



Minéralisation de l'azote des sols (Ouest): résultats du projet "Mh"

T. Morvan , L. Beff, Y. Lambert

N. Beaudoin, B. Mary, M.Valé, R. Chaussod, B. Louis, J. Grall,
D. Hanocq,
P. Germain, J.P. Cohan



Avec la participation de



Introduction



‘ Does the prediction of soil N mineralization hold to the search of Graal ? ’ *Ros et al., 2015*



Questionnement sur la minéralisation de l'azote des matières organiques humifiées du sol (Mh):

- Contribution importante, voire principale, de cette composante à la fourniture de N par le sol
- Mauvaise qualité prédictive des modèles opérationnels

Modèle 'Comifer' de prédiction de M_h

Le formalisme adopté au niveau national (Comifer, 2013) est fondé sur la prise en compte de composantes :

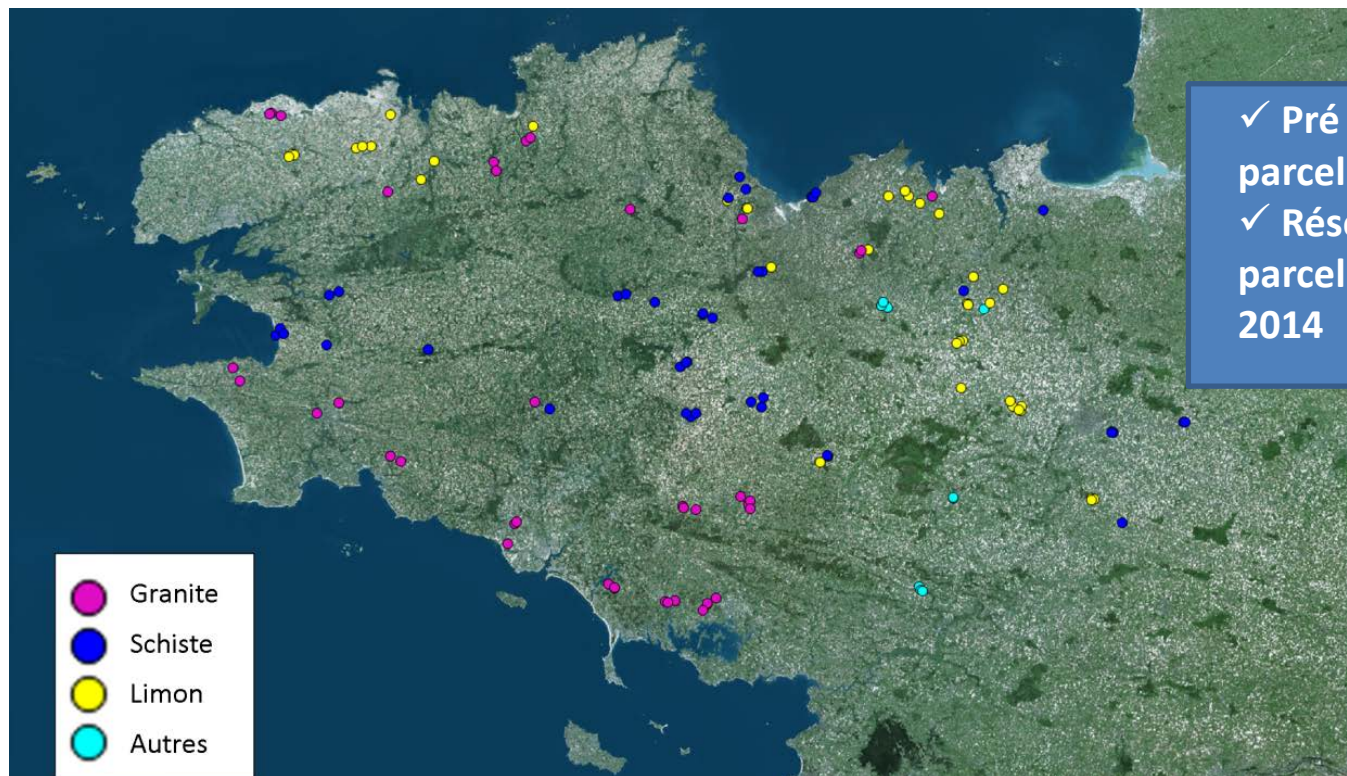
- des caractéristiques des sols
- de l'histoire culturelle
- du climat

$$M_h = K_{m\ st} \cdot TN_{org} \cdot F_{Syst} \cdot J_n$$

V_p

- Mauvaise qualité prédictive du modèle, avec son paramétrage actuel, pour les sols de l'Ouest
- Constat d'un manque de références
- Mise en place d'un réseau, avec pour objectifs :
 - D'établir un référentiel
 - De mieux comprendre la variabilité de la minéralisation
 - D'évaluer et de questionner le formalisme fondé sur les 3 déterminants (Sol, Histoire culturelle, Climat)

Le réseau Mh (2010 – 2014)

