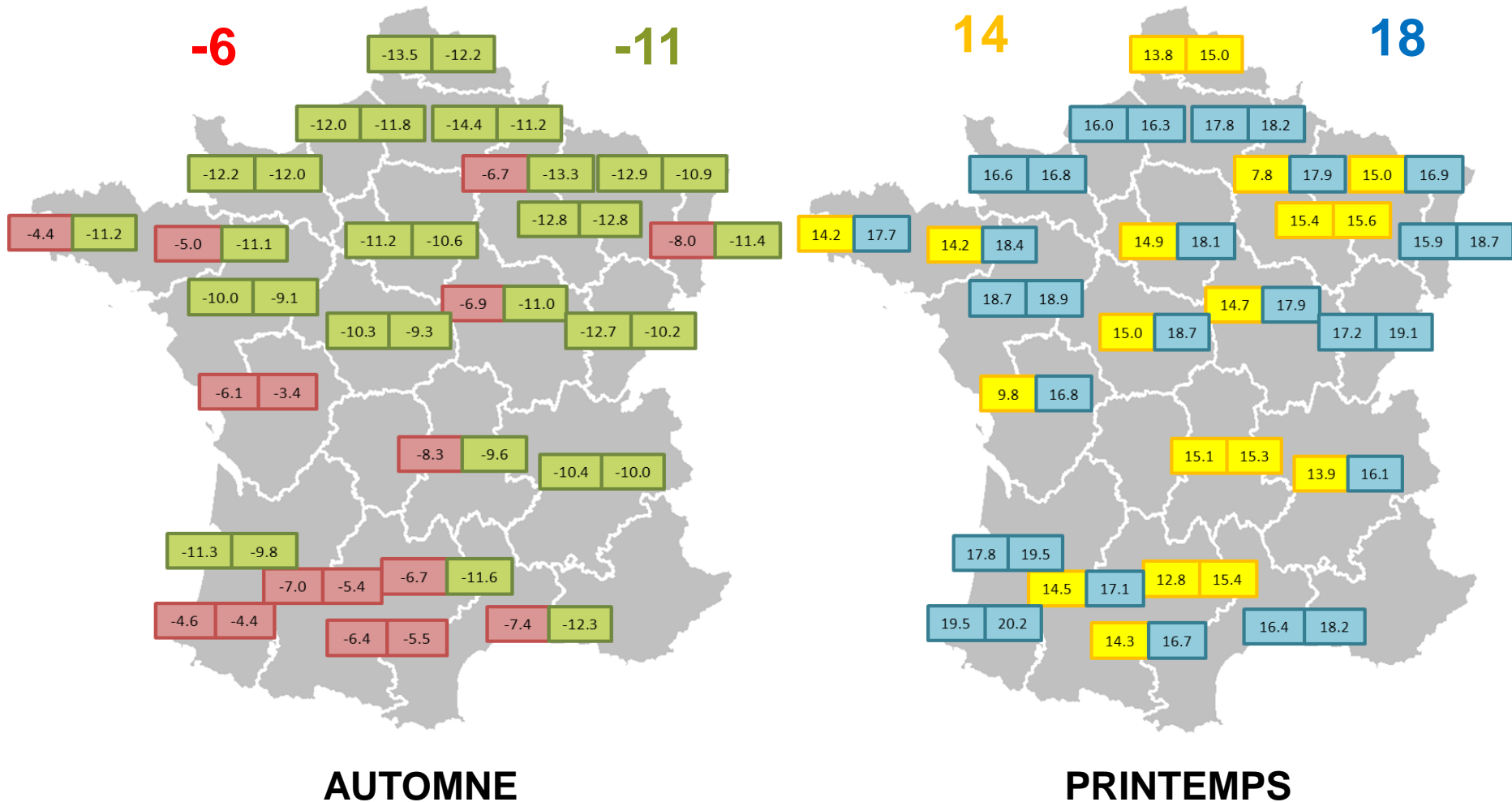
- Minéralisation : mise en évidence de l'effet régional
- Classification par dendrogrammes (fonction 'hclust' de R)



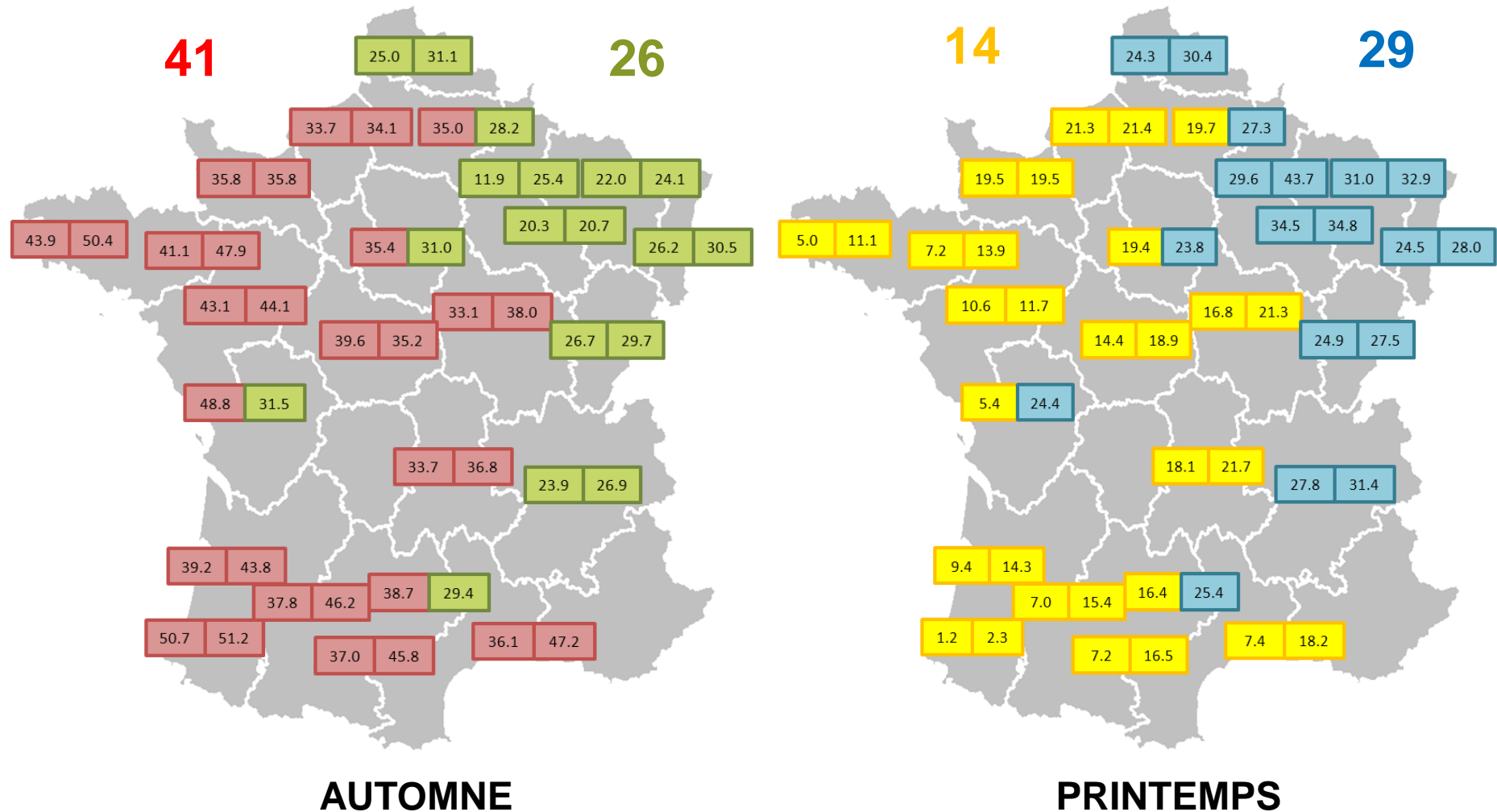
- La minéralisation : Fbmax



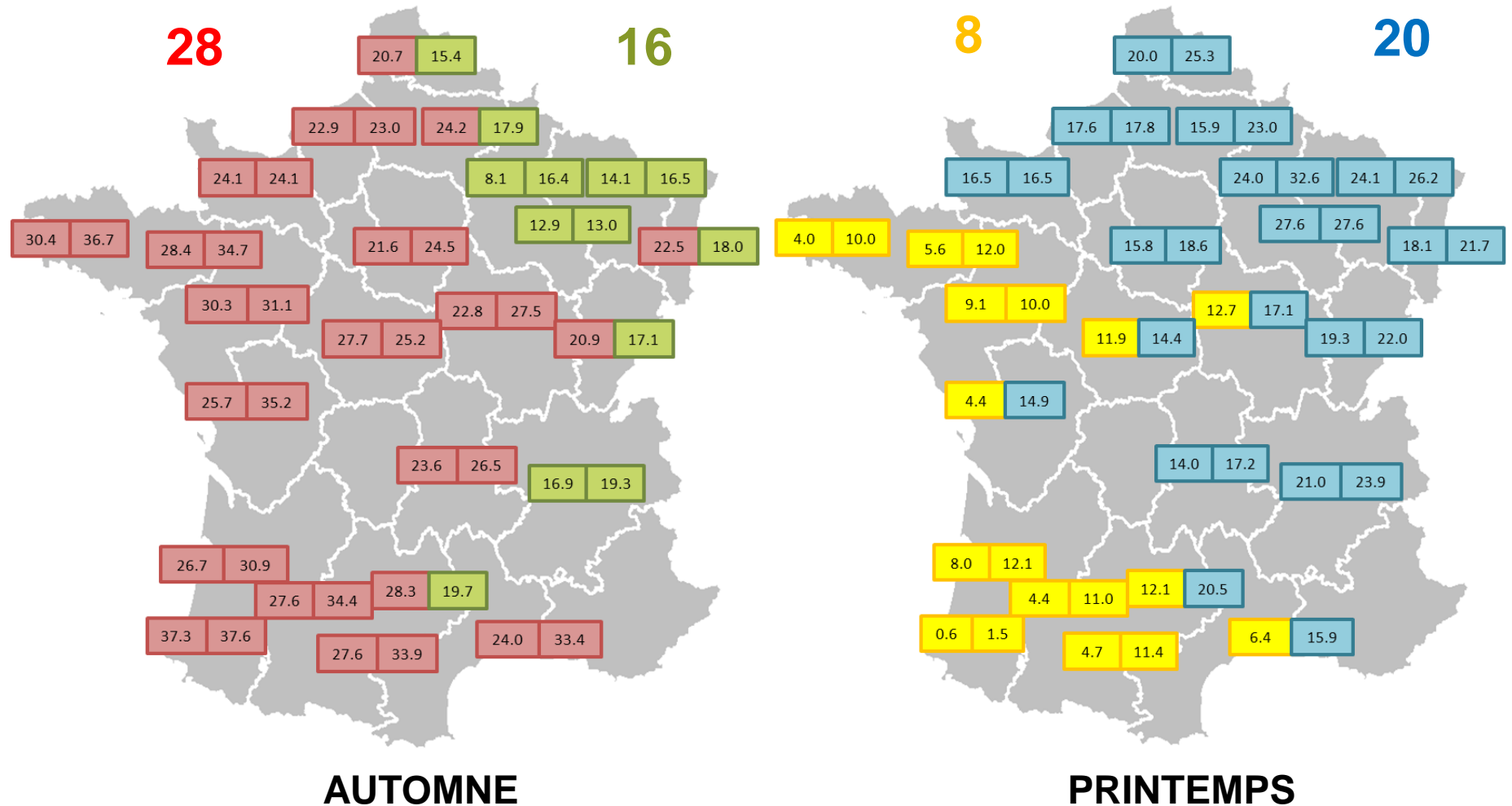
- La minéralisation : Fbmin



- La minéralisation : fvmax



- La minéralisation : fvmin



2. Régionalisation des tables de Keq

Minéralisation :

