



Une nouvelle équation simple et robuste pour estimer la minéralisation en azote de la matière organique des sols français de grandes cultures.

Eric Justes¹, Hugues Clivot², Matthieu Valé³, Jean-Pierre Cohan⁴,
Luc Champolivier⁵, François Piraux⁴, Daniel Plaza-Bonilla⁶,
François Laurent⁴ et Bruno Mary²

¹INRA, UMR AGIR, Toulouse (actuellement CIRAD - SYSTEM Montpellier)

²INRA, UR AgrolImpact, Barenton-Bugny (Laon)

³AUREA, Ardon, ⁴ARVALIS, Boigneville & La Jaillière,

⁵TERRES INOVIA Castanet, ⁶CSIC-EEAD Saragosse (Espagne)



Contexte

Une vieille histoire... mais qui est toujours d'actualité !

L'équation dite du k2 est largement utilisée pour prédire la vitesse potentielle de minéralisation en N des MOS (V_p) et la minéralisation nette en N en conditions réelles en fonction du climat (V_r)

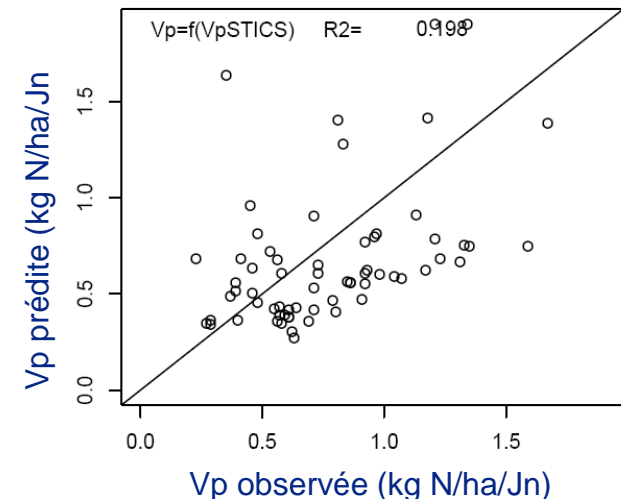
Elle est actuellement implémentée en France dans divers OAD (ex. AzoFert) et modèle de simulation (ex. STICS)

$$V_p = f(\text{Stock } N_{\text{organique}}) \times f(\text{Argile}) \times f(\text{CaCO}_3)$$

$$V_r = V_p \times T_n [f(\text{Humidité}) \times f(\text{Température})]$$

[Temps normalisé ou climat du sol en J_n à 15°C & H_{cc}]

Modèle et paramétrage déterminés par des expé. *in vitro* (1980-1990)



Les ordres de grandeur prédits sont globalement corrects mais les prédictions sont parfois insatisfaisantes dans certains sols (sableux, riches en MO) et systèmes de culture, et donc :

- Un besoin d'amélioration de la prédiction pour avoir plus de robustesse et de précision : important pour gérer la fertilisation azotée et l'évaluation environnementale de la gestion du carbone et de l'azote (diverses pertes N)
- Quid d'autres conditions qui modifient le stock/répartition de MOS et climat du sol ?

Objectifs

Quantifier et améliorer la prédiction de la minéralisation en N *in situ*

- Caractérisation et quantification de la minéralisation *in situ* de la MO du sol (MOS) sur un réseau expérimental en France en SOL NU
 - Publication de la base de données dans Data_in_Brief (Clivot et al., soumission fin 2017)
- Proposer une nouvelle équation de minéralisation en N de la MOS pour les sols et systèmes de culture français **simple et facilement « renseignable »**
 - **Publication dans Soil Biology and Biochemistry (Clivot et al., 2017)**
- Mieux prendre en compte le climat du sol (**effet humidité**) pour les types de sol (argileux, limoneux et sableux) au moyen, si possible, de critères simples
 - Publication en préparation (Plaza-Bonilla et al., soumission prévue en début 2018 à SBB)
- *Implémentation de la fonction dans les modèles de simulation (STICS, AMG, CHN) et évaluation des performances en sol nu et sous cultures (avec analyse des conséquences sur les sorties environnementales)*