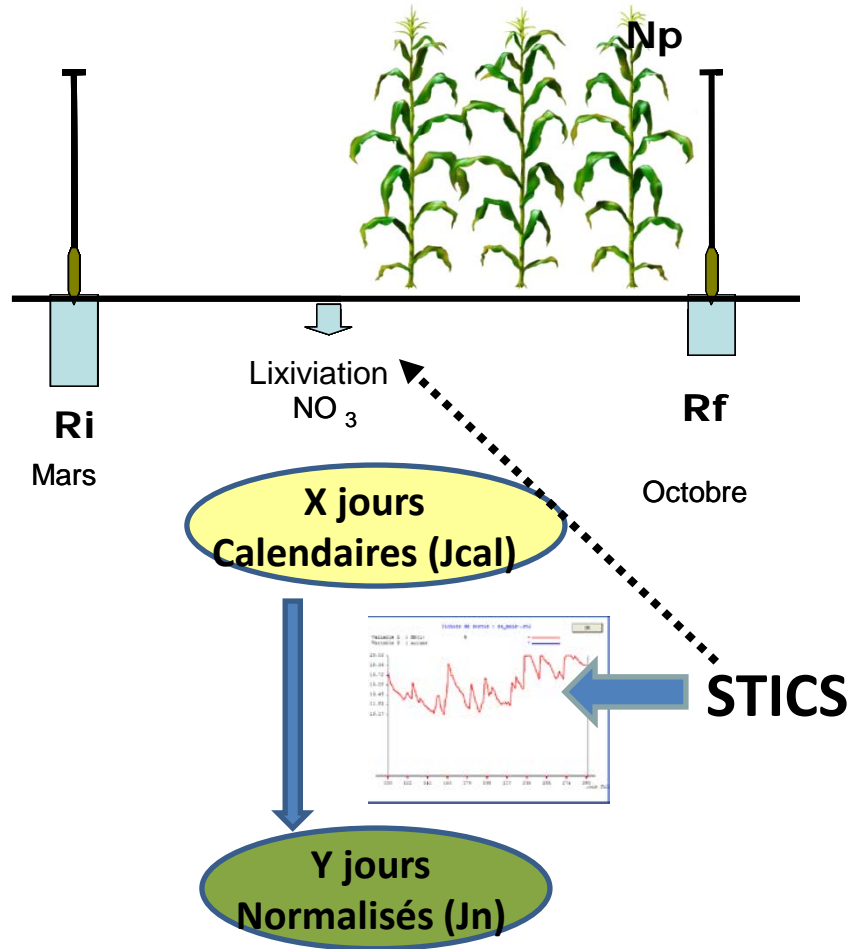


- ✓ Pré campagne sur 75 parcelles en 2010
- ✓ Réseau complet de 130 parcelles, suivies de 2011 à fin 2014

Bonne représentativité de la diversité régionale:

- des sols : effectif équilibré entre les principaux types de matériau parental
- des historiques cultureux, très diversifiés en Bretagne
- du climat, par une bonne couverture du territoire

Démarche expérimentale



- **Bilan N :**

$$Mn = (Rf - Ri) + Np + Lix$$

$$\approx Mh$$

2010 2011 2012 2013 2014

- **Variable d'intérêt :**

Vp = vitesse potentielle de minéralisation
(kgN/ha/Jn)

$$Vp = Mh / Jn$$

Jn = « temps normalisé »

- **Utilisation de STICS pour :**

- calculer Jn
- estimer la lixiviation (Lix)

- **Qualification des données : analyse de données sur un effectif de 65 parcelles**

Données sur les sols et l'historique cultural

Nombreuses mesures sur les sols :

- **Mesures physiques** : texture, densités apparentes et de terre fine, humidités caractéristiques...
- **Analyses chimiques** : teneurs en C et N, fractionnement granulométrique de la MO, pH, CEC, éléments totaux et échangeables
- **6 indicateurs de minéralisation** :
 - Biomasse microbienne
 - Incubation anaérobie
 - Fractionnement chimique :
 - extraction KCl à chaud
 - Extraction à l'eau à 100°C
 - Extraction tampon phosphate – borate (APM)

Historique cultural sur 15 ans :

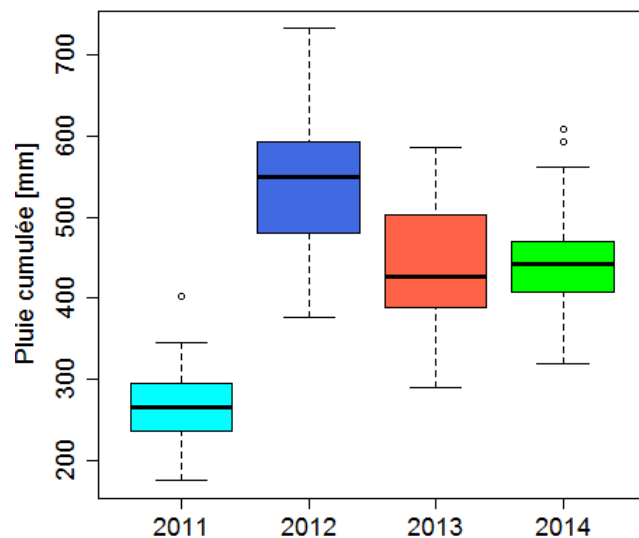
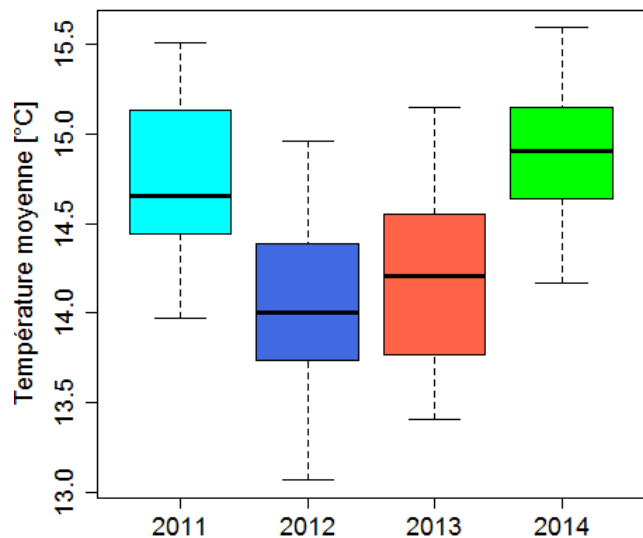
- Successions culturales
- Niveaux de rendement
- Fertilisation minérale et organique

