



SOERE PRO Assemblée Générale

3 décembre 2021

Rennes – UMR SAS & visioconférence



Valeur amendante et fertilisante d'une large diversité de produits résiduaux organiques en conditions contrôlées de laboratoire

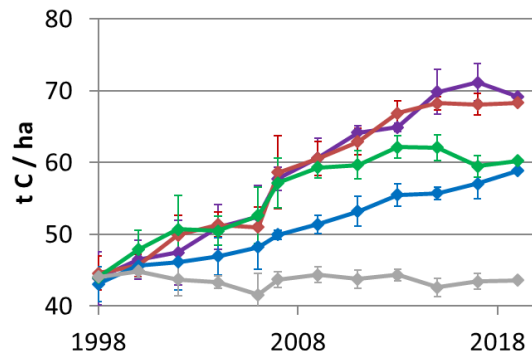
Florent Levavasseur¹, Garry Dorleon^{1,2}, Gwenaelle Lashermes², Sabine Houot¹

¹ INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, UMR ECOSYS, 78850 Thiverval-Grignon, France

² Université de Reims Champagne Ardenne, INRAE, FARE, UMR A 614, 51097 Reims, France

Contexte

- Recyclage des PRO en agriculture : stockage de carbone dans les sols et fourniture de N aux cultures
- Caractérisation possible de ces effets lors d'essais court et longue durée
- A conditions pédoclimatiques et d'apport identiques, variabilité selon les types de PRO et pour un même type de PRO :
 - Variabilité des teneurs en C et N, forme du N
 - Minéralisation du C et du N



Evolution des stocks de carbone du sol à QualiAgro

Apport de 4 PRO différents à dose de C identique :

- BIO : compost de déchets verts et biodéchets
- DVB : compost de déchets verts et boue
- OMR : compost d'Ordures Ménagères Résiduelles
- FUM : fumier bovin
- TEM : témoin sans PRO

- Lourdeur des essais au champ → besoin de prédire ces effets à partir de mesures de laboratoire

Estimation de la valeur amendante en conditions contrôlées

- Valeur amendante du PRO = teneur en carbone du PRO qui sera « incorporé » à la matière organique du sol

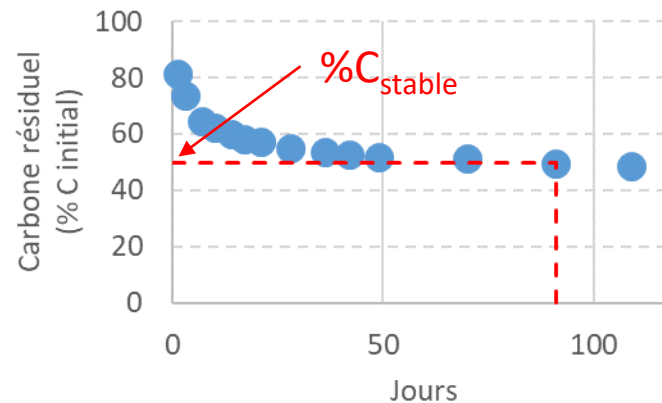
$$\text{Valeur amendante VA} = \text{Teneur en Corg} \times \%C_{\text{stable}}$$

Exemple : un PRO avec une teneur de 300 kg C / t MS et 50 % de C stable a une valeur amendante de 150 kg C stable / t MS

- Estimation du $\%C_{\text{stable}}$ lors d'incubations en conditions contrôlées
 - Suivi des émissions cumulées de CO_2 d'un mélange sol+PRO au cours du temps (et différence à témoin sans PRO)
 - Carbone résiduel à 90 jours à 28°C \approx 1 an au champ (Levavasseur et al., 2021)



Mélange sol+PRO en bocal pour incubation



- Utilisation de cette méthode +/- adaptée pour paramétrer des modèles et prédire le stockage de carbone au champ (Peltre et al., 2012, Levavasseur et al., 2020)

Estimation de la valeur fertilisante N en conditions contrôlées

- Valeur fertilisante N = teneur en N disponible à court terme du PRO = N minéral et N organique rapidement minéralisé

$$VF = \text{Teneur en } N_{\text{minéral}} + \text{Teneur en } N_{\text{org}} \times \%N_{\text{minéralisé court terme}}$$

*Exemple : un PRO avec une teneur de 10 kg N minéral / t MS, 40 kg N organique / t MS et 25 % de N minéralisé à court terme a une valeur fertilisante de 20 kg N disponible / t MS (10+40*0.25)*

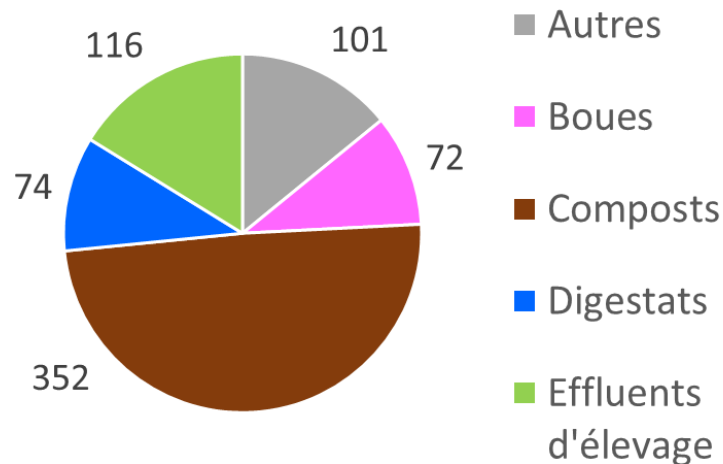
- Estimation du $\%N_{\text{minéralisé court terme}}$ lors d'incubations en conditions contrôlées :
 - Suivi des teneurs en N minéral d'un mélange sol+PRO au cours du temps (et différence à témoin sans PRO)
 - N minéralisé à 90 jours à 28°C ≈ 1 an au champ
- Utilisation de cette méthode +/- adaptée pour prédire la disponibilité du N au champ (*Gale et al., 2006, Delin et al., 2012*)

Objectif

- Nombreuses incubations réalisées depuis plusieurs décennies
- Manque d'une synthèse pour :
 - proposer une analyse des valeurs amendantes (VA) et fertilisantes (VF) des PRO
 - étudier quels sont les principaux déterminants de VA et VF
 - tester la prédiction de VA et VF sans passer par des incubations