Matériels et Méthodes

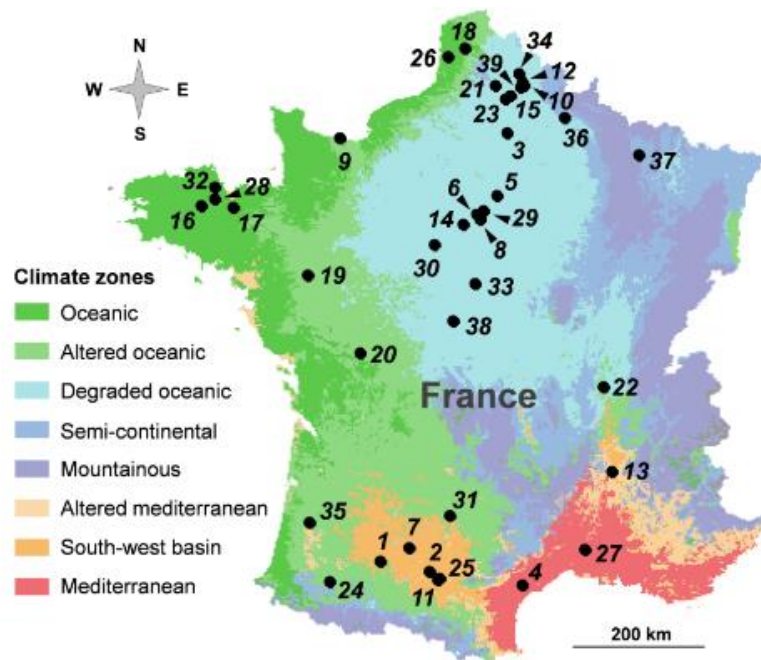
Démarche pour quantifier et modéliser la minéralisation en N *in situ*

1) Un réseau d'essais constitué pour quantifier la minéralisation de N des MOS *in situ*

Et poursuite des travaux initiés durant la thèse de M. Valé (2006) à INRA Toulouse en collaboration avec INRA Laon, ARVALIS et TERRES INOVIA

65 expérimentations au champ en sol nu réparties sur 39 sites

(Réseau INRA – ARVALIS – TERRES INOVIA)



Une large gamme de types de sol et de régions en systèmes de grandes cultures

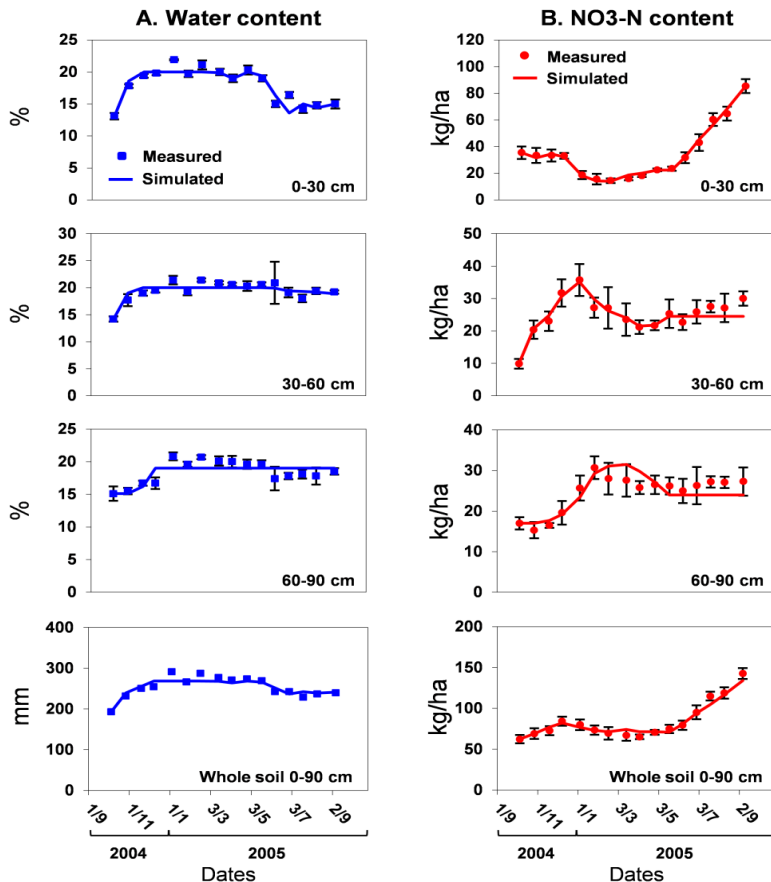
	Units	Min	Max	Median	Mean	SD
Soil properties						
Clay	g kg ⁻¹	24	396	191	201	76
Silt	g kg ⁻¹	55	814	539	502	198
Sand	g kg ⁻¹	22	895	184	218	174
CaCO ₃	g kg ⁻¹	0	436	4	64	123
pH		5.7	8.4	7.7	7.5	0.8
SOC	t ha ⁻¹	27.0	147.2	45.8	51.7	24.4
SON	t ha ⁻¹	2.6	12.6	5.0	5.3	1.9
C/N		7.2	15.3	9.3	9.6	1.5