Construction d'un indicateur Système "I_Sys" sur le même formalisme que celui du coefficient F_{syst} du Comifer :

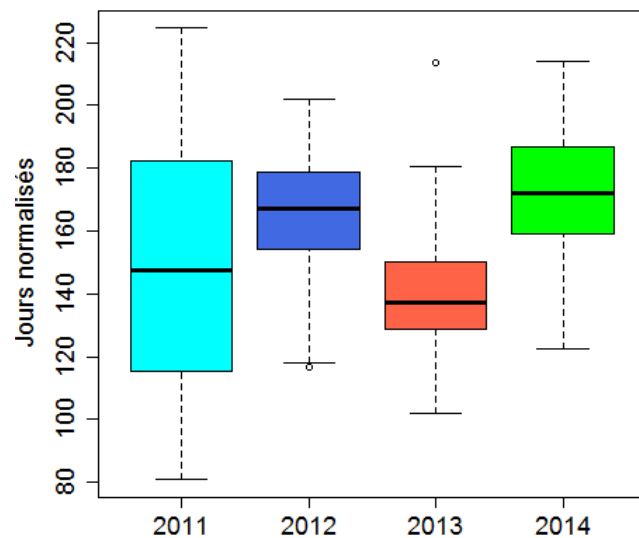
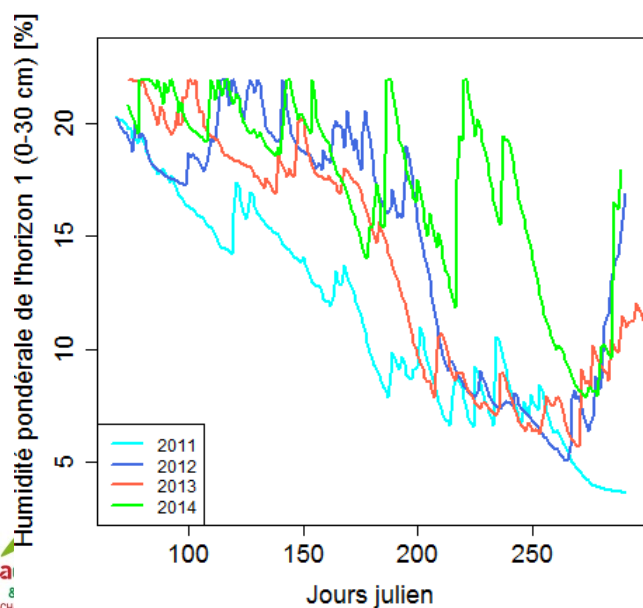
- 1 composante I_Cult déterminée par la succession culturale et le niveau de restitution de N par les cultures
- 1 composante I_PRO liée au régime d'apports organiques

$$I_Sys = I_Cult + I_PRO$$

Variabilité climatique (période [Ri ; Rf])



- Température moyenne plus élevée en 2011 et 2014
- Pluies cumulées beaucoup plus faible en 2011
- Déficit hydrique (ex d'une parcelle): bien marqué en 2011, et plus tardivement en 2012 et 2013