Base de données

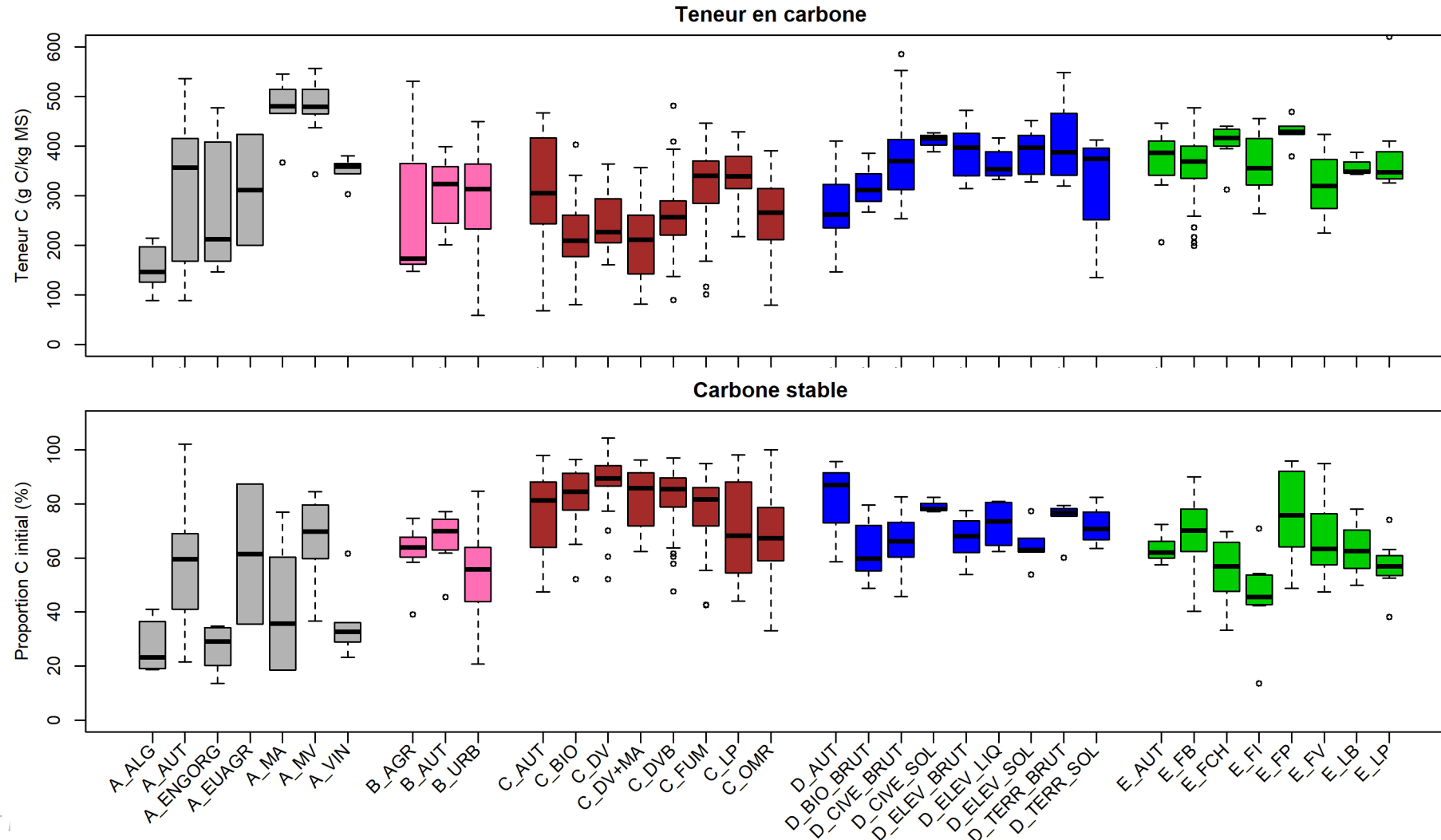
- Compilation des données d'incubations, d'analyses physico-chimiques (MS, C, Nmin, Norg) et biochimiques (fractions Van Soest, ISMO)
- Plupart des incubations dans des conditions standards (28°C, ajout N, PRO solides séchés...)
- Origine des données : projets divers, SOERE-PRO (QualiAgro, Colmar, Efele, Nouzilly)
- Utilisation d'une nomenclature « maison » adaptée au jeu de données
- Représentativité : beaucoup de composts...
- Des valeurs manquantes : MS (517/715), ISMO (61/715)...



Code	Nombre	Nom
A_ALG	5	Algues
A_AUT	35	Autre
A_ENGORG	5	Engrais organique
A_EUAGR	23	Eaux usées IAA
A_MA	6	Matières animales
A_MV	19	Matières végétales
A_VIN	8	Vinasse sucrerie
B_AGR	9	Boues IAA
B_AUT	8	Autre Boue
B_URB	55	Boues urbaines
C_AUT	37	Autres composts
C_BIO	56	Compost DV + biodéchets
C_DV	25	Compost déchets verts
C_DV+MA	13	Compost DV + MA
C_DVB	75	Compost DV + boues
C_FUM	43	Compost fumier
C_LP	11	Compost lisier porc
C_OMR	92	Compost ordures ménagères
D_AUT	19	Autre digestat
D_BIO_BRUT	7	Digestats biodéchets brut
D_CIVE_BRUT	14	Digestat CIVE brut
D_CIVE_SOL	3	Digestat CIVE solide
D_ELEV_BRUT	12	Digestat élevage brut
D_ELEV_LIQ	4	Digestat élevage liquide
D_ELEV_SOL	5	Digestat élevage solide
D_TERR_BRUT	6	Digestat territorial brut
D_TERR_SOL	4	Digestat territorial solide
E_AUT	8	Autre effluent
E_FB	52	Fumier bovin
E_FCH	8	Fumier cheval
E_FI	8	Fientes
E_FP	6	Fumier porcin
E_FV	20	Fumier volaille
E_LB	3	Lisier bovin
E_LP	11	Lisier porcin

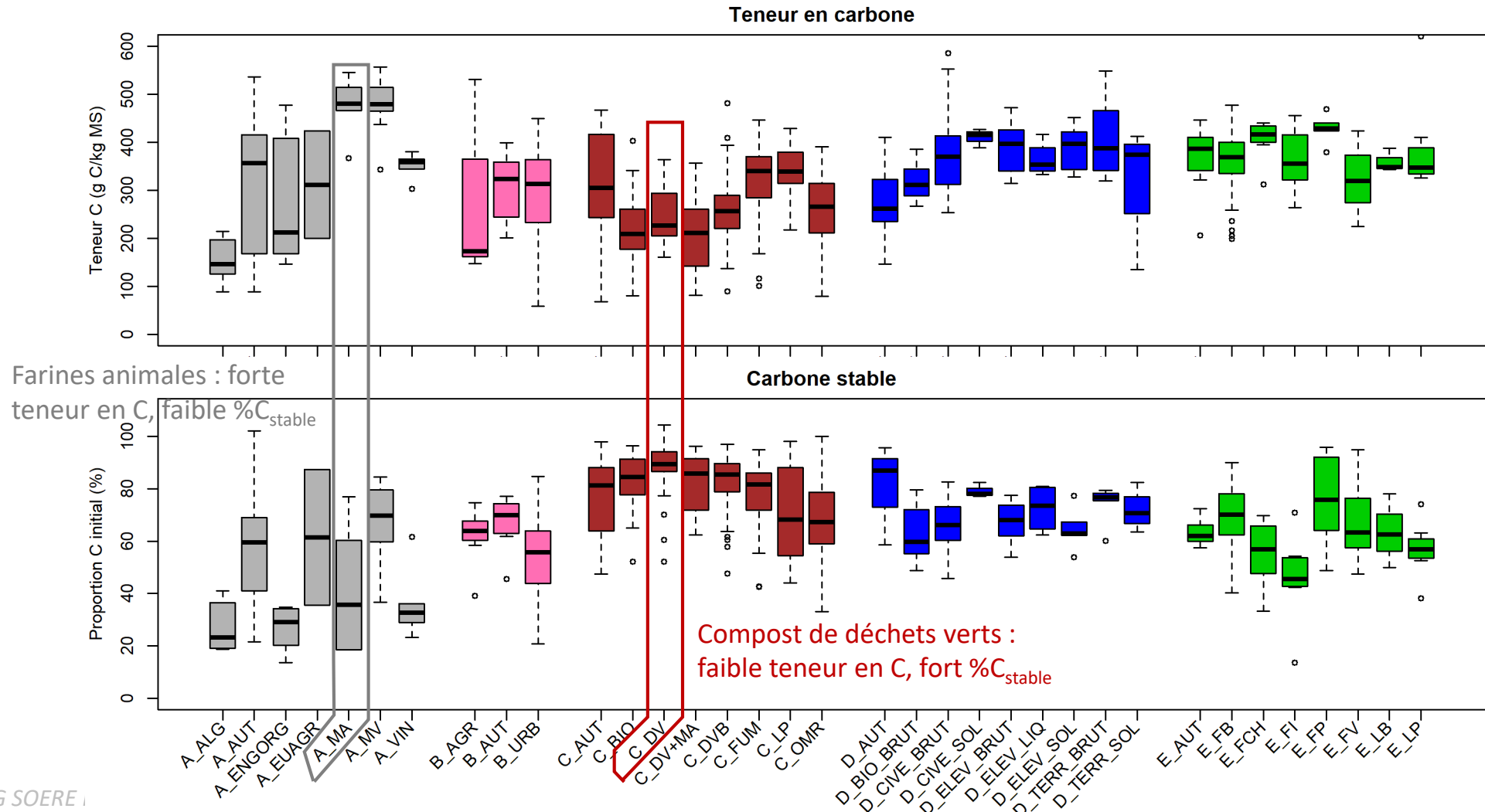
Teneur en C et carbone stable

- Variabilité des teneurs en carbone et de la proportion de C stable entre type de PRO et pour un type de PRO donné