Matériels et Méthodes

Calcul de la vitesse potentielle de minéralisation en N de la MOS

1

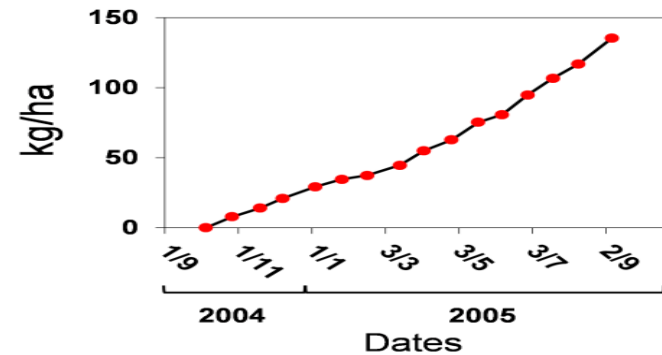
Mesures régulières des profils d'eau et de N minéral du sol et calcul LIXIM



2

Cinétique de minéralisation de N en fonction du temps

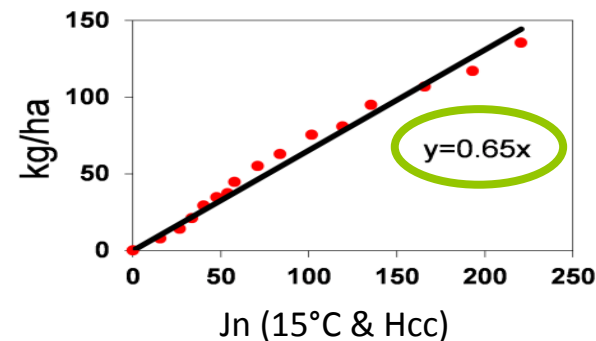
C. Cumulative net N mineralized against time



3

Cinétique de minéralisation de N, fonction du temps normalisé (T°C & Humidité)

D. Cumulative net N mineralized against normalized time



V_p
(pente)
vitesse
potentielle de
minéralisation
en N *in situ*

➤ Calcul de V_p avec LIXIM pour 65 essais en sol nu

Résultats

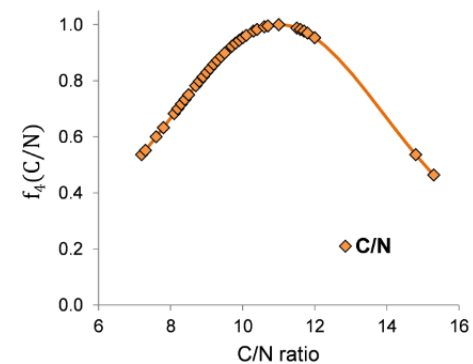
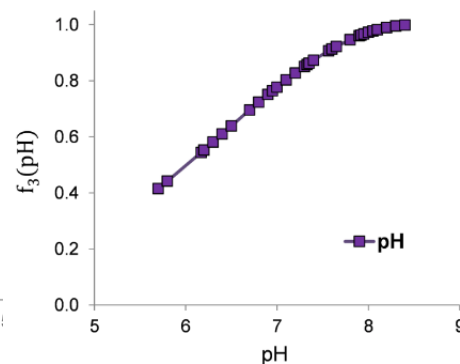
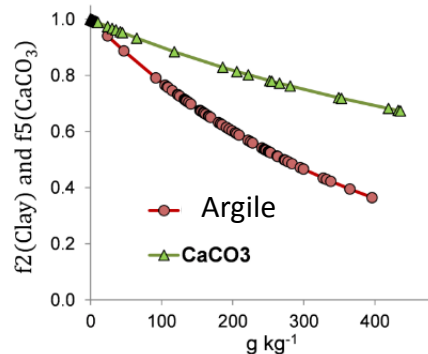
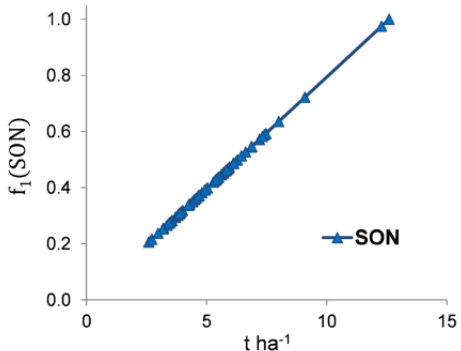
Développement d'un nouveau modèle (non linéaire)