- Jn 2013 < Jn 2012 < Jn 2014
- Forte variabilité des Jn de 2011

Gamme de variation des bilans N



➤ Bilans moyens et gamme de variation similaires entre les 3 années

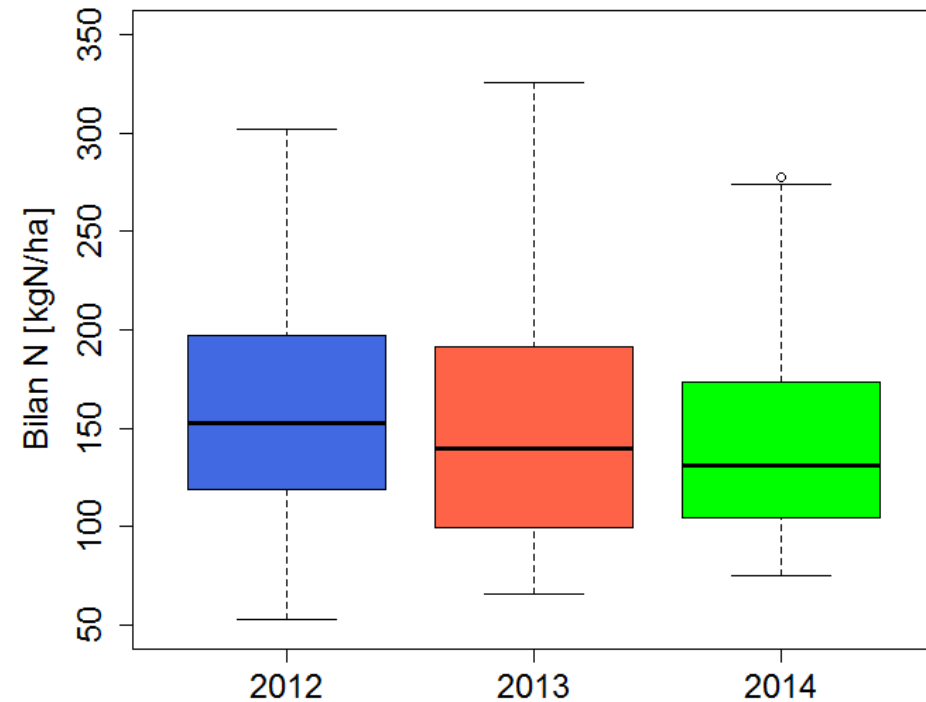
➤ Composantes du bilan :

- N absorbé par la plante : principale composante en 2014

(médiane $QN_{\text{maïs}}/\text{BilanN}$ en 2014 = 1, 2013 = 0.7 et 2012 = 0.9)

- Valeurs de Rf variables et parfois élevées en 2012 ($Q95\% = 109 \text{ kgN/ha}$) et 2013 ($Q95\% = 143 \text{ kgN/ha}$) par rapport à 2014 ($Q95\% = 84 \text{ kgN/ha}$)

- Contribution non négligeable de la lixiviation, au printemps, en 2012 (*moyenne = 21 kgN/ha*) par rapport à 2013 (*8 kgN/ha*) et 2014 (*6 kgN/ha*)



Analyse comparée des bilans des 3 années et modification du formalisme

- Analyse comparée des bilans N sur les 3 dernières années:
 - **Hypothèse:** le bilan normalisé (Bilan_année / Jn_année) doit converger vers des valeurs proches, entre années, pour une parcelle donnée, si la minéralisation est décrite par le formalisme $Mn \approx Mh = Vp.Jn$

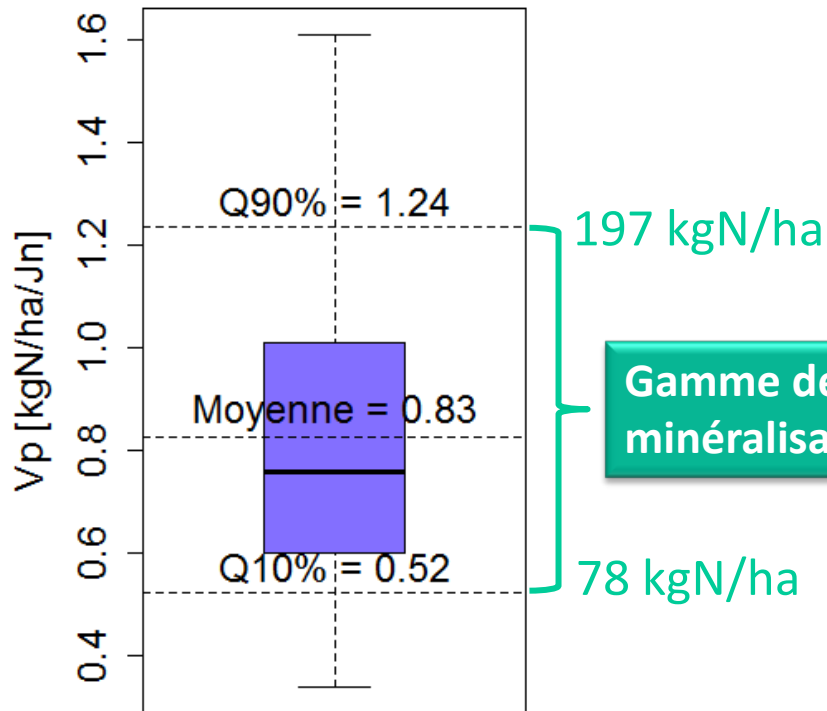
➔ **Hypothèse non vérifiée**

- Ce résultat conduit à compléter le formalisme de la minéralisation par l'introduction d'un terme supplémentaire 'd'extra-minéralisation' (ex d'un flush...)

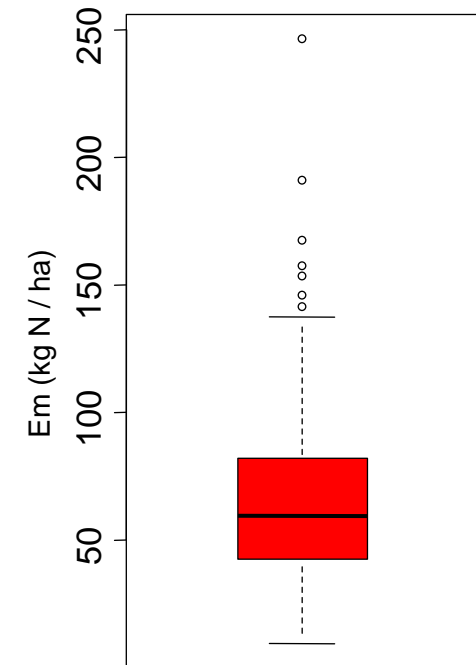
$$Mh = \underset{\substack{\downarrow \\ \text{Composante} \\ \text{'basale'}}}{Vp.Jn} + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{Extra-} \\ \text{minéralisation}}}{Em} \longrightarrow \begin{array}{l} 45 \% \text{ des parcelles en 2012 et 2013} \\ 12 \% \text{ des parcelles en 2014} \end{array}$$