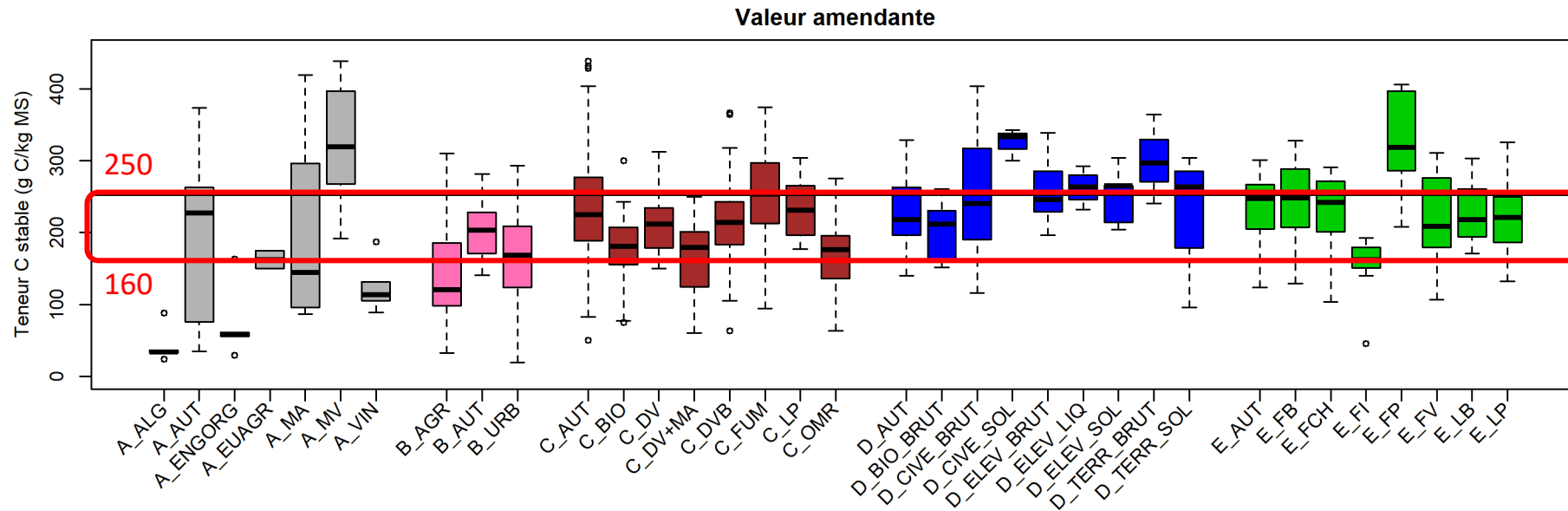
Teneur en C et carbone stable

- Variabilité des teneurs en carbone et de la proportion de C stable entre type de PRO et pour un type de PRO donné
- Compensation possible entre teneur en C et %C_{stable}



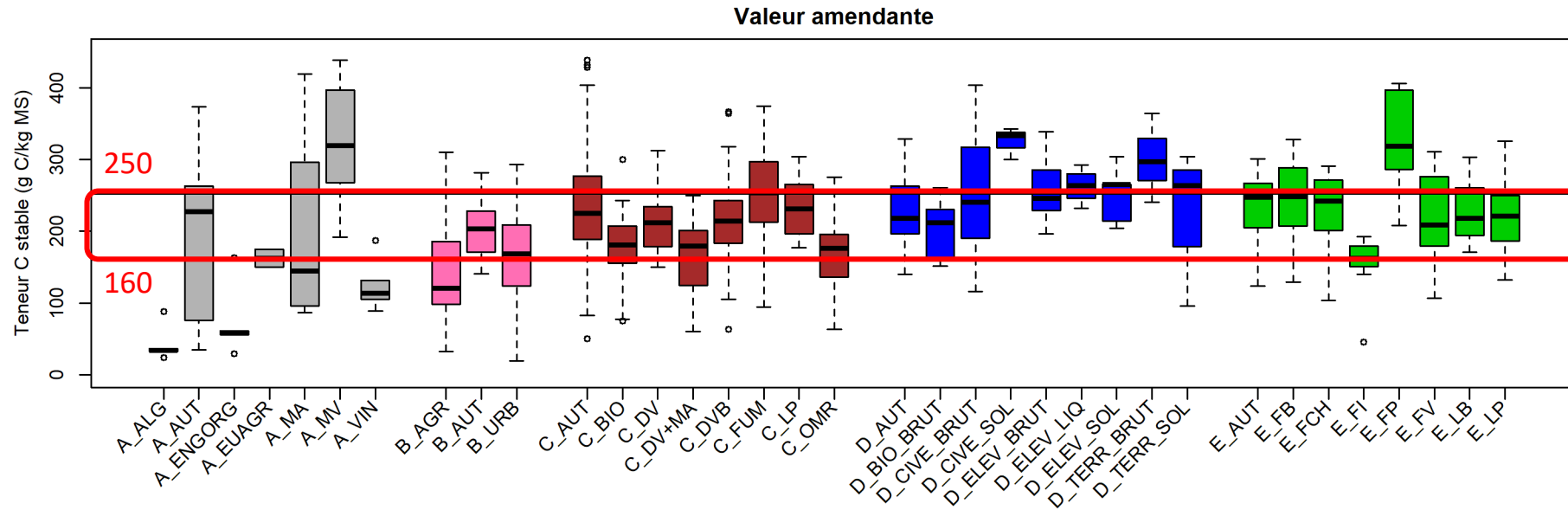
Valeur amendante

- Variabilité de VA, entre type de PRO, et pour un type donné, mais limitée avec 50% des PRO avec une VA entre 160 et 250 kg C stable / t MS (1^{er} et 3^e quartiles)

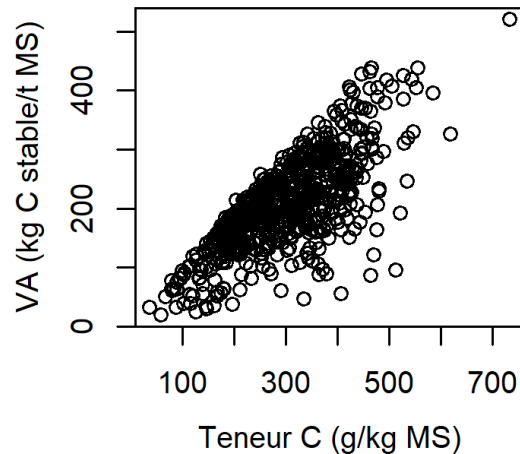


Valeur amendante

- Variabilité de VA, entre type de PRO, et pour un type donné, mais limitée avec 50% des PRO avec une VA entre 160 et 250 kg C stable / t MS (1^{er} et 3^e quartiles)