➤ Modélisation de la Vitesse potentielle de minéralisation V_p en fonction des propriétés physico-chimiques

Modeling step	Dataset	Introduced variable	Generic model	EF	Bias	RMSEP
i	n	V_i	$\hat{V}_p(i) = f_1(V_1) \cdot f_2(V_2) \cdots f_i(V_i)$			kg N ha ⁻¹ nday ⁻¹
Soil model						
1	65	SON	$\hat{V}_p(1) = f_1(\text{SON})$	0.18	0.03	0.29
2	65	Argile	$\hat{V}_p(2) = \hat{V}_p(1) \cdot f_2(\text{Clay})$	0.22	0.03	0.29
3	65	pH	$\hat{V}_p(3) = \hat{V}_p(2) \cdot f_3(\text{pH})$	0.43	0.00	0.26
4	65	C/N	$\hat{V}_p(4) = \hat{V}_p(3) \cdot f_4(\text{C/N})$	0.56	0.00	0.23
5	65	CaCO ₃ (Ca)	$\hat{V}_p(5) = \hat{V}_p(4) \cdot f_5(\text{Ca})$	0.61	0.00	0.22

Modèle empirique non linéaire à structure multiplicative

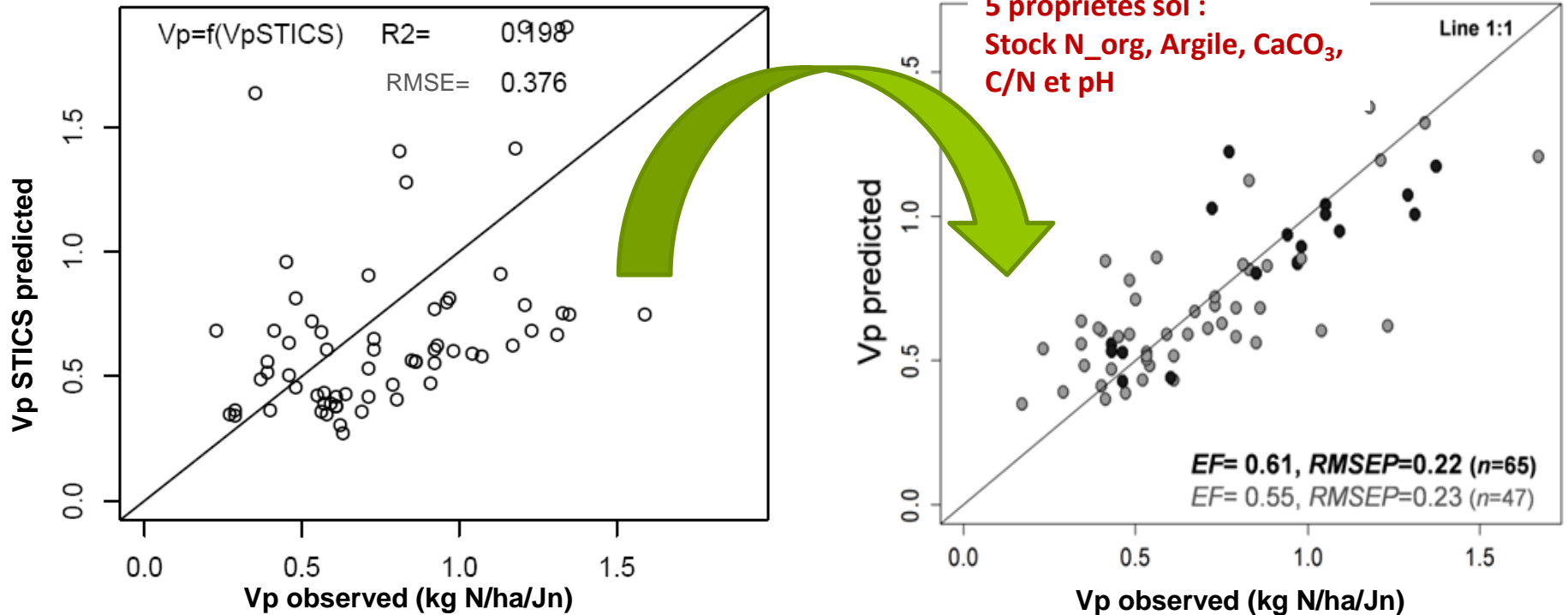
Modèle avec +15% de variance expliquée par rapport à des modèles linéaires additifs (RLM, PLS)