Gamme de variation de Vp et de Em

Gamme de Vp



Gamme de Em



Valé (2006) sur sol nu :

Gamme de Vp = [0.21; 1.62]

Nord France, Vp = 0.89

Evaluation d'un formalisme simplifié pour l'approche prédictive opérationnelle



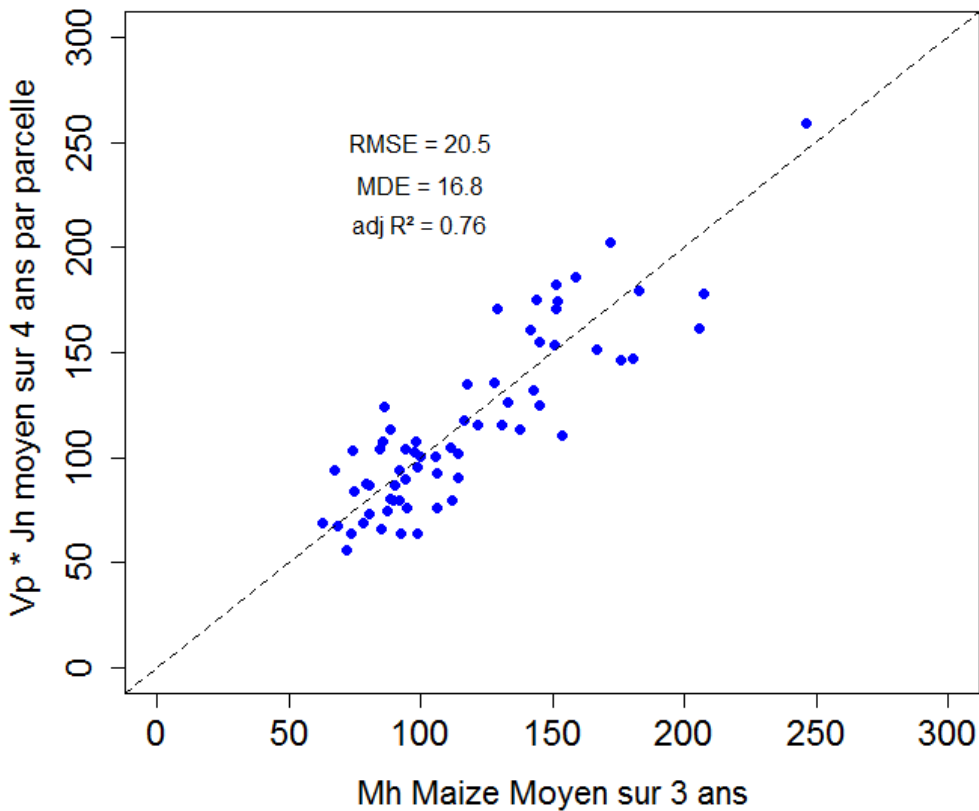
- **Objectif du prescripteur :**

- Donner la meilleure prédiction possible de la minéralisation pour la période pendant laquelle l'azote fourni par le sol peut être valorisé par la culture.
 - Estimation d'un terme Mh_{Maize} à partir du bilan entre R_i et R_f
- Donner la meilleure prédiction possible, en moyenne, sur 3 ans, 5 ans... Critère pour une évaluation opérationnelle d'un modèle :
 - moyenne sur 3 ans du flux Mh_{Maize} : $moy(Mh_{Maize})$

- **Démarche:**

- évaluation de l'aptitude du formalisme simplifié : $Mh = Vp \cdot Jn$ à prédire la minéralisation moyenne Mh_{Maize} :
 - comparaison de ce terme $moy(Mh_{Maize})$ avec le produit $Vp \cdot Jn_{Maize}$,
avec $Jn_{Maize} =$ moyenne des Jn calculés entre le 1^{er} mars et le 10 septembre, pour les années 2011 à 2014