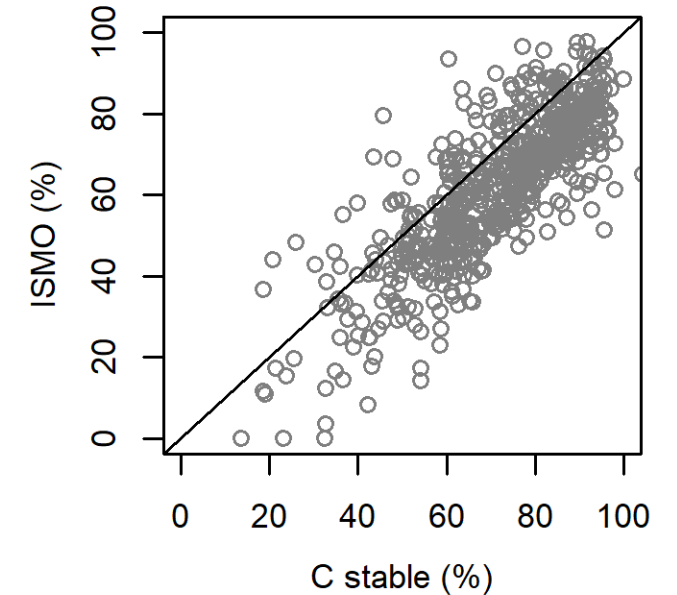
- Teneur en C = 1er déterminant de la valeur amendante



	Variance VA expliquée (%)
Teneur C	54
%C _{stable}	19

Prédiction %C_{stable} et valeur amendante

- %C_{stable} bien corrélé à l'ISMO ($R^2=0.66$), avec un biais (méthode différente par rapport à Lashermes et al., 2009)
→ renforce l'intérêt de l'ISMO pour prédire le %C_{stable} des PRO, y compris pour des PRO non utilisés à la base dans le développement de l'ISMO (digestat, $R^2=0.58$)
- Peu d'intérêt à ajouter d'autres variables disponibles pour prédire %C_{stable}

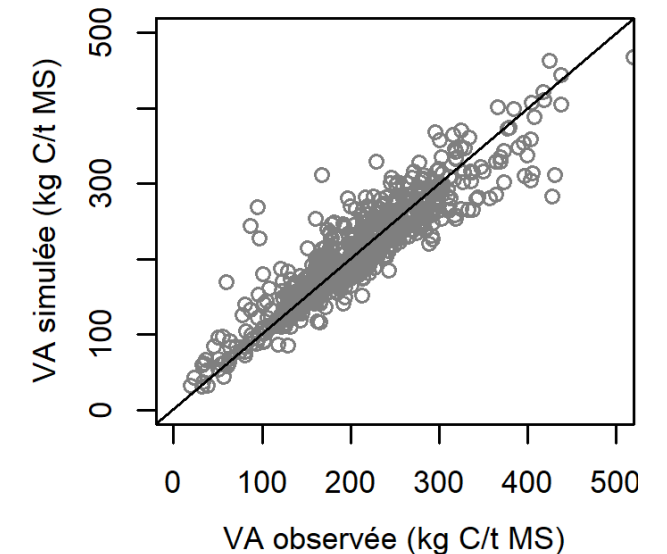
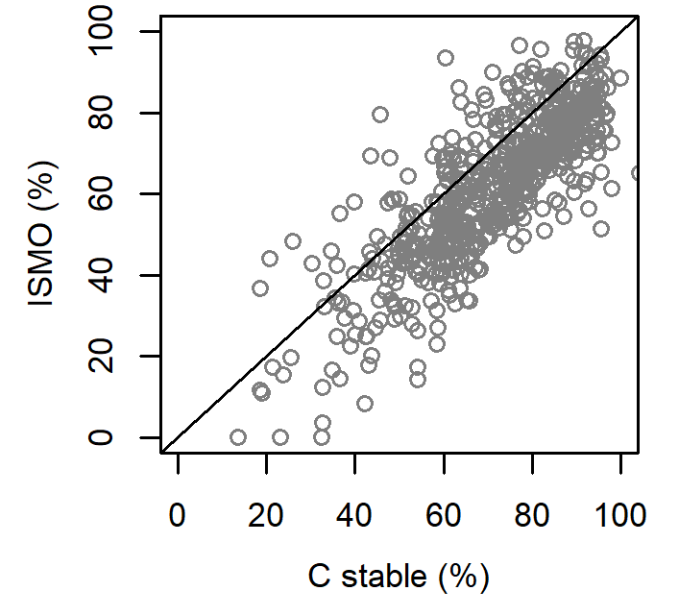


Prédiction %Cstable et valeur amendante

- %C_{stable} bien corrélé à l'ISMO (R²=0.66), avec un biais (méthode différente par rapport à Lashermes et al., 2009)
→ renforce l'intérêt de l'ISMO pour prédire le %C_{stable} des PRO, y compris pour des PRO non utilisés à la base dans le développement de l'ISMO (digestat, R²=0.58)
- Peu d'intérêt à ajouter d'autres variables disponibles pour prédire %C_{stable}
- Utilisation d'ISMO et teneur C pour prédire VA satisfaisant

$$VA = C_{org} \times (25 + 0.75 \times ISMO) / 100$$

Biais (kg C stable / t MS)	0
RMSE (kg C stable / t MS)	31
R ²	0.84



Effet de la matière sèche et des doses d'apport

- Résultats précédents exprimés sur la matière sèche des PRO
- Que se passe-t-il en considérant la matière brute ?

$$\text{VAMB} = \%MS \times \text{Teneur en } C_{\text{org}} \times \%C_{\text{stable}}$$

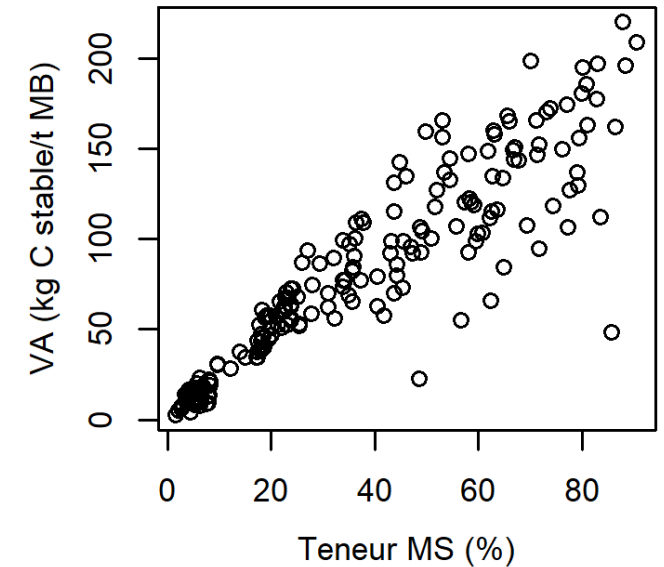
Effet de la matière sèche et des doses d'apport

- Résultats précédents exprimés sur la matière sèche des PRO
- Que se passe-t-il en considérant la matière brute ?

$$VAMB = \%MS \times \text{Teneur en } C_{org} \times \%C_{stable}$$

→ %MS devient le principal facteur explicatif de la valeur amendante d'un PRO ($R^2=0.83$)

Valeur amendante par tonne de matière brute de PRO
(seulement 200 PRO avec teneur MS)