Résultats

Validation du nouveau modèle basé sur des caractéristiques simples

➤ Evaluation de la nouvelle fonction de prédiction



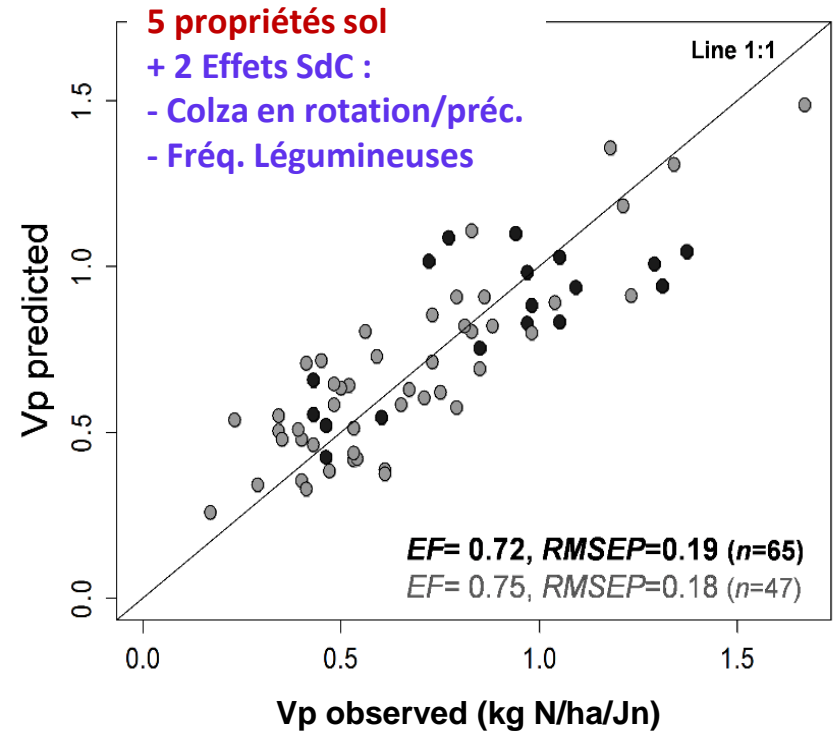
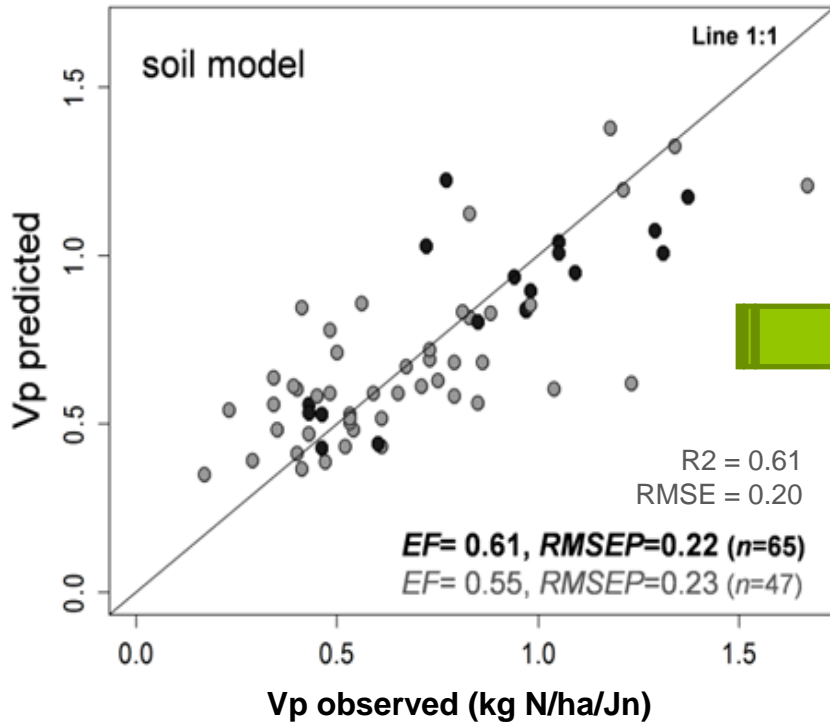
➤ Meilleure prédiction (plus précise et plus robuste) avec le nouveau modèle (fonction)