Evaluation d'un formalisme simplifié pour l'approche prédictive opérationnelle

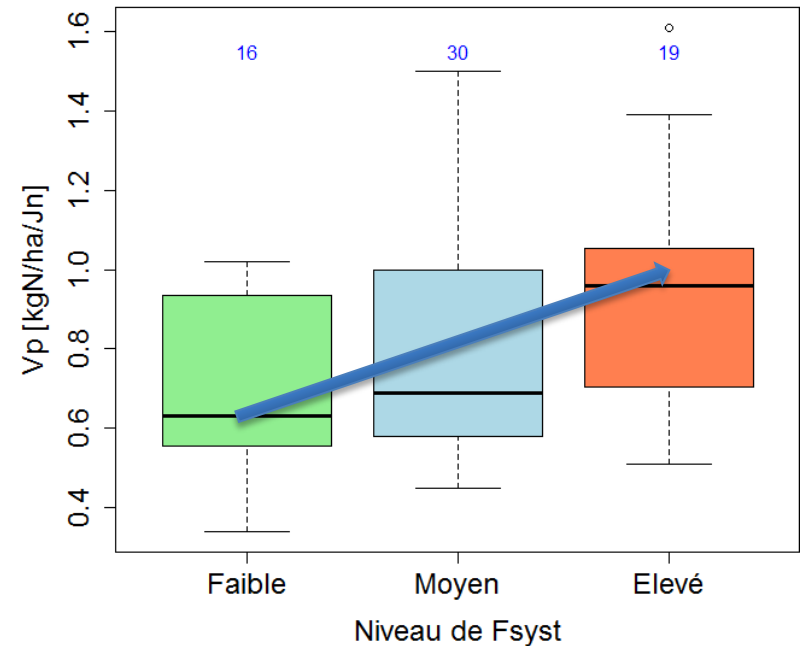
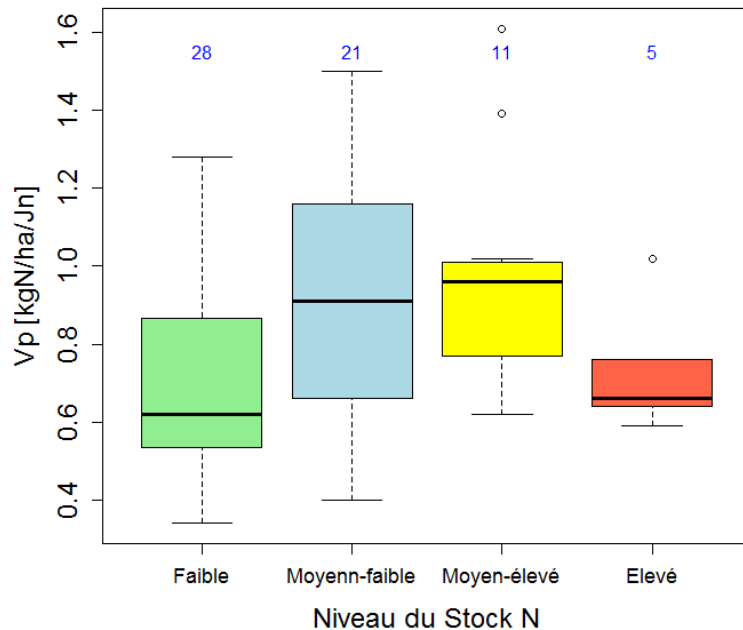


- Bonne prédiction de Mh_Maize (moyen sur 3 ans) avec le modèle 'Vp.Jn'
- 2 hypothèses pour l'expliquer :
 - Em se produit le plus souvent en fin de cycle et sur la période post absorption (flush automnal après la réhumectation des sols)
 - Em ne se produit pas chaque année, et se trouve donc "diluée" à l'échelle des 3 années.
- L'approche simplifiée de la minéralisation par la composante Vp.Jn peut être acceptée dans le cadre d'une approche opérationnelle.

Variabilité de Vp en fonction du stock N et de l'histoire culturale



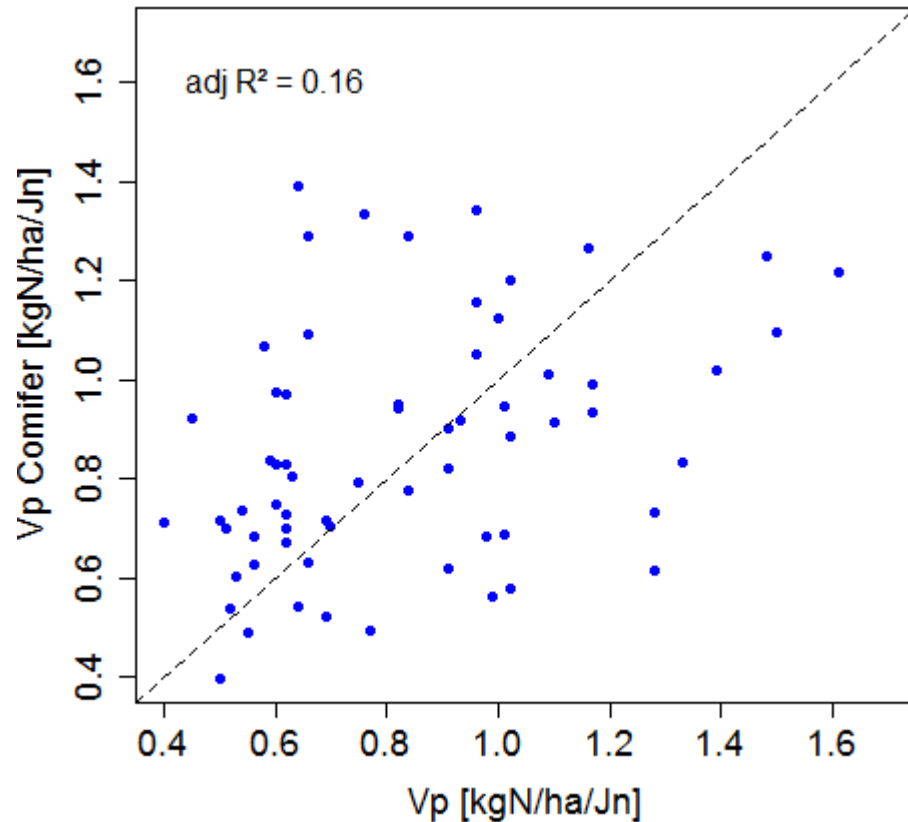
$$Vp_{\text{Comifer}} = Km_{\text{st}} \cdot F_{\text{syst}} \cdot \text{Stock N}$$