Effet de la matière sèche et des doses d'apport

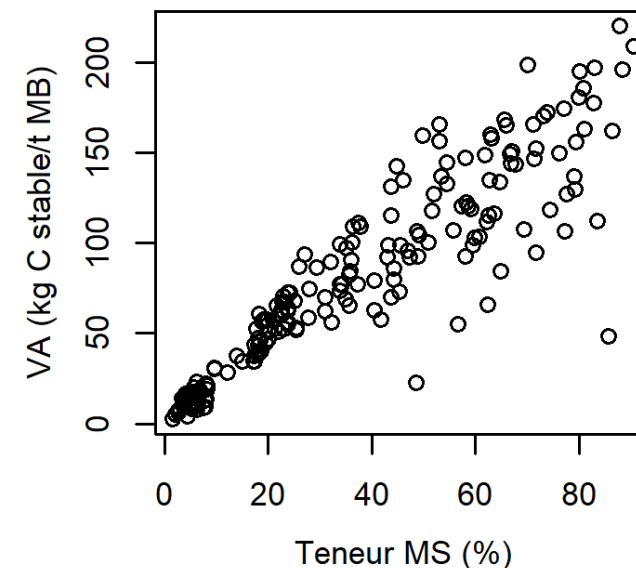
- Résultats précédents exprimés sur la matière sèche des PRO
- Que se passe-t-il en considérant la matière brute ?

$$VAMB = \%MS \times \text{Teneur en } C_{org} \times \%C_{stable}$$

→ %MS devient le principal facteur explicatif de la valeur amendante d'un PRO ($R^2=0.83$)

- Ne pas oublier non plus que les doses usuelles d'apport sont très variables entre PRO

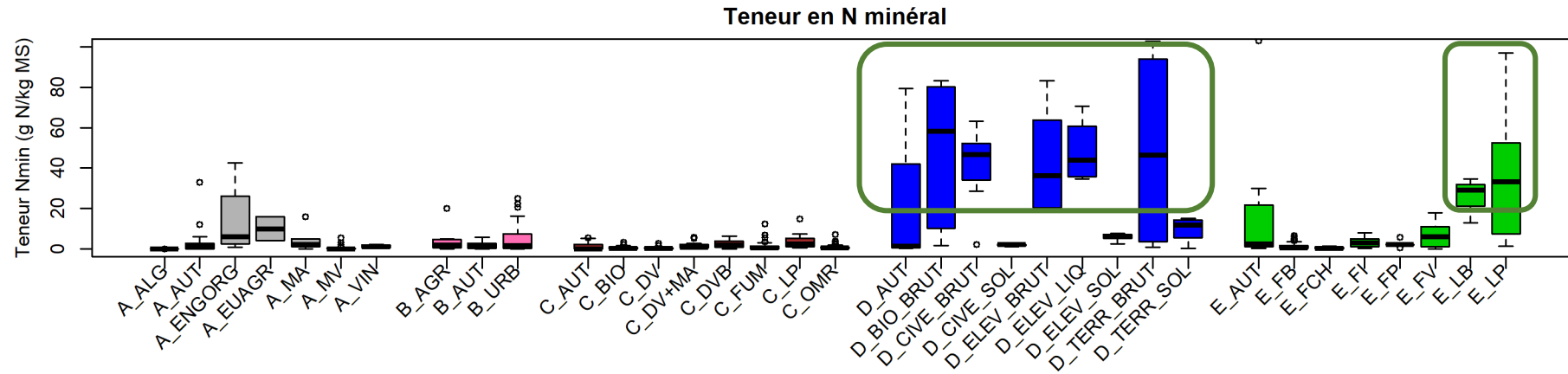
Valeur amendante par tonne de matière brute de PRO
(seulement 200 PRO avec teneur MS)



PRO	C (g/kg MS)	%C _{stable}	VA _{MS} (kg C stable/t MS)	% MS	VA _{MB} (kg C stable / t MB)	Dose (t MB/ha)	Apport C (kg C stable / ha)
Compost DV	247	87	214	50	107	20	2140
Digestat CIVE	385	66	260	5	13	40	520
Fumier bovin	356	69	243	20	49	30	1470
Fientes séchées	398	46	194	70	136	5	680
Boues STEP	296	55	161	30	48	10	480

Teneurs en N minéral et organique, minéralisation N

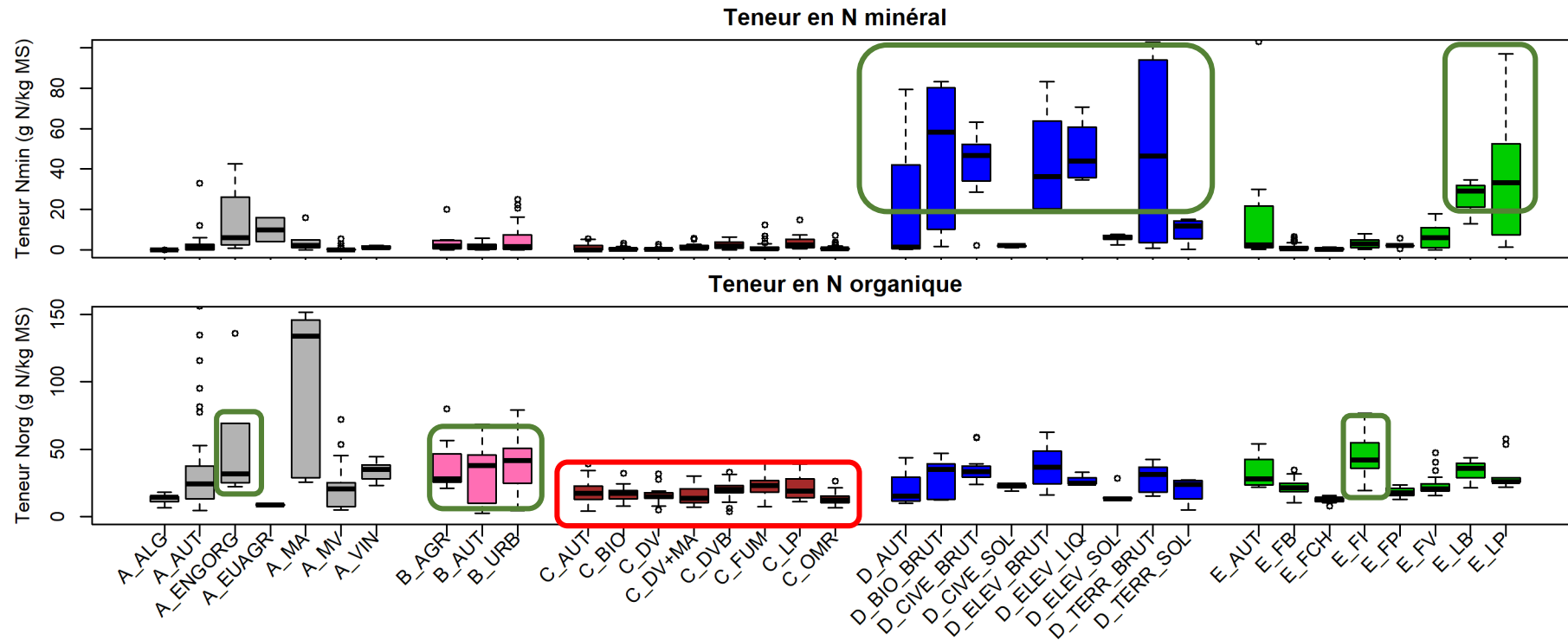
- Quelques PRO seulement avec de fortes teneurs en N minéral (digestats, lisiers...)



Forte teneur en N minéral des digestats et lisiers

Teneurs en N minéral et organique, minéralisation N

- Quelques PRO seulement avec de fortes teneurs en N minéral (digestats, lisiers...)
- Variabilité du Norg : composts plus pauvres, boues, fientes, engrais orga + riches...