➔ Fonction implémentée dans modèles de simulation (STICS v9 & CHN ; AMG v2)

Résultats

L'ajout d'un effet « système de culture » améliore la prédiction

➤ Evaluation de la nouvelle fonction de prédiction avec les effets « système de culture »

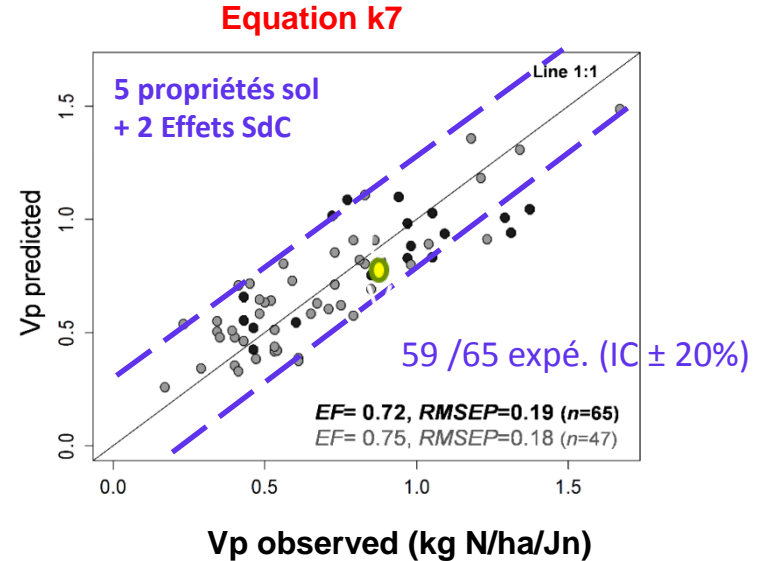
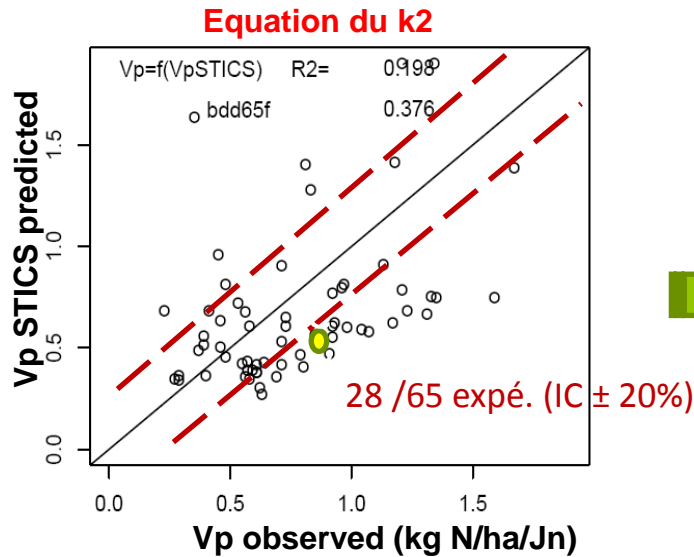


➤ Le meilleur modèle (plus précis et plus robuste) avec des caractéristiques simples

→ Fonction implémentable dans OAD (Ferti N) si le précédent/anté-préc. sont renseignés

Résultats

Que gagne-t-on en robustesse et précision avec ce nouveau modèle ?



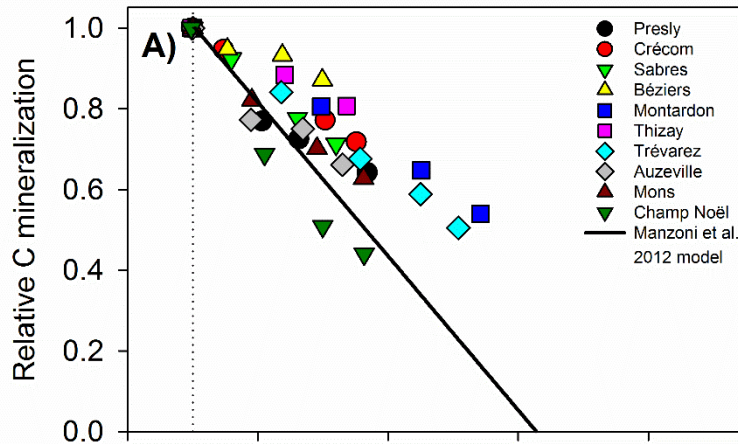
Période de prédiction	Modèle utilisé	Vp moyen (kg N/ha/Jn)	
		0.5	1.3
Ferti N céréale Fév.. à Juil. (100 Jn)	k2	50 \pm 19	130 \pm 49
	k7	\pm 9	\pm 23
Année calendaire (320 Jn)	k2	160 \pm 61	416 \pm 158
	k7	\pm 29	\pm 75