- Effet significatif de la variable « site_sol » sur la minéralisation
- Une répartition géographique Nord-Est/Sud-Ouest
- Analyse des variables dont on dispose : **MANOVA**
 - Caractéristiques des sites (Drainage, JN)
 - Caractéristiques des sols (RU, profondeur)

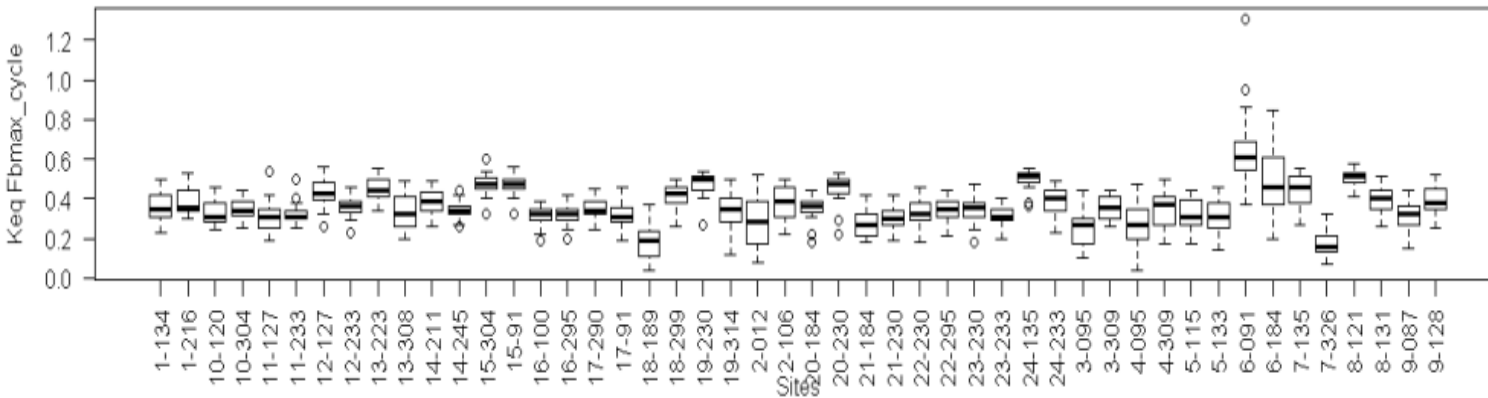
Fbmax	QMIN automne	Drainage au 30.06	Jours Normalisés	Ru (mm)	Profondeur (cm)	Modèle complet
Moy. classe 1	1	349	255	158	115	
Moy. classe 2	-7	406	217	135	97	
Pr(<F)		NS	S	NS	S	S

- Sur le modèle complet (les 4 variables étudiées ensemble), les 2 classes de « site_sol » sont significativement différentes.
- Seuls les JN ne sont différents entre les 2 classes. Les trois autres variables ne ressortent pas significativement différentes entre les deux classes.

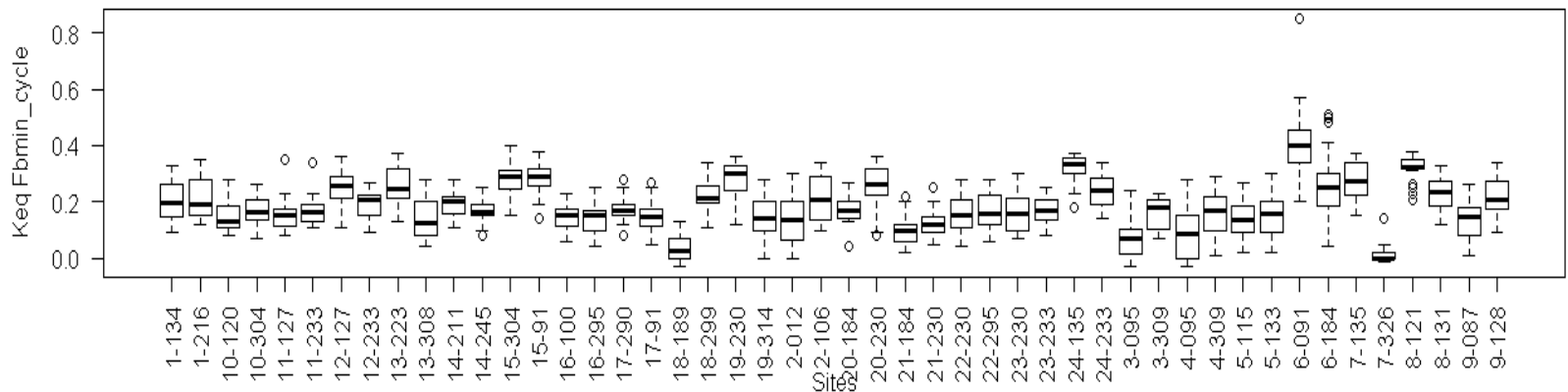
- La minéralisation : Conclusions
 - Il y a un effet significatif des « site_sol »
 - Il y a une répartition 'géographique' des « site_sol » entre les classes de minéralisation, qui est dû principalement à la variable « JN ».
 - Cet écart est plus important pour les fumiers de volailles que pour les fumiers de bovins.
 - Pour FV : écarts opposés entre automne et printemps : ce qui ne minéralise pas à l'automne en zone continentale minéralise au printemps
 - Il y a un intérêt à régionaliser les tables de Keq pour les fumiers de volailles (différence importante de minéralisation entre les deux classes). Cet intérêt est plus faible pour les fumiers de bovins (en moyenne 5-6 kgN/ha de différence entre les deux classes)
 - Régionalisation des Keq ?

- Les Keq cycle : Fbmax et Fbmin

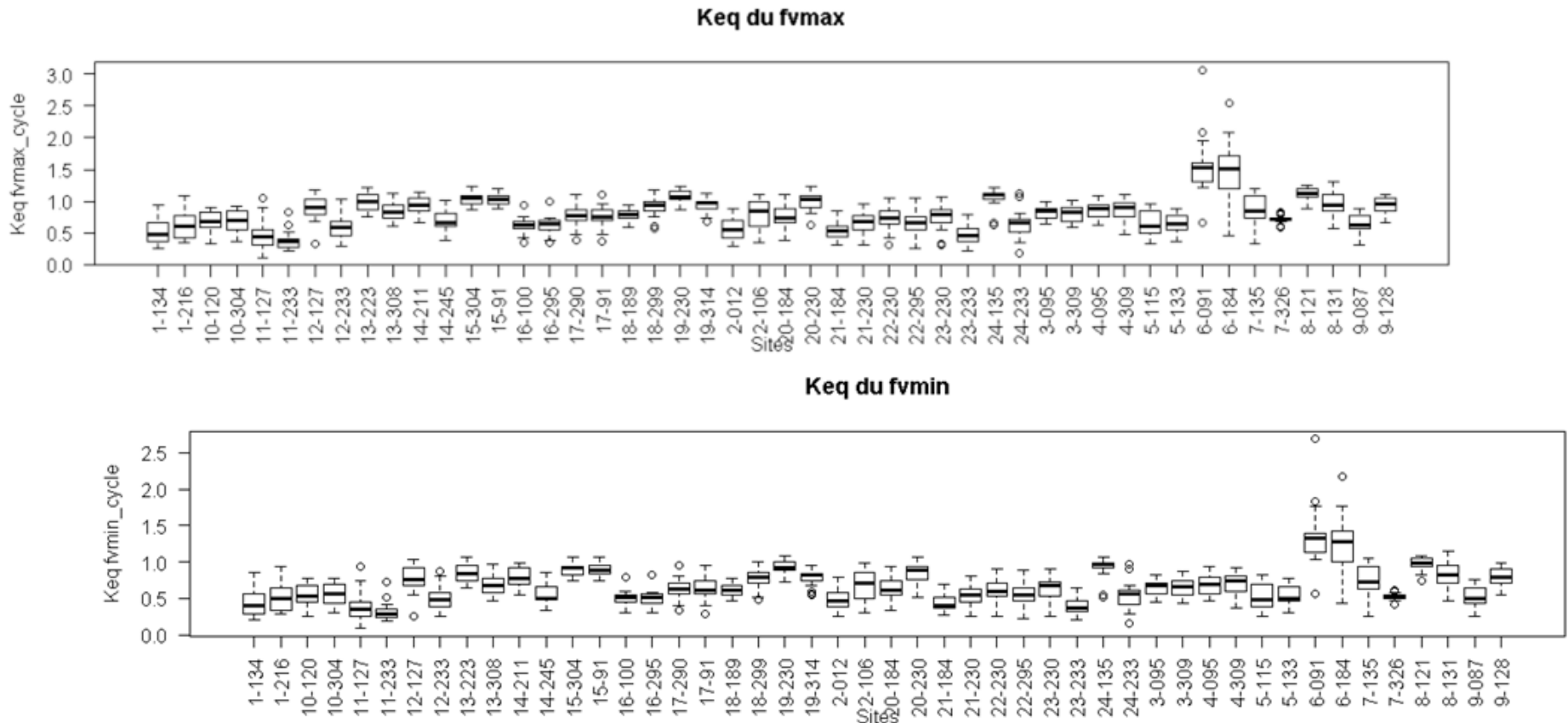
Keq du Fbmax



Keq du Fbmin



- Les Keq_cycle : fvmax et fvmin

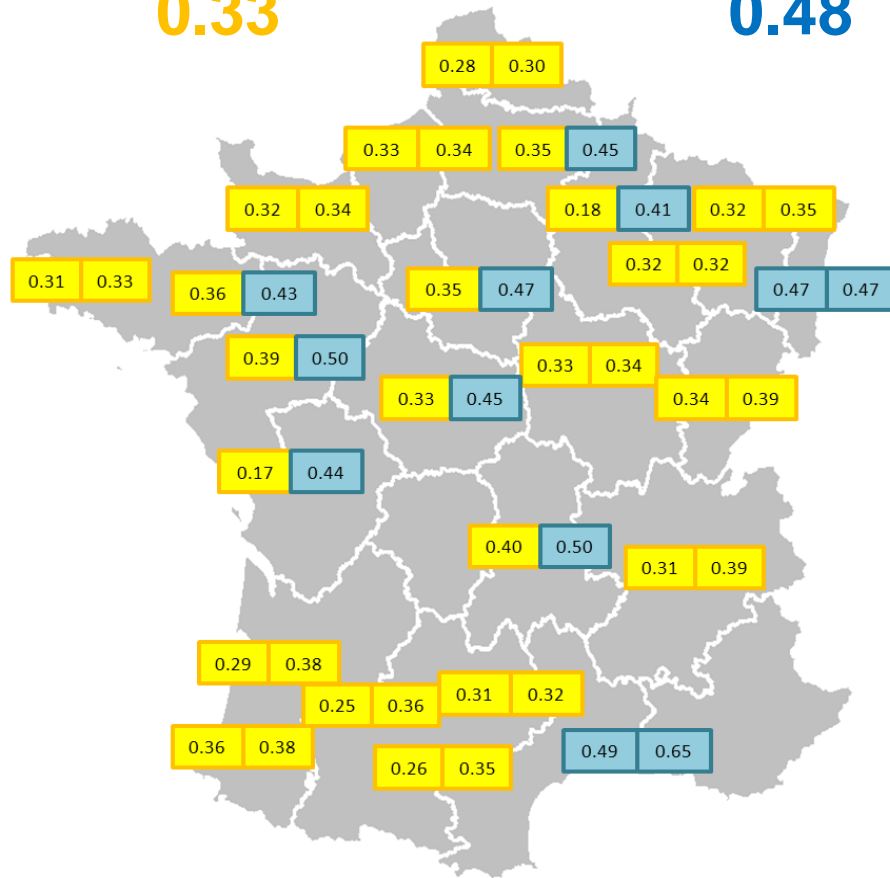


- Même type d'analyse que pour la minéralisation : modèle linéaire mixte, anovas, dendrogrammes, cartographie