Effet significatif du Stock_N ($r = 0.26, P = 0.03$) et de Fsyst ($r = 0.29, P = 0.02$)
 Effet significatif de I_Sys ($r = 0.41, P < 0.001$)

Comparaison de Vp et "Vp Comifer"

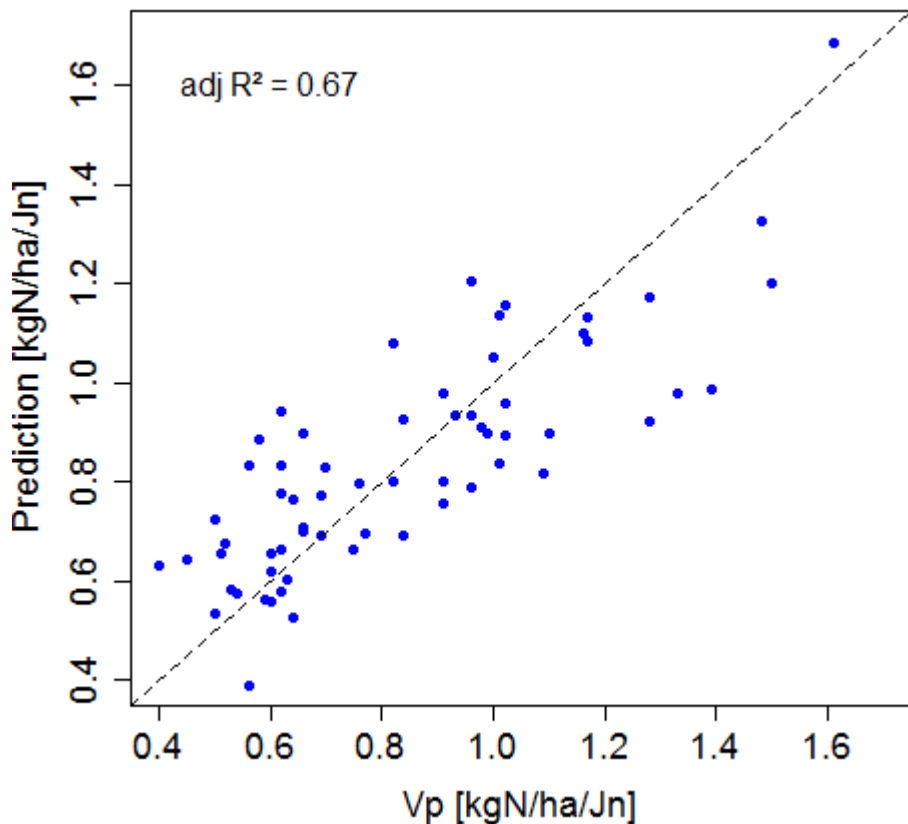
$$Vp_{\text{Comifer}} = Km_{\text{st}} \cdot Fs_{\text{yst}} \cdot \text{Stock N}$$



- Mauvaise qualité prédictive du paramétrage du modèle Comifer
- Démarche de modélisation fondée sur la méthode GAM (Generalized Additive Models) :
 - ➔ Objectif d'identifier et de sélectionner les variables explicatives les plus pertinentes :
 - Sol (Stock N...)
 - Indicateur Système
 - Indicateurs de minéralisation

Résultat de la démarche de modélisation

Comparaison des V_p prédites par le 'meilleur' modèle avec les V_p mesurées



Plusieurs modèles :

➤ Le 'meilleur' modèle explique 67% de la variabilité de V_p :

- 2 indicateurs de minéralisation : biomasse microbienne et APM
- la fraction particulaire de la MO
- des propriétés du sol (texture et CEC)
- l'indicateur Système I_Sys