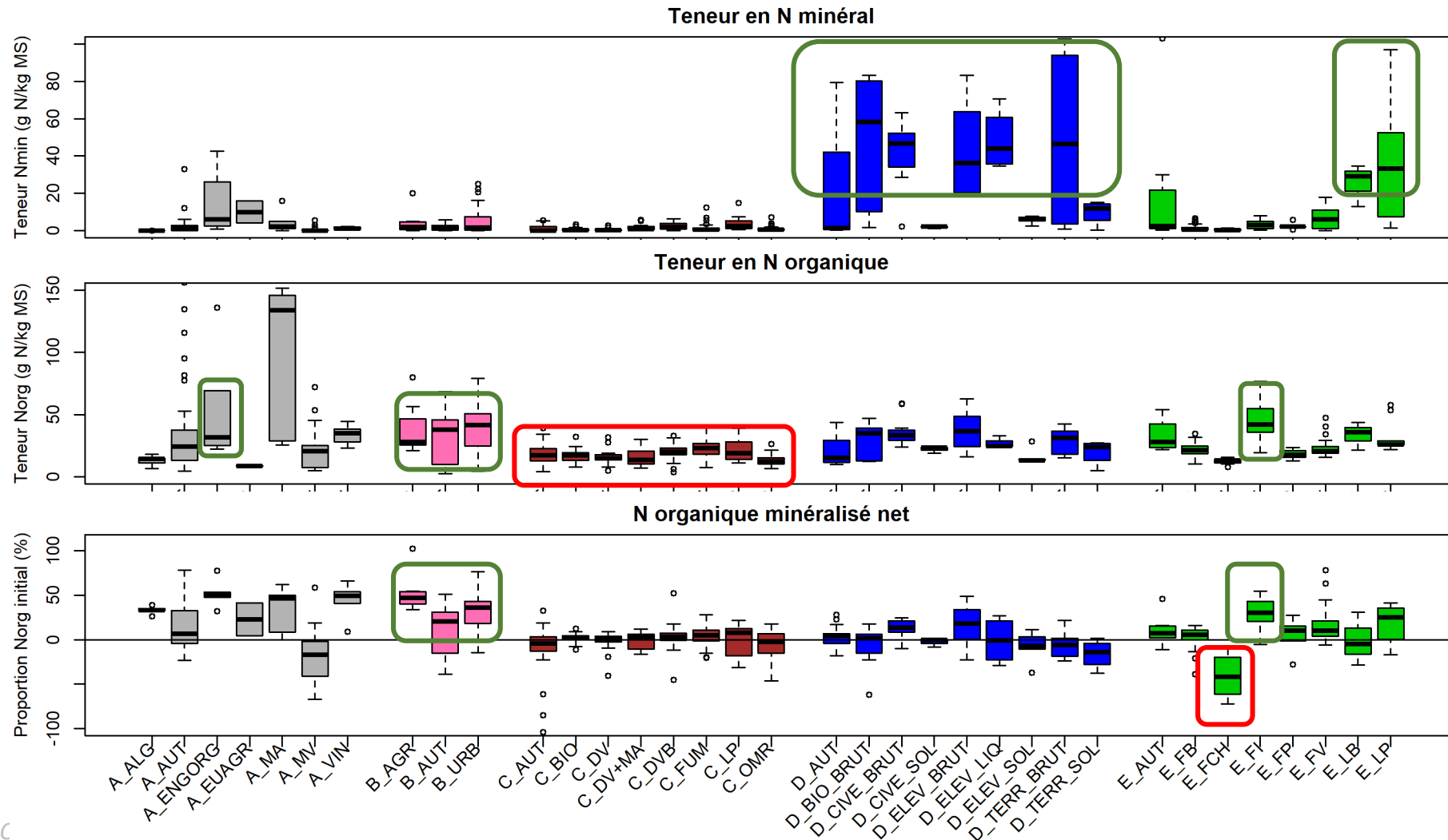
Forte teneur en N minéral des digestats et lisiers

Plus forte teneur pour les boues, fientes, engrais orga...

Plus faible teneur pour les composts

Teneurs en N minéral et organique, minéralisation N

- Quelques PRO seulement avec de fortes teneurs en N minéral (digestats, lisiers...)
- Variabilité du Norg : composts plus pauvres, boues, fientes, engrais orga + riches...
- Minéralisation (+ ou-) du Norg souvent faible, sauf pour quelques cas



Forte teneur en N minéral des digestats et lisiers

Plus forte teneur pour les boues, fientes, engrais orga...