- Les Keq cycle : Fbmax et Fbmin

0.33

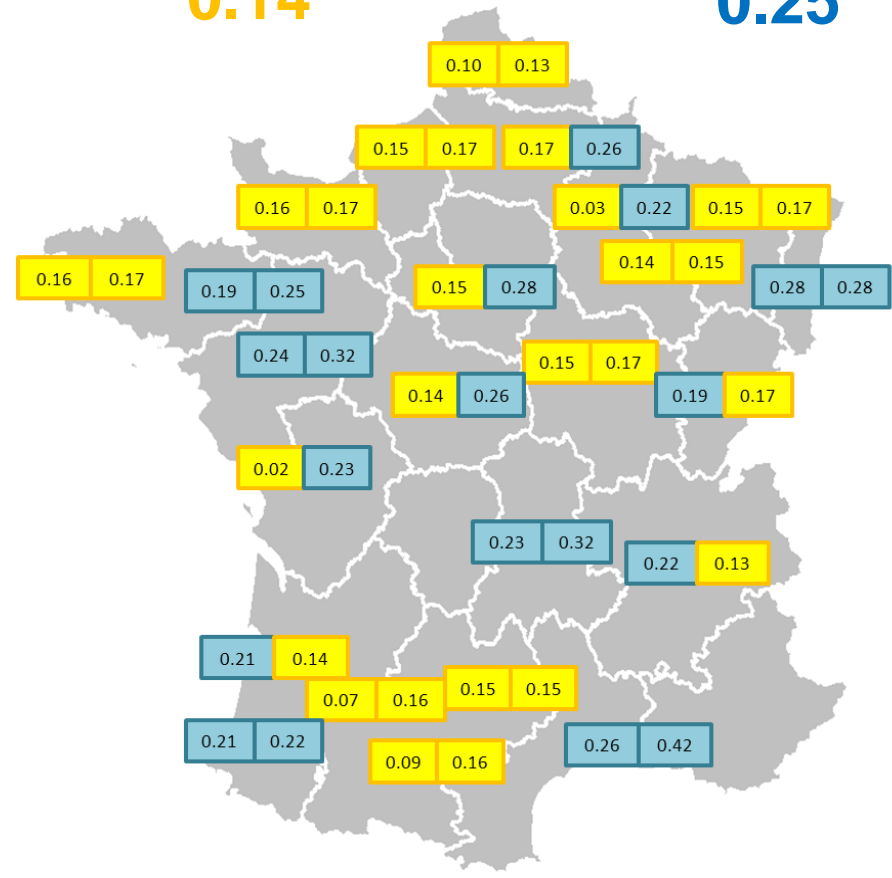
0.48



Keq_cycle_Fbmax

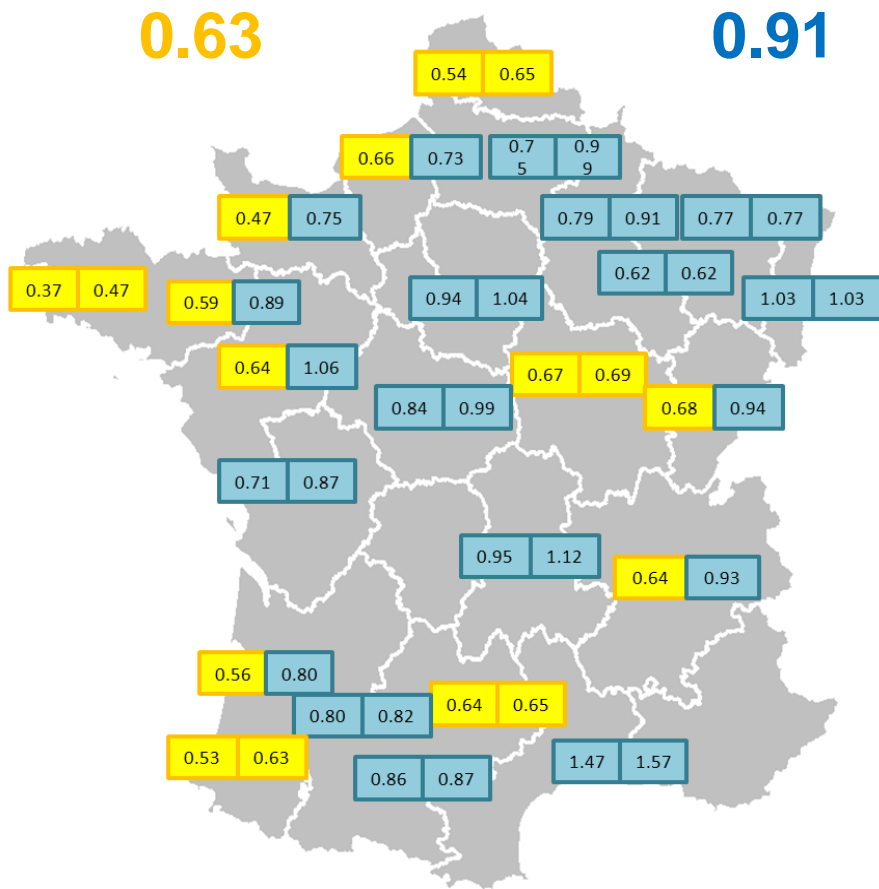
0.14

0.25

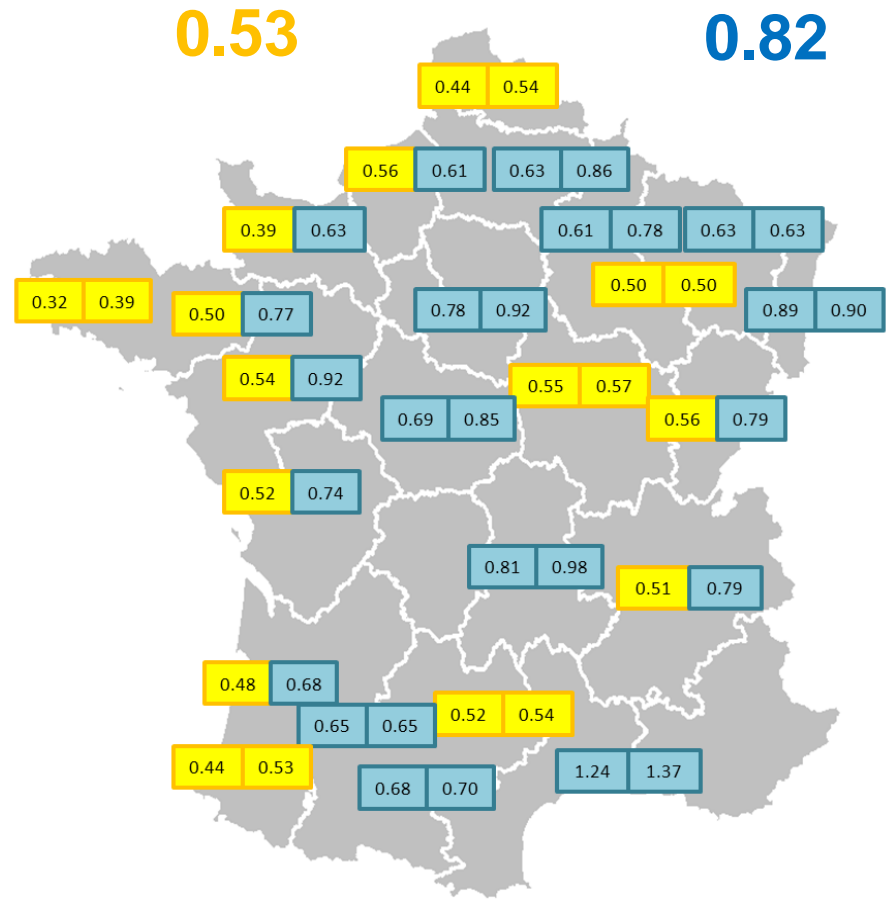


Keq_cycle_Fbmin

- Les Keq cycle : fvmax et fvmin



Keq_cycle_fvmax



Keq_cycle_fvmin

Résultats de l'analyse stats :

- Effet significatif de la variable « site_sol » sur les Keq_cycle
- Pas de répartition « géographique »
- Analyse des variables dont on dispose :
 - Caractéristiques des sites (Drainage, JN)
 - Caractéristiques des sols (RU, profondeur)
- Les Keq_cycle : Manova

Fbmax	Moyenne classe 1	Moyenne classe 2	Pr(<F)
Drainage (au 30.06) (en mm)	246	446	S
Jours Normalisés (au 30.06)	234	232	NS
RU (mm)	173	131	S
Profondeur (cm)	118	98	S
Lixiviation (kgN/ha)	32	72	S
Modèle complet	x	x	S

- Sur le modèle complet (les 5 variables étudiées ensemble), les 2 classes de « site_sol » sont significativement différentes.
- Seuls les JN ne sont pas différents entre les 2 classes. Les 4 autres variables contribuent à expliquer la différence entre les Keq cycle, mais il est difficile de vérifier si ce sont les seules variables explicatives de la différence de Keq.