Cas réel de la base de données (100 Jn)

Observé	Prédit
Vp = 0.91	Vp k2 = 0.55 \rightarrow 55 \pm 21 kg N/ha
\rightarrow 91 \pm 18 kg N/ha	Vp k7 = 0.86 \rightarrow 86 \pm 15 kg N/ha

Résultats

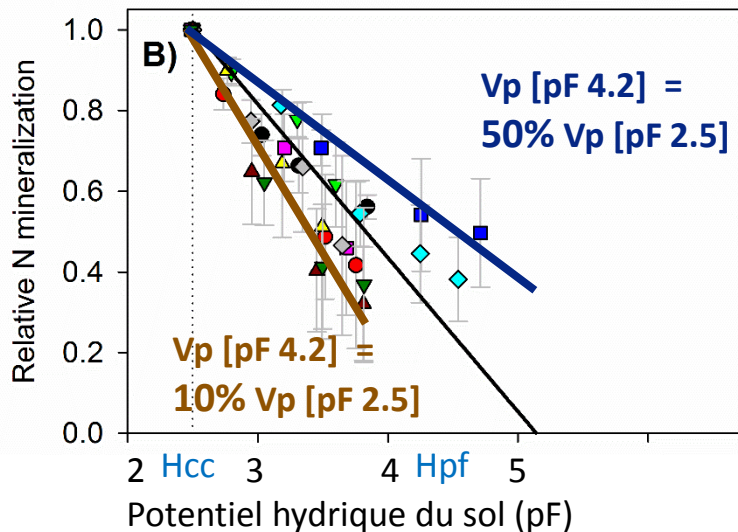
L'effet de la teneur en eau sur la minéralisation peut être mieux simulé



➤ **Un effet variable de l'humidité sur la minéralisation de C et N de la MOS**

- effet sol (sable/limon, C_organique, pH)

- effet localisation (climat et sécheresse = bilan P-ETP)



➔ Hypothèse d'adaptation de la microflore du sol aux périodes de stress hydriques dans des sols sableux et du Sud de la France

➔ **Résultats à consolider et à valider / publier avant d'intégrer dans OAD (si prise en compte climat) et modèles de simulation (travail en cours)**

En guise de Conclusion et de Perspectives

- **Pari tenu ! on passe du k2 au k5/k7 avec des variables renseignables !**
 - 5 propriétés de sol analysées en routine (N_organique, Argile, CaCO₃, C/N, pH) + 2 critères de système de culture (fréquence colza et légumineuses)
- **Pas d'amélioration significative avec les variables biologiques testées...**
- **Et en sols de craie ?** Modèle difficile à tester en raison des erreurs de mesure du C organique en sols calcaires, exposé de B. Mary), sauf Fagnières (travail en cours)
- **Et les sols bretons ?** A voir avec Thierry Morvan (INRA Rennes-Quimper) pour tester le nouveau modèle sur la base de données acquises récemment
- **Et en Non travail du sol ou semis direct (ACS) ?** Pas de raison que ce nouveau modèle ne soit pas valide puisque le taux de minéralisation en N n'est pas foncièrement modifié (Dimassi, 2014 ; Mary et al, 2014 ; Autret et al., 2017), ce qui est différent de la disponibilité temporelle en N minéral...
- **Et pour finir cette histoire...** écriture d'une publication **en français** pour que les ingénieurs et techniciens français puissent lire et avoir la référence accessible (à soumettre à Etude et Gestion des Sols en début 2018)

Merci de votre attention

- Merci aux équipes techniques ! (des milliers d'heures de travail et des centaines milliers d'euros...)
- Merci aux financeurs de ces travaux !



- *Merci de votre patience... 15 ans depuis le début de la thèse de MV ! Il a fallu mûrir...*