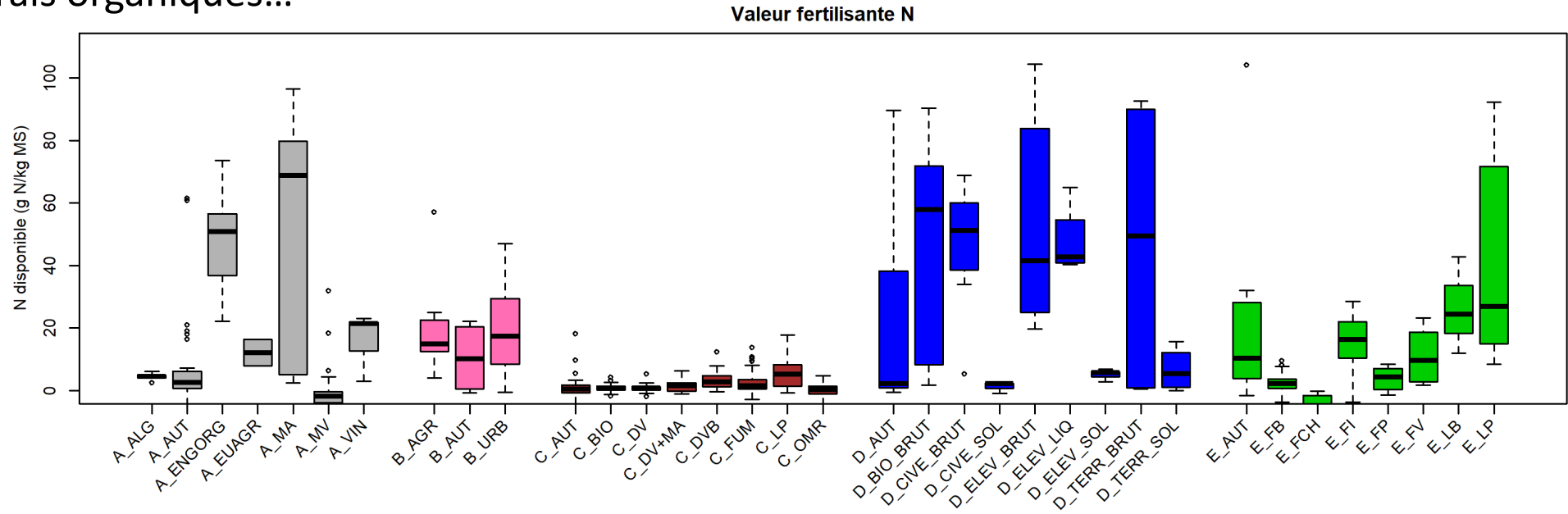
Plus faible teneur pour les composts

Minéralisation nette par les fientes et les boues

Immobilisation nette par le fumier de cheval

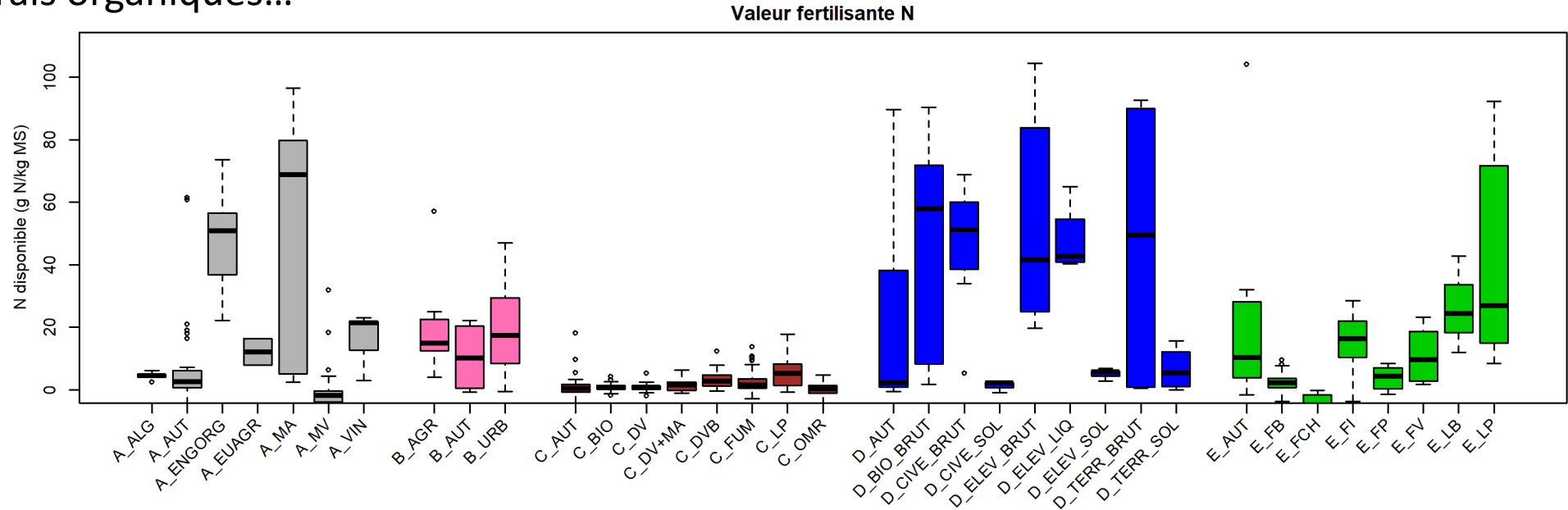
Valeur fertilisante N

- Forte variabilité de VF, mais des PRO clairement + fertilisants : digestat, lisiers, boues, engrais organiques...

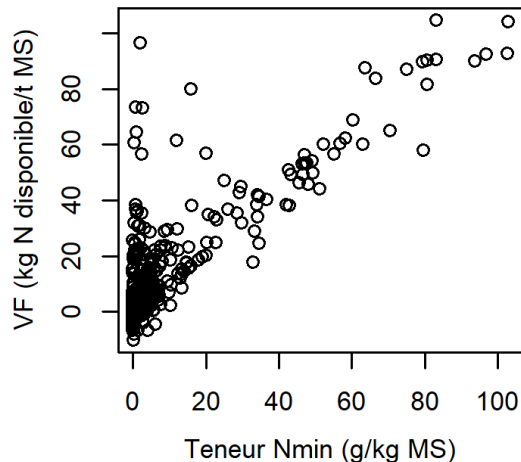


Valeur fertilisante N

- Forte variabilité de VF, mais des PRO clairement + fertilisants : digestat, lisiers, boues, engrais organiques...



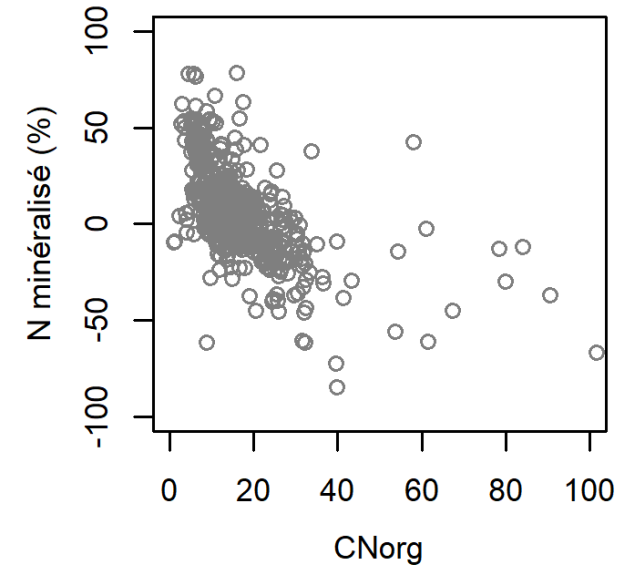
- Teneur en Nmin = 1er déterminant de la valeur fertilisante



	Variance VF expliquée (%)
Teneur Nmin	71
Teneur Norg × minéralisation Norg	32

Prédiction minéralisation N et valeur fertilisante

- Difficulté d'expliquer simplement le %N minéralisé :
 - Relation N minéralisé / CNorg : $R^2 = 0.3$
 - Relation N minéralisé / (CNorg, ISMO, CEL) : $R^2=0.4$

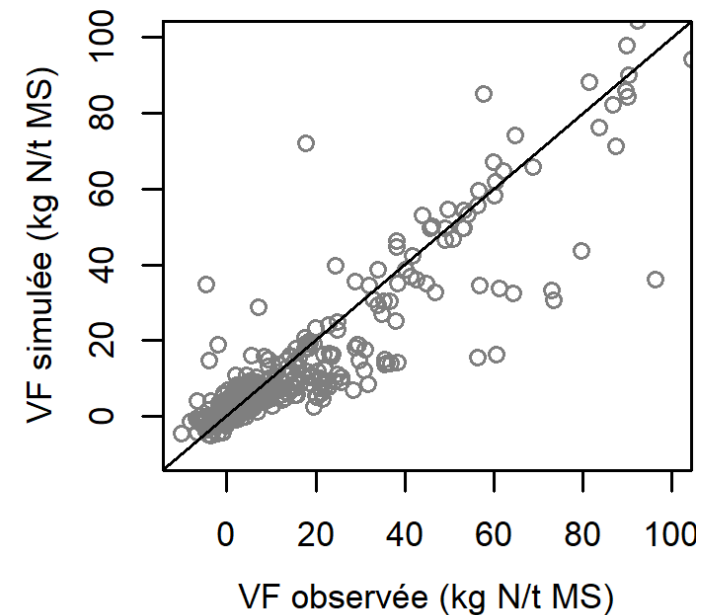
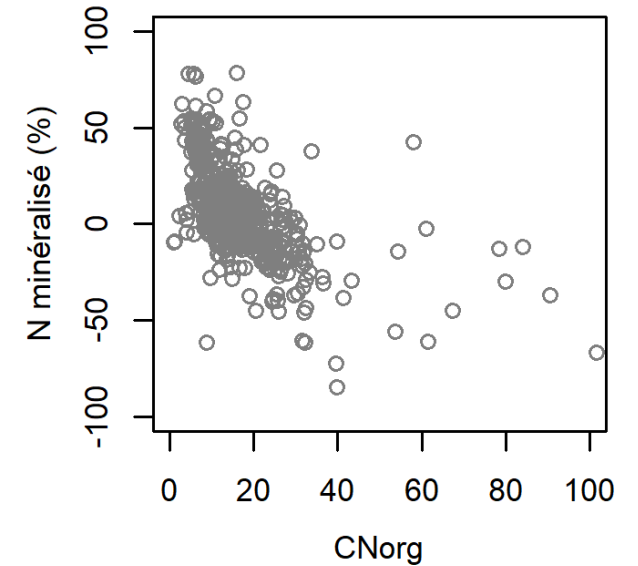