- Les Keq_cycle : Manova
- L'étude des dendrogrammes et des cartes obtenus pour chaque produit par la même méthode que précédemment montre qu'il n'y a pas de répartition 'géographique' des « site_sol ».
- Les résultats des MANOVAS sur les deux classes :

Keq_cycle	Tout produit	Fbmax	Fbmin	fvmax	fvmin
Drainage	S	S	S	S	S
JN	NS	NS	S	NS	NS
RU	S	NS	NS	S	S
Profondeur	S	S	S	S	S
Lixiviation	S	S	S	S	S
Modèle complet	S	S	S	S	S

- Les Keq cycle : Conclusions
 - Il y a un effet significatif des « site_sol »
 - Les fumiers de volailles ont l'air plus dépendants du pédoclimat que les fumiers de bovins.
 - Il y a un effet régional certain, mais cet effet régional est fonction principalement du type de sol et des caractéristiques pédologiques du site. Il n'y a pas de répartition géographique nette.
 - **Sur la base de ces simulations, le Keq serait à moduler selon l'importance du drainage hivernal qui détermine un risque de lixiviation plus ou moins important de l'azote minéral et organique minéralisé au cours de l'automne/hiver.**

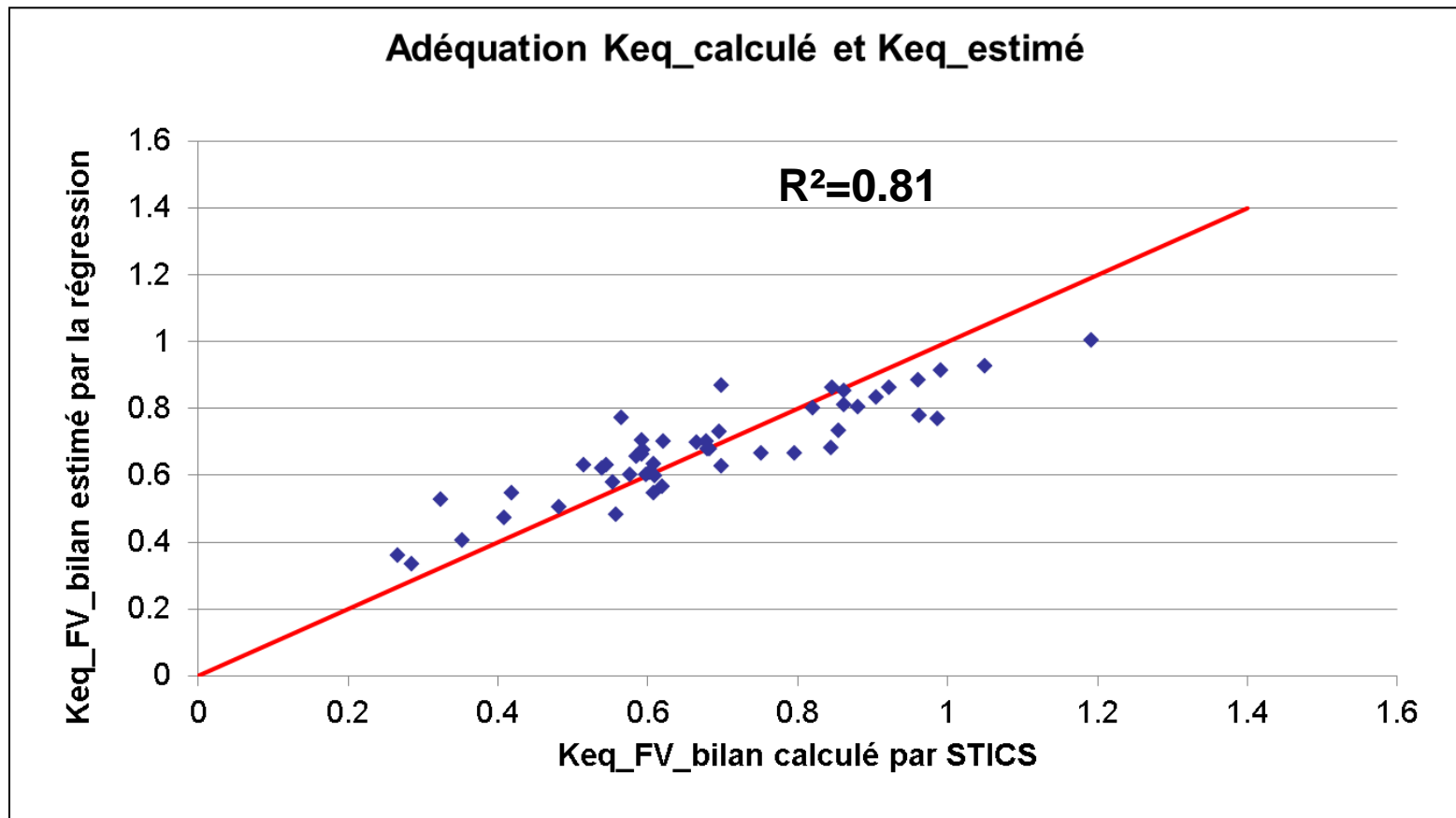
- Comment régionaliser les Keq ?
→ Régression linéaire Stepwise à partir de données météorologiques facilement accessibles : Pluie, température, P-ETP et RU.
- $\text{Keq_cycle} \sim \text{RU} + \text{P1} + \text{P2} + \text{P3} + \text{P4} + \text{Tmoy1} + \text{Tmoy2} + \text{Tmoy3} + \text{Tmoy4} + \text{PETP1} + \text{PETP2} + \text{PETP3} + \text{PETP4} + \text{RU} * \text{P1} + \text{RU} * \text{P2} + \text{RU} * \text{P3} + \text{RU} * \text{P4}$
- $\text{Keq_bilan} \sim \text{RU} + \text{P2} + \text{P3} + \text{P4} + \text{Tmoy2} + \text{Tmoy3} + \text{Tmoy4} + \text{PETP2} + \text{PETP3} + \text{PETP4} + \text{RU} * \text{P2} + \text{RU} * \text{P3} + \text{RU} * \text{P4}$
- Période 1 : 01.10 – 31.12
- Période 2 : 01.01 – 30.02
- Période 3 : 01.03 – 30.04
- Période 4 : 01.05 – 30.06

- Régression stepwise : résultats

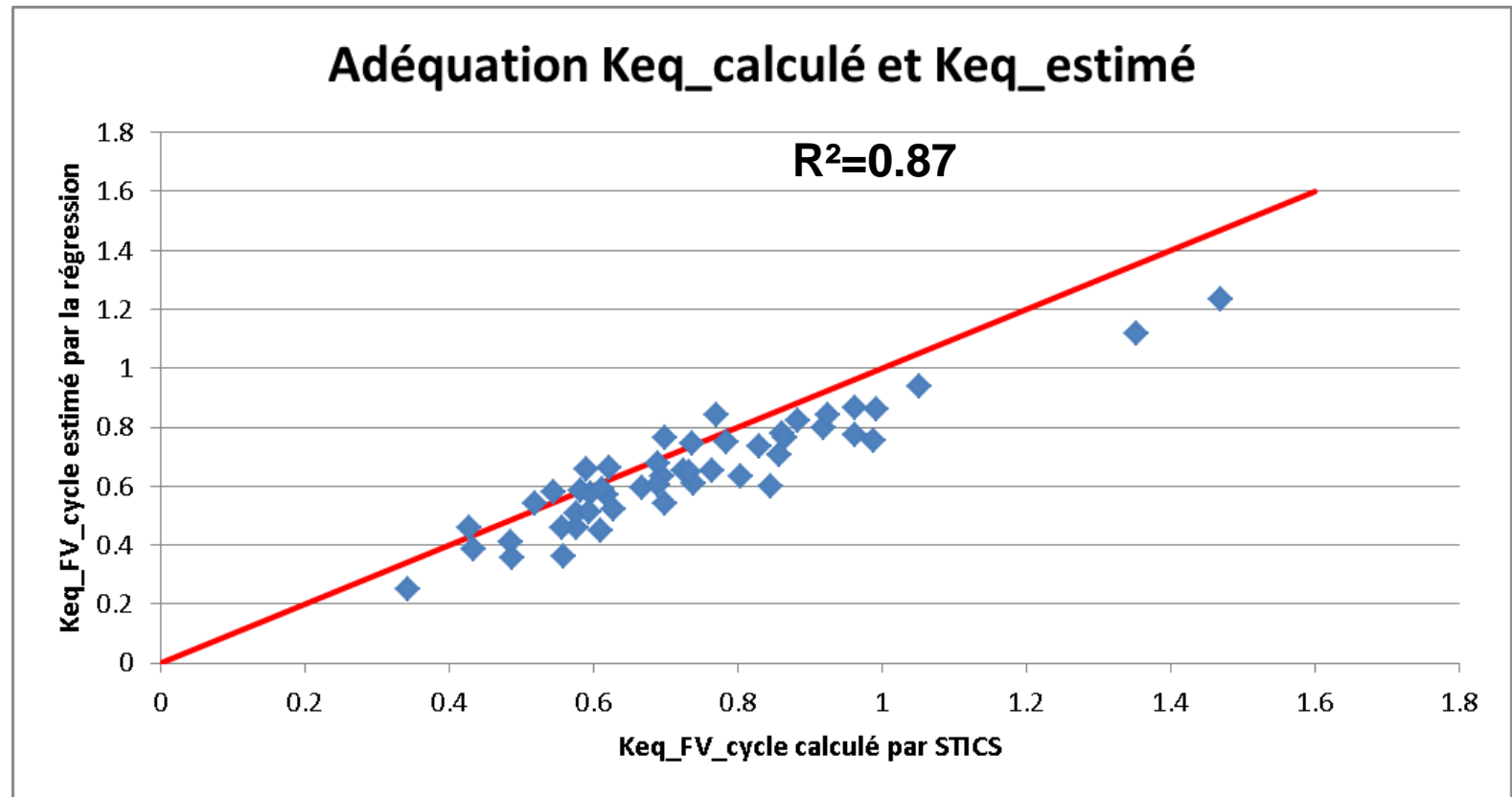
	Equation retenue par la régression	R ²
FB_cycle	RU + P2 + P3 + Tmoy1 + Tmoy3 + PETP1 + PETP2 + PETP3 + RU:P2	0.18
FV_cycle	RU + P2 + P3 + Tmoy1 + Tmoy3 + PETP1 + PETP2 + PETP4 + RU:P3	0.69
FB_bilan	RU + P2 + P3 + Tmoy3 + PETP2 + PETP3 + PETP4 + RU:P2	0.11
FV_bilan	RU + P2 + P3 + P4 + Tmoy3 + Tmoy4 + PETP2 + PETP3 + PETP4 + RU:P3 + RU:P4	0.57

- Les R² sont faibles pour les FB, mais élevés pour les FV
→ Calcul des Keq_FV (cycle et bilan) et comparaison aux Keq de STICS

- Régression stepwise : résultats Keq_FV_bilan
- Test de Student : pas de différence significative entre les deux séries



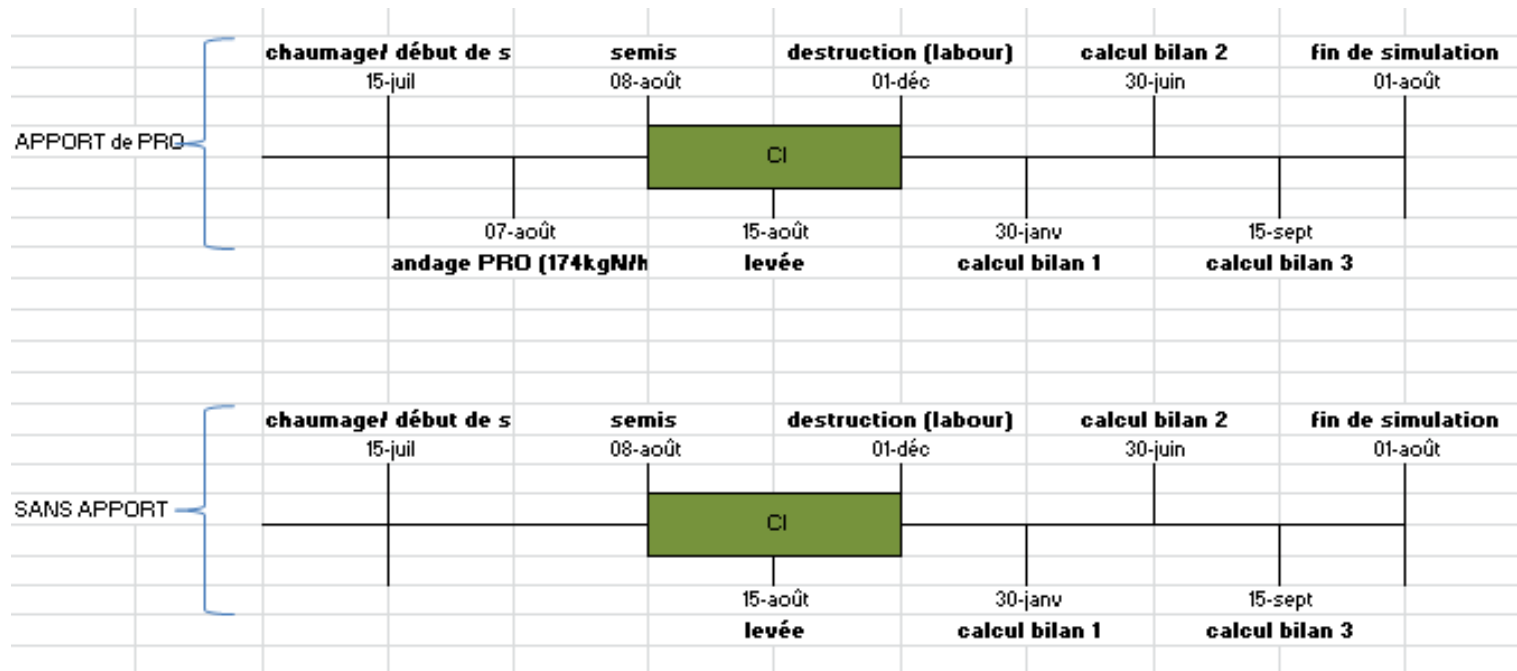
- Régression stepwise : résultats Keq_FV_cycle
- Test de Student : pas de différence significative entre les deux séries