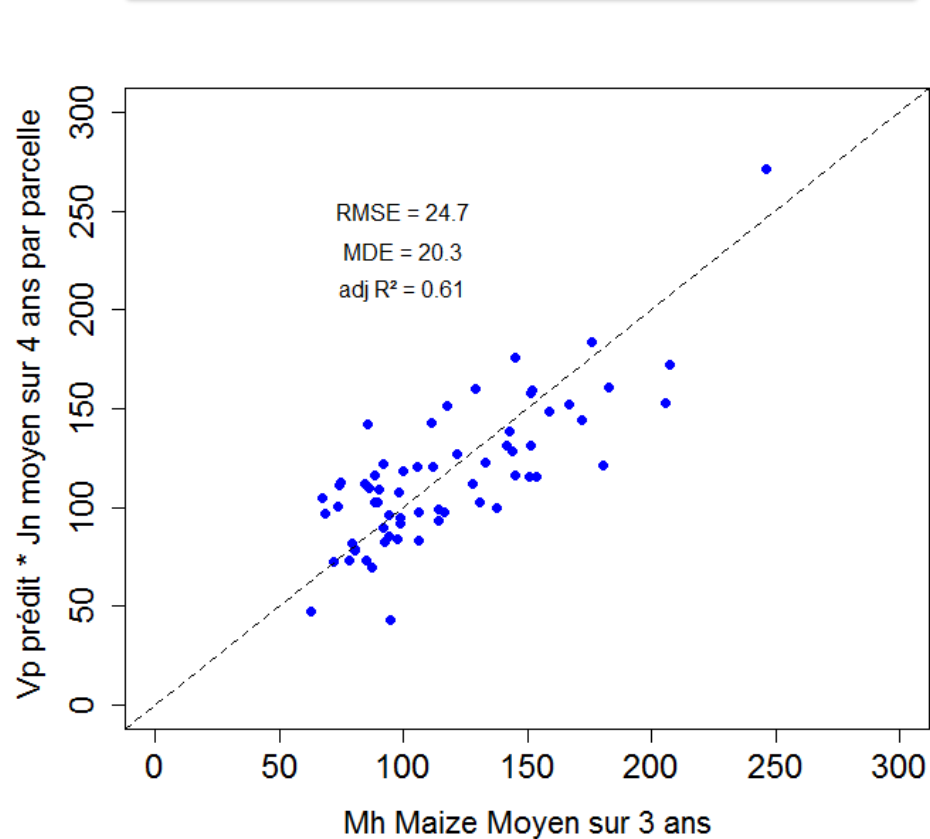
➤ Mauvaise qualité prédictive d'un modèle renseigné par des données 'Sol' et par I_Sys ($r^2 = 0.34$)

➤ Modèle 'opérationnel' : renseigné par biomasse microbienne ou APM, I_Sys et variables sol facilement accessibles (texture, CEC, teneur N)

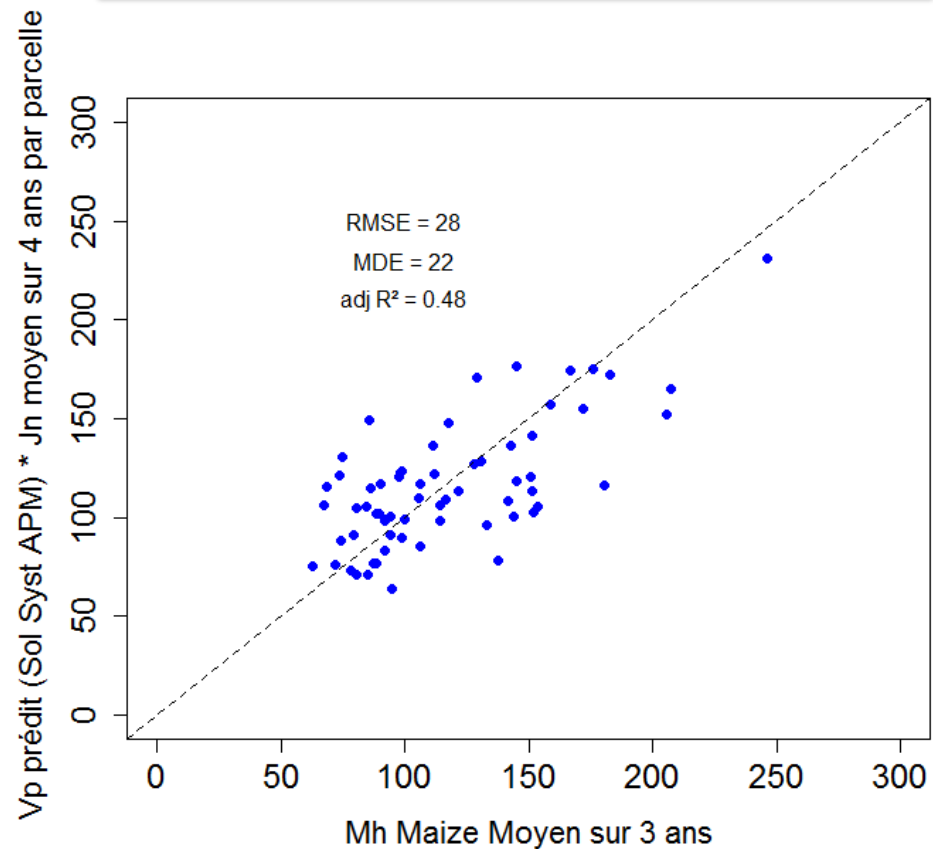
➤ Explique 50 % de la variabilité

Evaluation des modèles en mode prévisionnel

Comparaison de la moyenne sur 3 ans de Mh_Maize avec la prédiction donnée par le 'meilleur' modèle



Comparaison de la moyenne sur 3 ans de Mh_Maize avec la prédiction donnée par le modèle 'opérationnel'



Conclusion



- L'objectif de constituer un référentiel régional sur la minéralisation est atteint
- La démarche expérimentale a permis de questionner et d'évaluer le formalisme 'Comifer'
- Confirmation que la vitesse potentielle de minéralisation est bien déterminée par l'histoire culturale et des propriétés des sols.
- La démarche de modélisation montre que la prise en compte d'indicateurs de minéralisation est nécessaire à l'élaboration de modèles de qualité prédictive correcte
- Constat d'une imprécision relativement élevée des modèles pour la prédiction de la minéralisation. Nécessité de combiner leur utilisation à des outils de diagnostic des besoins en N de la plante en cours de développement



Merci pour votre attention!