Prédiction minéralisation N et valeur fertilisante

- Difficulté d'expliquer simplement le %N minéralisé :
 - Relation N minéralisé / CNorg : $R^2 = 0.3$
 - Relation N minéralisé / (CNorg, ISMO, CEL) : $R^2=0.4$
- Utilisation des teneurs en N minéral et organique et du CN pour prédire la minéralisation donne une approximation raisonnable de VF

$$VF = N_{min} + N_{org} \times (24 - 1.1 \times CN_{org}) / 100$$

Biais (kg N / t MS)	0.7
RMSE (kg N / t MS)	7.3
R^2	0.84



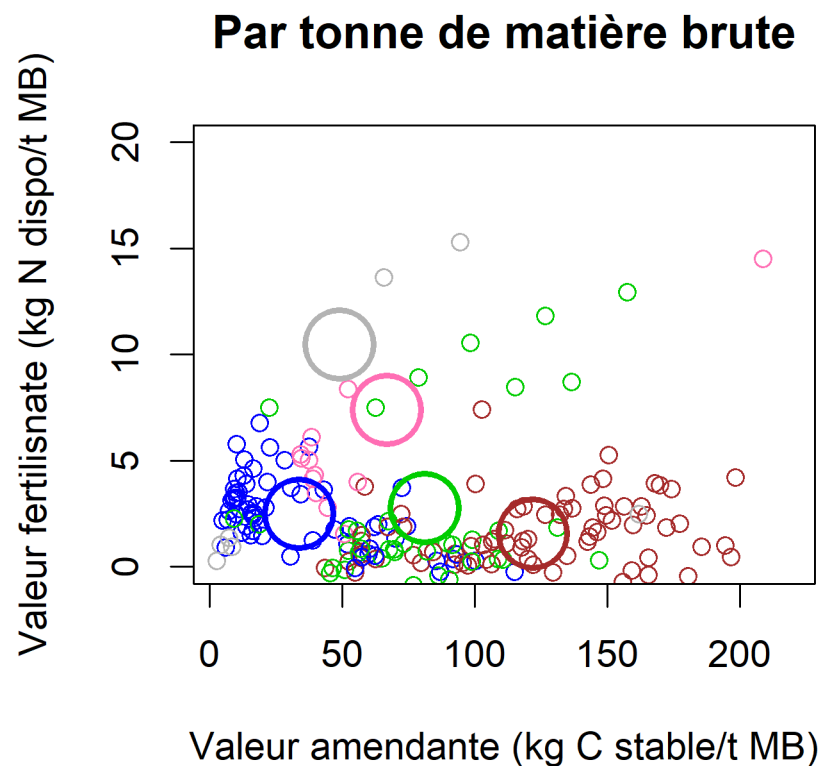
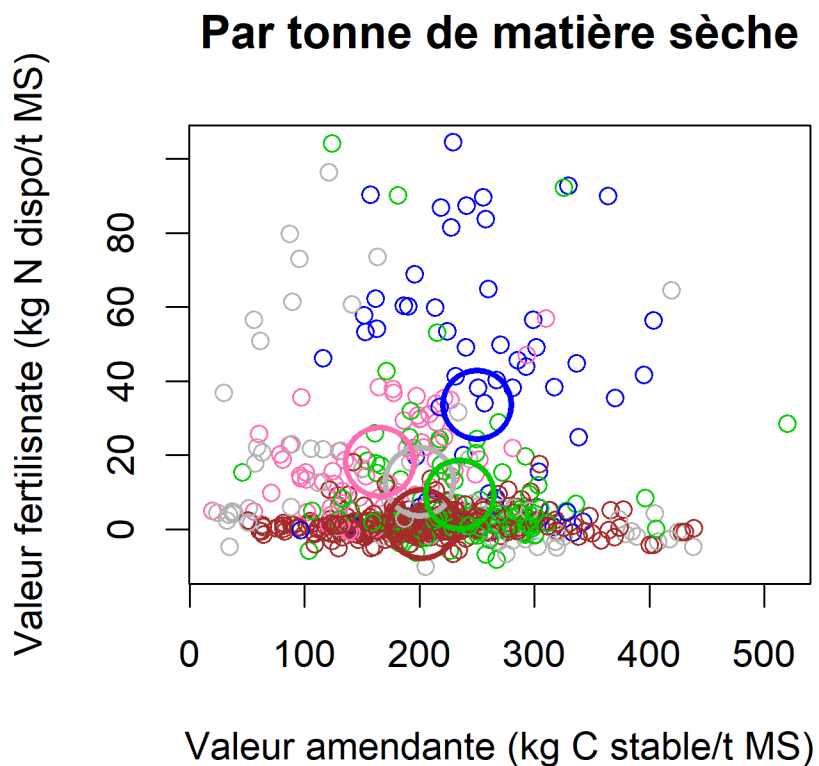
Effet de la MS et des doses d'apport

- A la différence de la valeur amendante, le pourcentage de MS du PRO influe peu sur la valeur fertilisante (N-NH₄ soluble)
- Effet dose reste par contre important là-aussi

PRO	Nmin (g/kg MS)	Norg (g/kg MS)	% N minéralisé	VF _{MS} (kg N dispo/t MS)	% MS	VF _{MB} (kg N dispo / t MB)	Dose (t MB/ha)	Apport N dispo (kg N/ha)
Compost DV	0.4	16	-1	0.5	50	0.3	20	6
Digestat CIVE	42.8	36	13	47	5	2.4	40	96
Fumier bovin	1.4	21	4	2	20	0.4	30	12
Fientes séchées	3.3	45	30	15	70	10.5	5	53
Boues STEP	4.5	40	32	19	30	5.7	10	57

Relation entre valeurs amendante et fertilisante

- Pas de relation entre valeur amendante et valeur fertilisante, mais des différences entre grands types de PRO



○ Effluents d'élevage ○ Composts ○ Digestats ○ Boues ○ Autres

Conclusion

- Valeur amendante des PRO :
 - Variabilité intra et inter type de PRO, mais plupart des PRO autour de 200 kg C stable / t MS
 - Possible d'expliquer VA en considérant la teneur en C et l'ISMO des PRO
 - Si VA considérée sur matière brute : effet de la teneur en MS masque les autres caractéristiques des PRO en grande partie
- Valeur fertilisante N des PRO :
 - Forte variabilité mais quelques types de PRO se démarquent (digestat, lisier...)
 - Teneur en N minéral = principal déterminant de la valeur fertilisante
 - Teneur en N minéral, Norg et C/N permettent de prédire de façon satisfaisante la valeur fertilisante des PRO
- Au-delà des différences entre PRO, ne pas oublier l'effet dose (fientes ≠ composts !)

Perspectives

- Une base de données riche (et unique ?), qui a vocation à être partagée
- Des questions sur la représentativité des incubs pour le passage au champ à creuser (priming effect, effet de la préparation du PRO...)
- Usage de la base données pour la calibration de modèles :
 - Paramètres pour de nombreux PRO proposés pour STICS (*Levavasseur et al., 2021*) → simulation des dynamiques du C et du N dans divers contextes pédoclimatiques et de systèmes de culture
 - Travail à venir sur Roth-C : simulation du stockage de carbone à l'échelle européenne (projet EJP SOIL Carboseq)
- Ouverture de la base de données dans le cadre du projet INRAE inter-unité COLLECT-OR (stage Garry Dorléon) :
 - Vérification des données, complétude des méta-données, etc.
 - Utilisation de la nomenclature du SI PRO
 - Publication d'un data paper (2022)
 - Partage de la base de données (portail data INRAE + base de données SQL)
 - Autres usages à imaginer !

Merci de votre attention

- Levavasseur F., Lashermes G., Mary B., Morvan T., Nicolardot B., Parnaudeau V., Thuriès L., Houot S., 2021. Quantifying and Simulating Carbon and Nitrogen Mineralization from Diverse Exogenous Organic Matters. Soil Use and Management. <https://doi.org/10.1111/sum.12745>.
- Dorleon, 2021. Potentiels amendant et fertilisant des produits résiduaux organiques (PRO) : collecte, synthèse, analyse et ouverture des données expérimentales d'incubation en conditions contrôlées. Rapport de stage Institut Agro – AgroParisTech.