3. Apport de PRO sur culture intermédiaire

- Objectif : Mise en évidence de l'impact du pédoclimat sur l'effet d'un apport de produit résiduaire organique sur une culture intermédiaire
- 2 scénarios :
 - CI sans apport de PRO
 - CI avec apport de PRO
 - Important : sol nu après la CI
- Hypothèses de simulations :
 - Reliquat initial : 30 kgN/ha sur 0-90 cm
 - Précédent : blé pailles enlevées, 1 tMS/ha apporté en début de simulation (C/N 80), sur un travail du sol associé de 7 cm
 - CI : moutarde, semis 8 août, levée 15 août, destruction 1er décembre par labour de 25 cm
 - PRO : Fumiers apportés la veille du semis de la CI (7 août), incorporation en surface, à 174 kgN/ha soit :
 - Fumier de bovin : dose 30 t/ha de produit brut dont 30 kg N-NH₄/ha
 - Fumier de volailles : 6.2 t/ha de produit brut dont 43.4 kg N-NH₄/ha

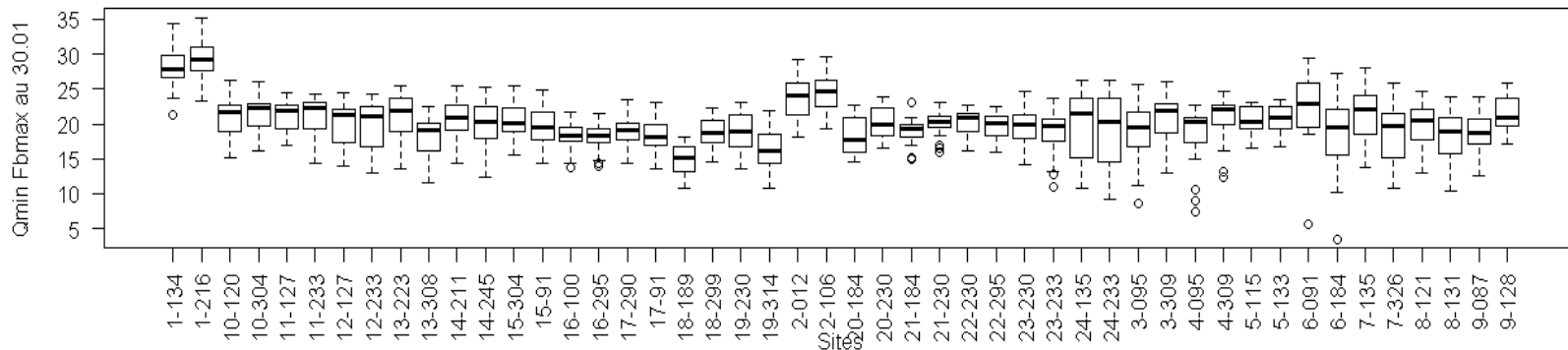
Les scénarios étudiés



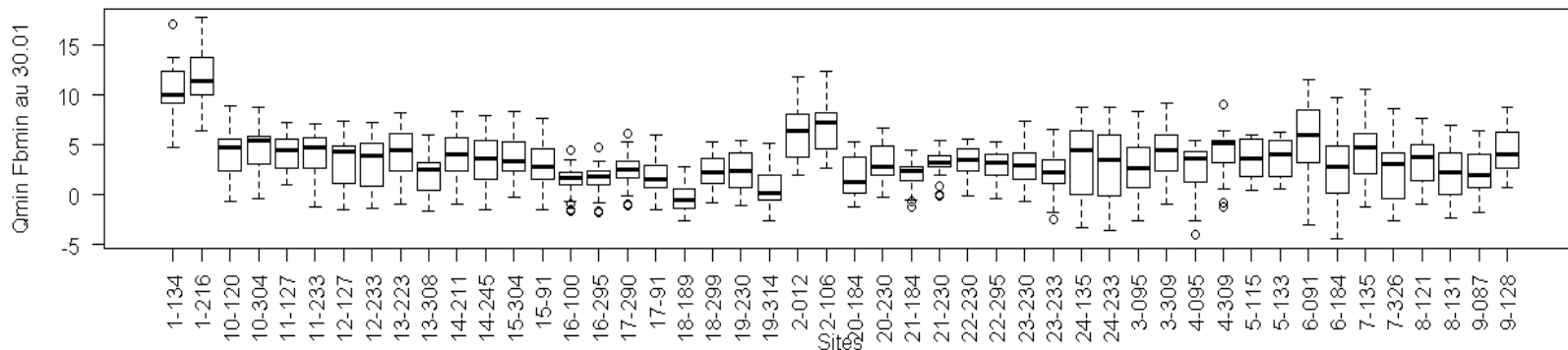
- La minéralisation à l'automne : Fbmax et Fbmin

174 kgN total

Qmin automne du Fbmax

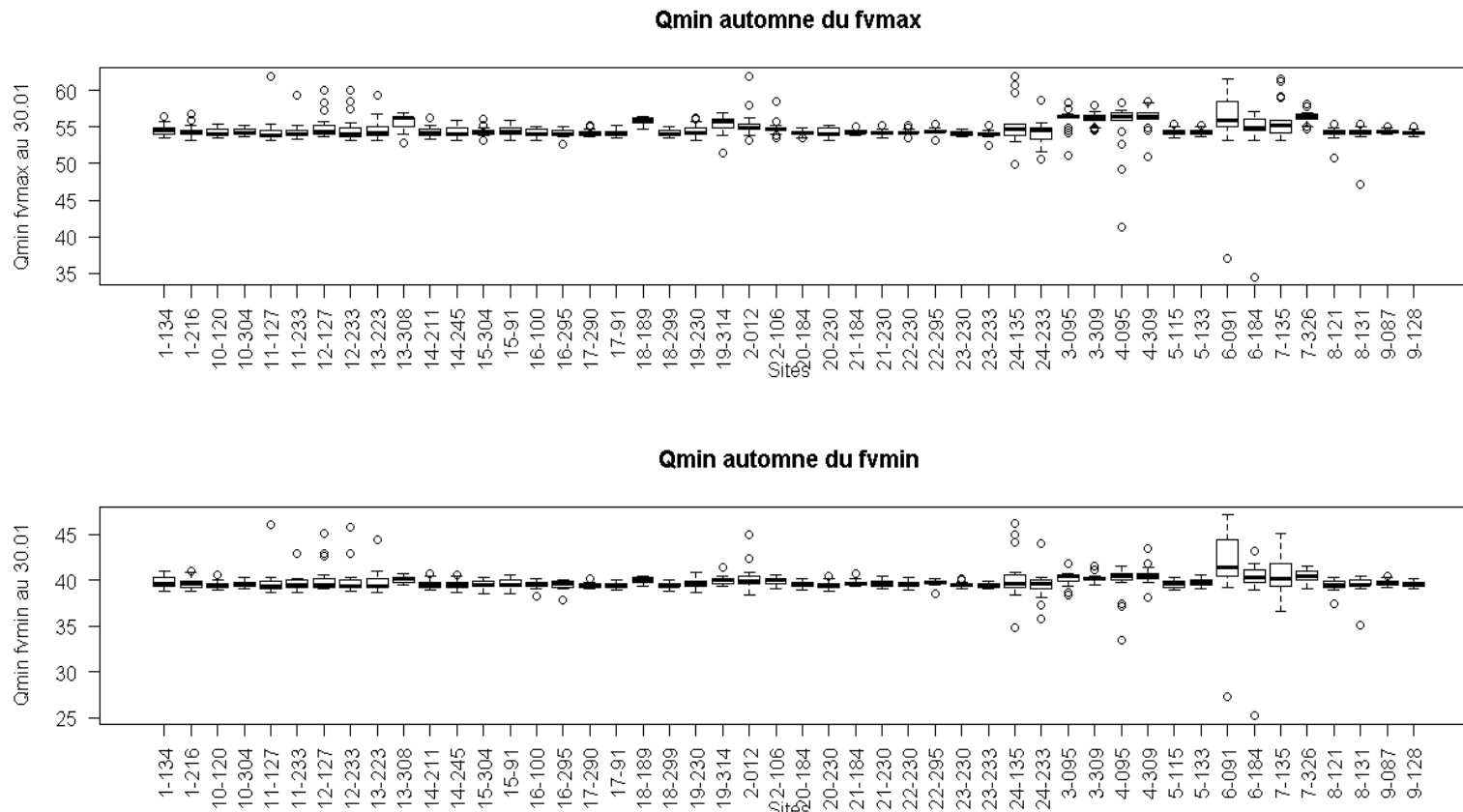


Qmin automne du Fbmin



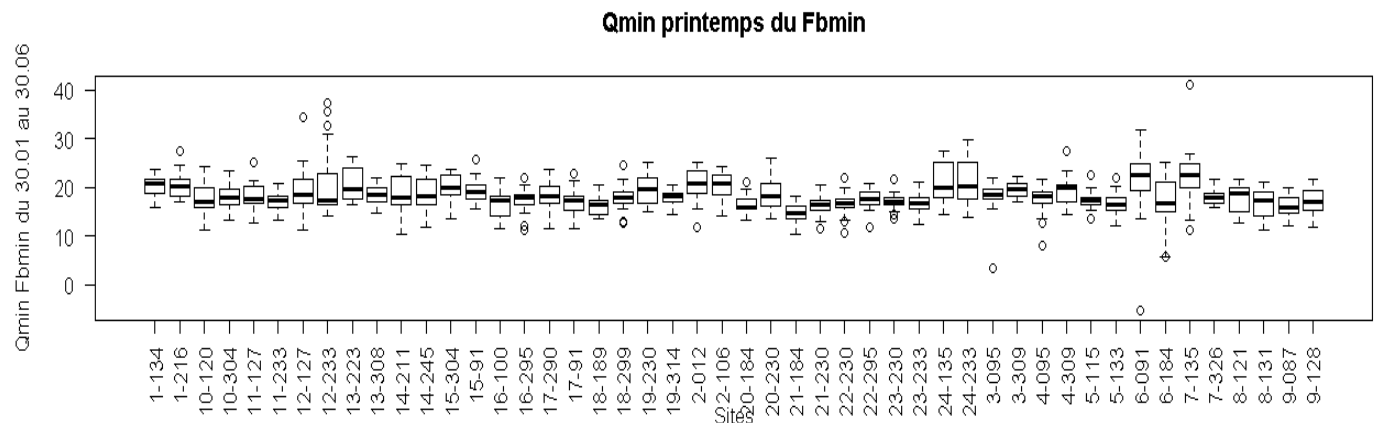
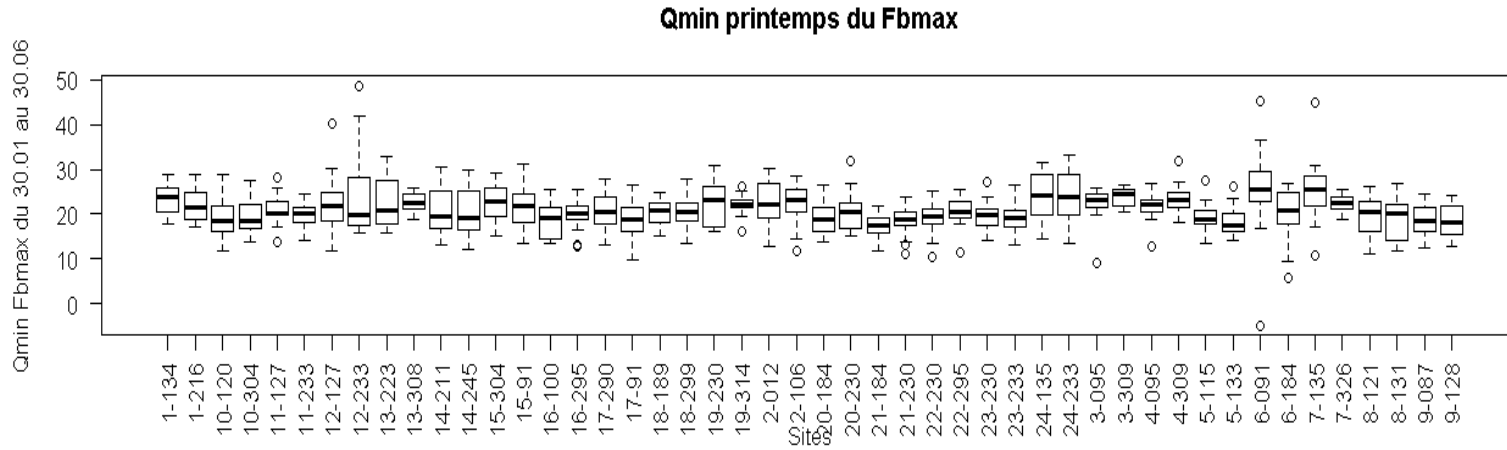
- La minéralisation à l'automne : fvmax et fvmin

174 kgN total

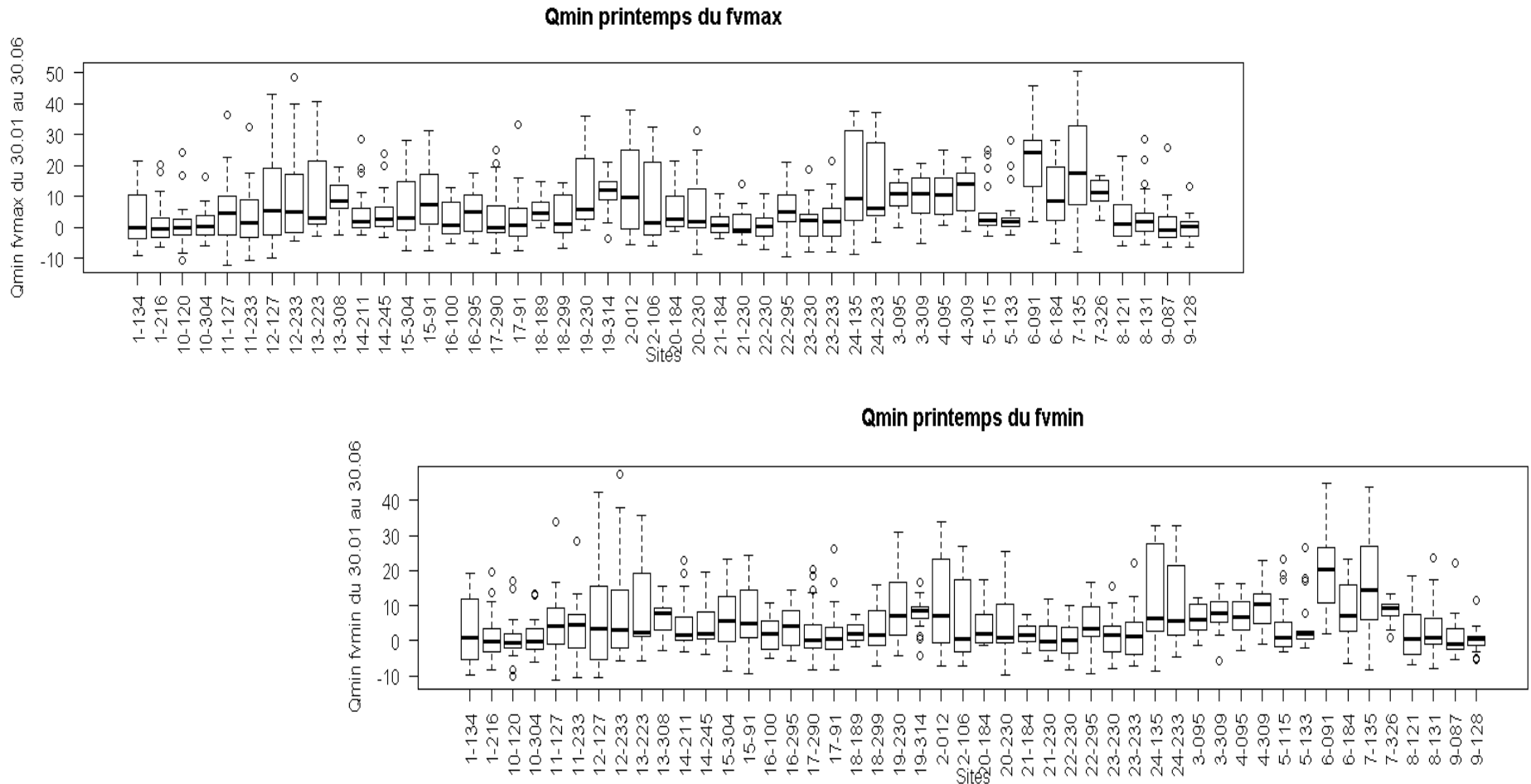


- La minéralisation à l'automne : conclusions
 - Les niveaux moyens de minéralisation sont très différents entre produits : environ 20 kgN/ha pour Fbmax, 4 pour Fbmin, 55 pour fvmax et 40 pour fvmin.
 - La variabilité de minéralisation de ces produits entre les sites est très faible : moins de 3 kgN/ha sur la moyenne France entière. Ceci est encore plus vrai sur les fumiers de volailles, où l'écart-type moyen est de 1 kgN/ha.

- La minéralisation au printemps : Fbmax et Fbmin



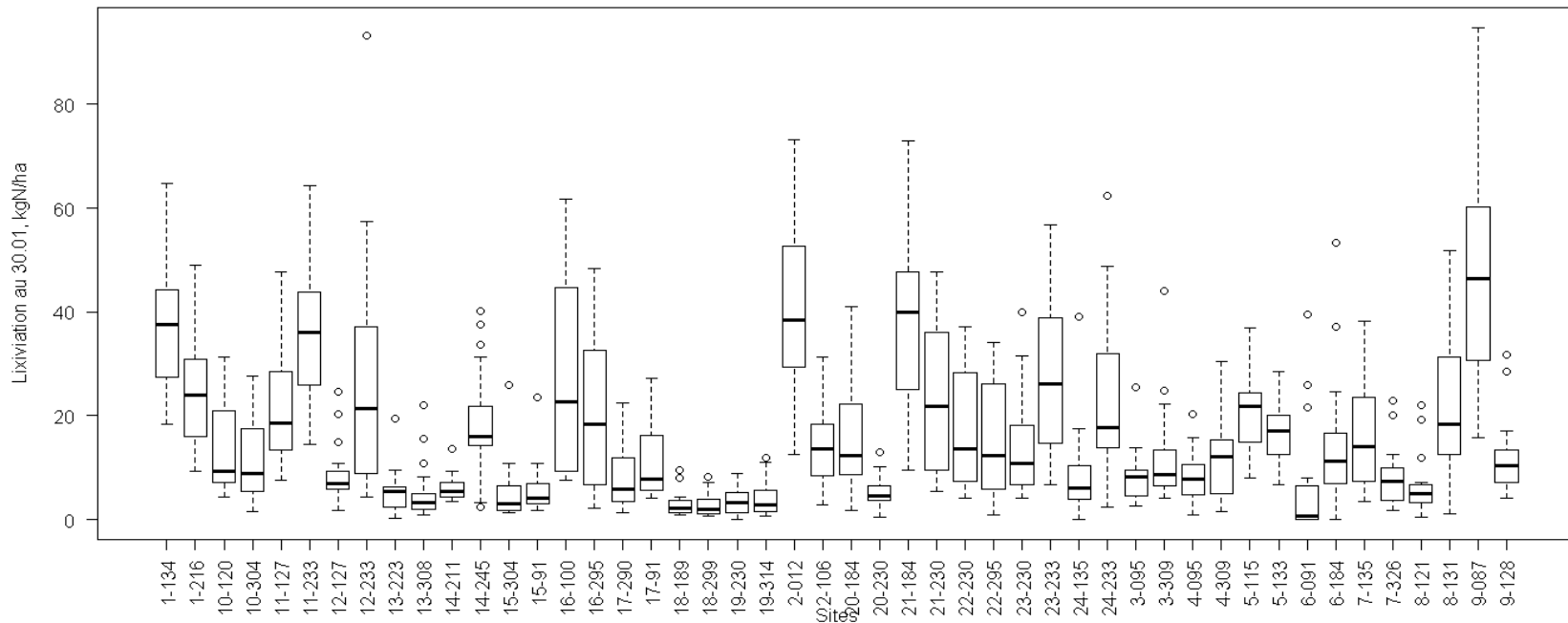
- La minéralisation au printemps : fvmax et fvmin



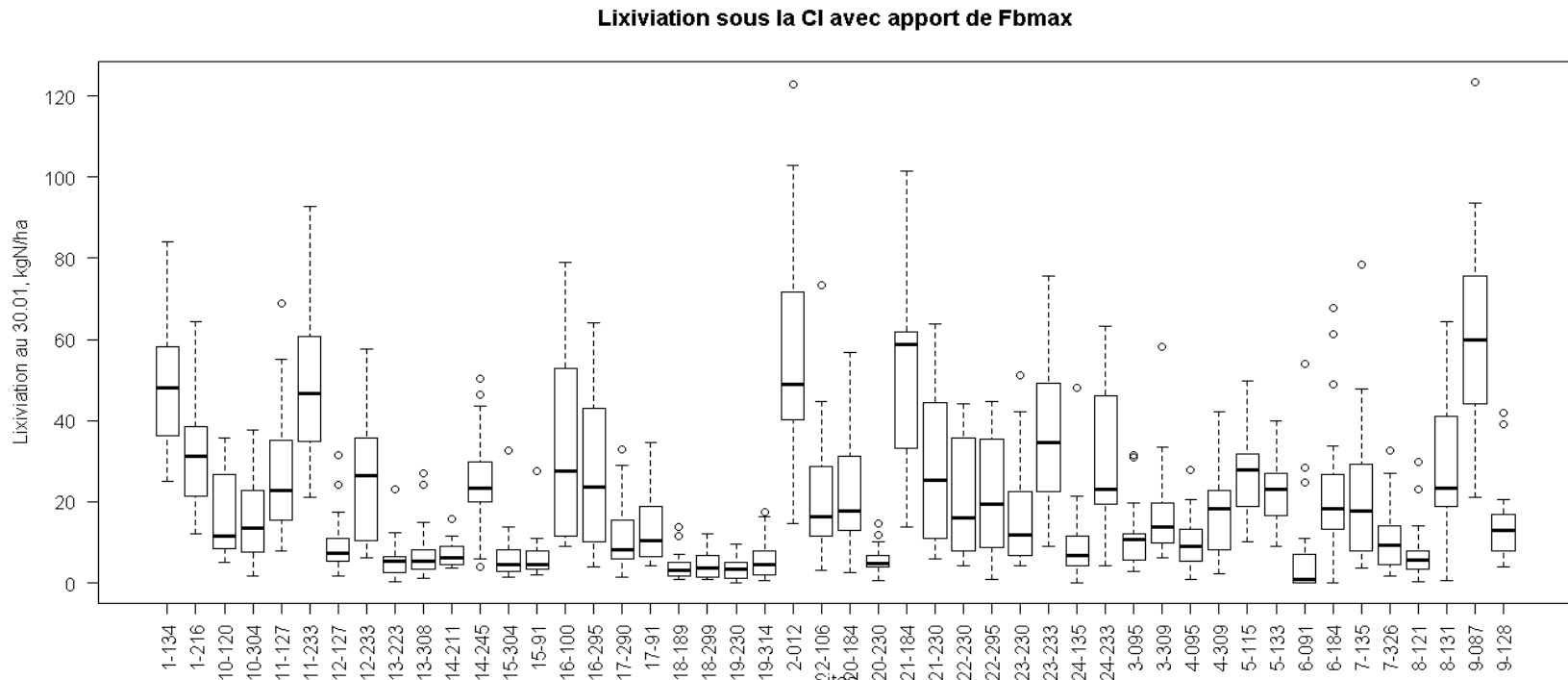
- La minéralisation au printemps : conclusions
 - Les niveaux de minéralisation nette au printemps (sous un sol nu) dépendent fortement des PRO étudiés.
 - Les fumiers de bovins ont des niveaux de minéralisation d'une vingtaine d'unités d'azote, avec peu de variabilité entre les site_sol et les années (écart-type moyen de 3-4 kgN/ha).
 - Les deux fumiers de volailles ont des niveaux moyen de minéralisation plus faibles : 5 et 7 unités en moyenne France, mais avec beaucoup de plus de variabilité entre les « site_sol » et les années (écart-type : 8-9 kgN/ha).

- Lixiviation sous la CI sans apport de PRO

Lixiviation sous la CI sans apport de PRO



- Lixiviation sous la CI avec un apport de Fbmax



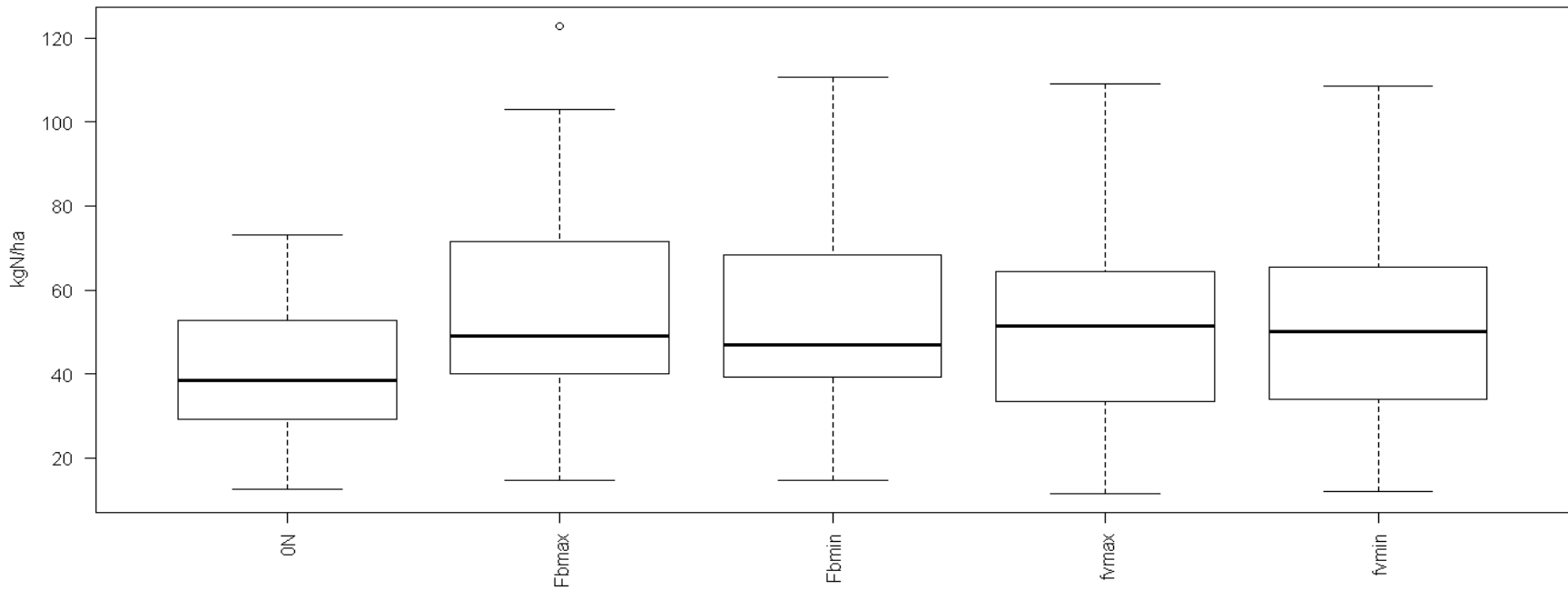
- Lixiviation sous la CI
- Comparaison de la lixiviation sous la CI en fonction du type de PRO

	Fbmax	Fbmin	Fvmax	Fvmin	ON
Fbmax					
Fbmin	NS				
Fvmax	NS	NS			
Fvmin	NS	NS	NS		
ON	S	S	S	S	

- Pas de différence entre les 4 PRO
- La lixiviation sous la CI sans PRO est significativement différente de la lixiviations sous la CI avec un PRO
- Différence importante ?

- Lixiviation sous la CI

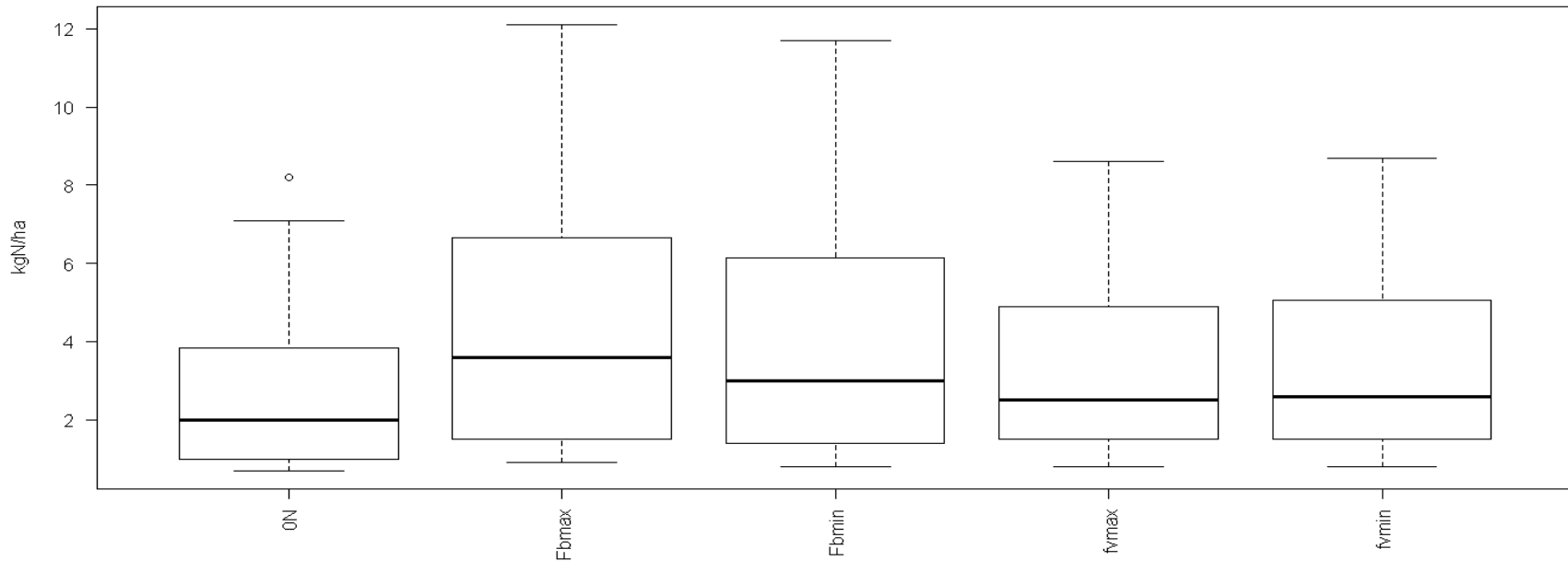
Lixiviation au 30.01 sous CIPAN en fonction des apports de PRO sur le site 2-012



QLES	ON	Fbmax	Fbmin	fvmax	fvmin
Moyenne	41.2	57.3	54.5	53.4	53.0
EC	15.9	26.4	25.2	25.0	24.4

- Lixiviation sous la CI

Lixiviation au 30.01 sous CIPAN en fonction des apports de PRO sur le site 18-299

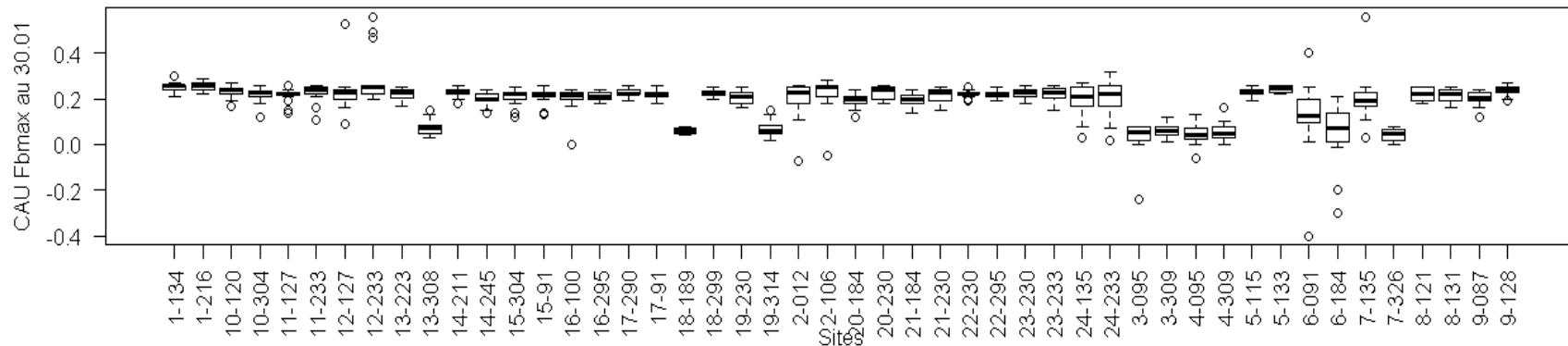


QLES	ON	Fbmax	Fbmin	fvmax	fvmin
Moyenne	2.8	4.2	3.9	3.4	3.4
EC	2.4	3.4	3.2	2.6	2.6

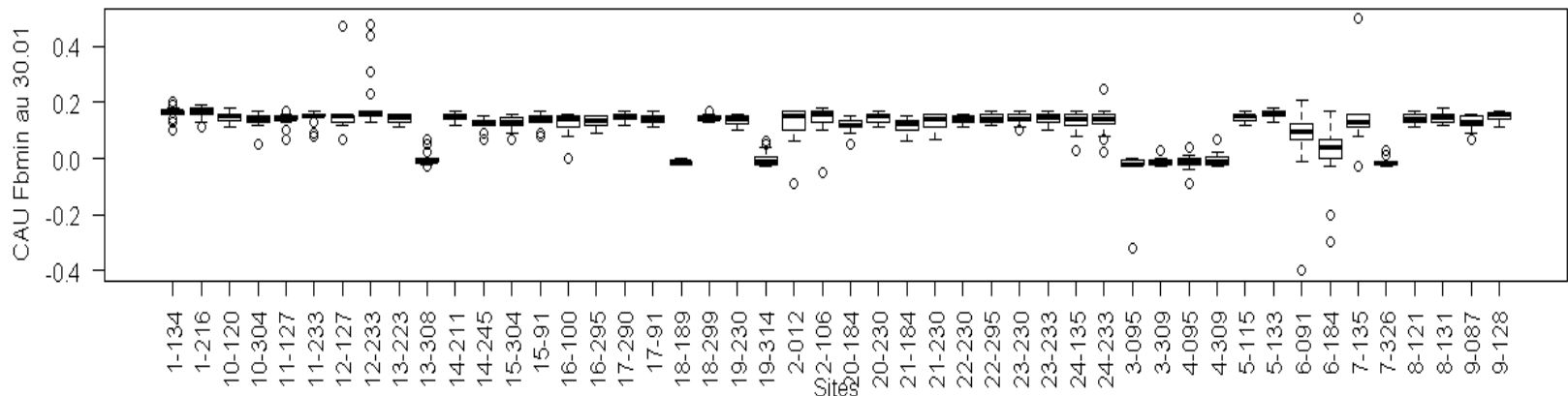
- Les « CAU » : Fbmax et Fbmin

$$CAU = (Nabs_CI_PRO - Nabs_CI_OPRO) / Ntot(PRO)$$

CAU du Fbmax



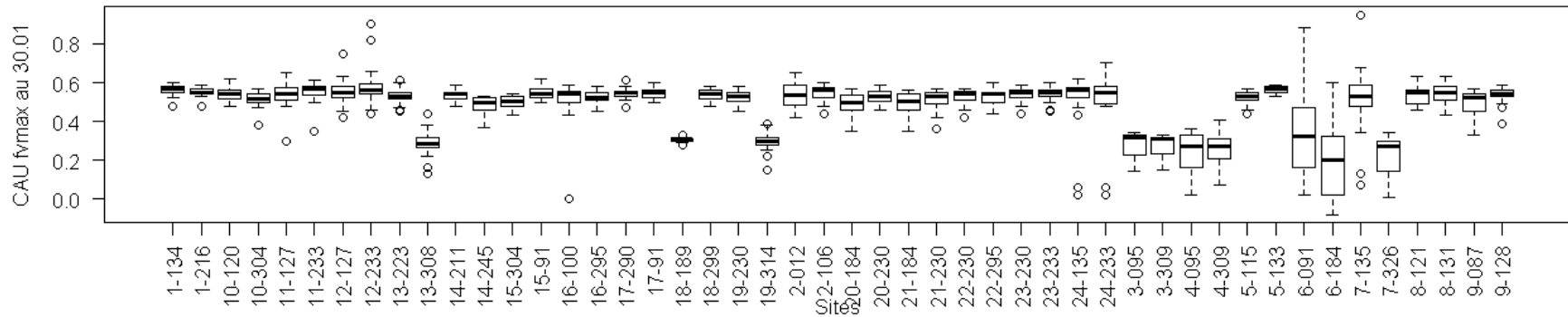
CAU du Fbmin



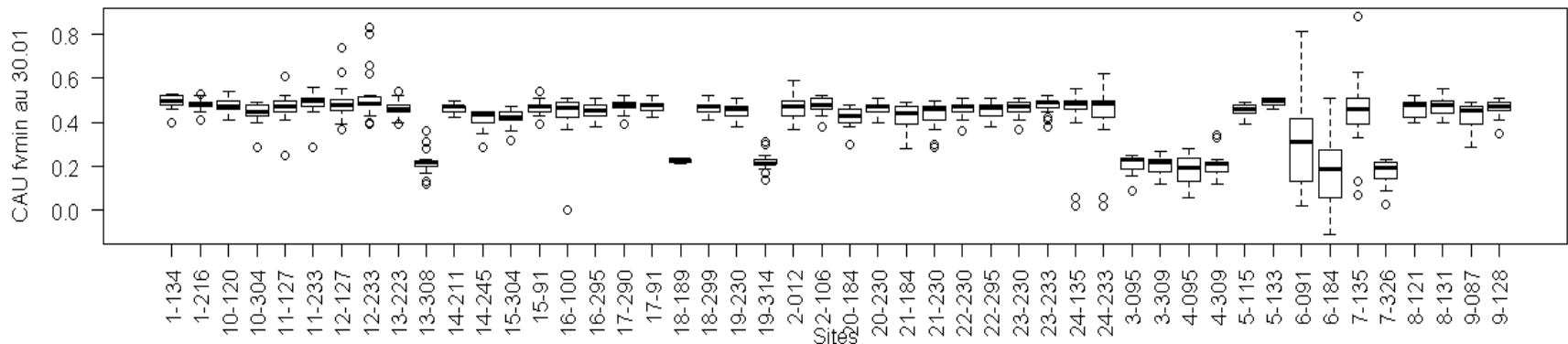
- Les « CAU » : fvmax et fvmin

$$CAU = \frac{(Nabs_CI_PRO - Nabs_CI_OPRO)}{Ntot(PRO)}$$

CAU du fvmax

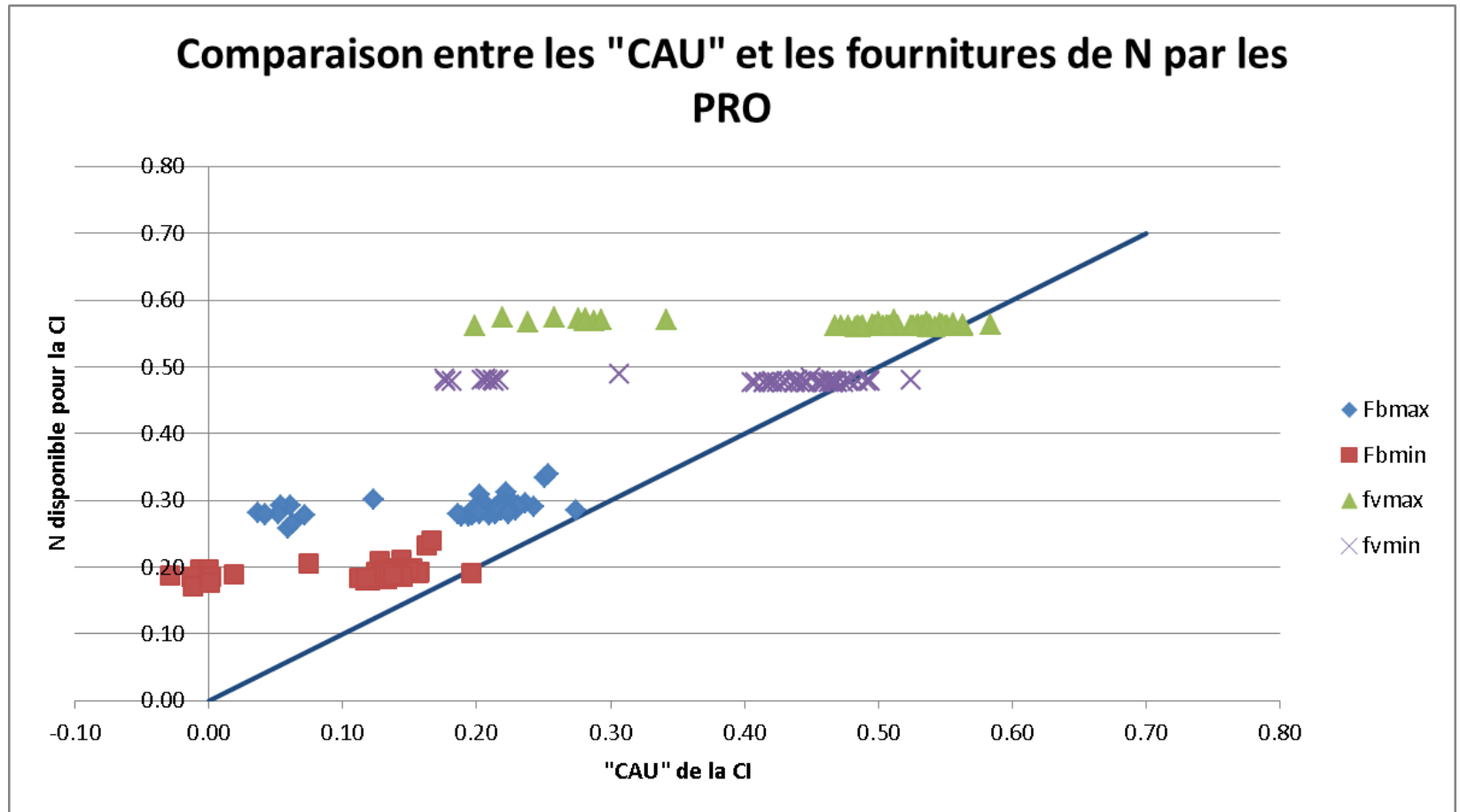


CAU du fvmin



- Les « CAU » : conclusions
 - Malgré quelques sites « extrêmes » (site 6 en Languedoc-Roussillon), il y a très peu de variabilité dans les CAU, quel que soit le produit étudié (écart-type des CAU < 0.07) et quel que soit le « site_sol ».
 - Il y a beaucoup moins de variabilité dans les CAU des fumiers de volailles en apports sur CIPAN par rapport aux apports de ces mêmes produits sur blés.
- Comparaison de ces « CAU » aux « N disponible pour les CI »
- $$N \text{ disponible} = (N\text{-NH}_4(\text{PRO}) + Q\text{MIN}(\text{PRO}))/N_{\text{tot}}(\text{PRO})$$

- Les « CAU » : peu d'adéquations entre les « CAU » calculés et la fourniture de N par les PRO



- Conclusion :
 - Peu de variabilité dans les CAU, quel que soit le produit étudié (écart-type des CAU < 0.07).
 - Les niveaux de minéralisation à l'automne sont différents entre produits, mais ce qui est également remarquable, c'est que la variabilité de minéralisation de ces produits entre les sites est très faible : moins de 3 kgN/ha sur la moyenne France entière.
 - Beaucoup plus de variabilité de la minéralisation nette au printemps des fumiers de volailles que des fumiers de bovins
 - Peu d'impact du type de produit sur la lixiviation des nitrates.
 - À priori difficile d'estimer le potentiel d'absorption de la CI à partir des fournitures de N par les PRO.