



Caractéristiques amendantes des PRO et services agronomiques rendus

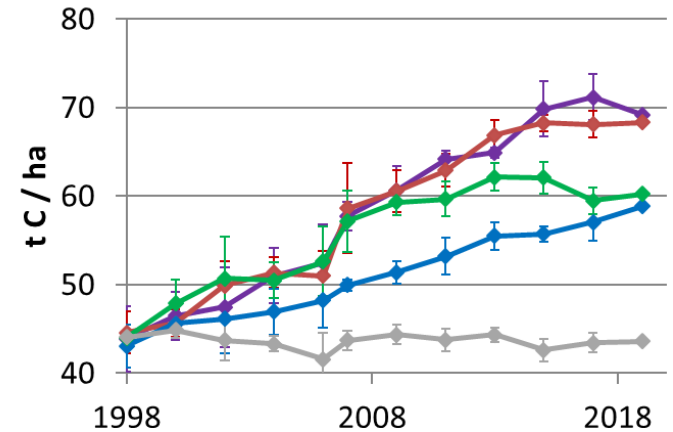
INRAE FLORENT LEVAVASSEUR & FIONA OBRIOT



Apport de PRO et Matière Organique des sols

- QualiAgro (78) : épandage de 3 composts urbains et d'un fumier bovin (FUM) tous les 2 ans (4 t C/ha, soit 20 t/ha à 35 t/ha)
- Fort stockage (effet dose), mais effet visible même à plus faible dose (essai de Colmar...)
- Variabilité du stockage à dose de C identique : influence de la qualité de matière organique sur le stockage (*Peltre et al., 2012, Levvasseur et al., 2020*)
- Matière organique stockée dans les sols +/- persistante, résultats variables dans la littérature

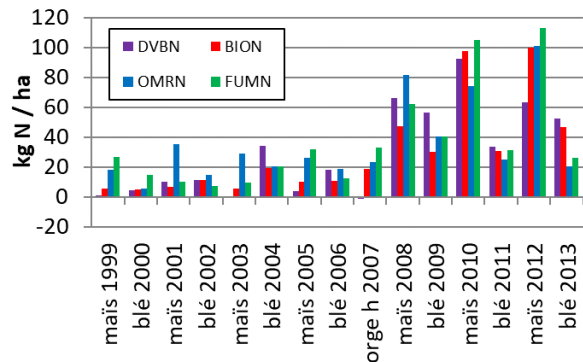
Stockage de carbone sur les traitements complémentés en azote de QualiAgro



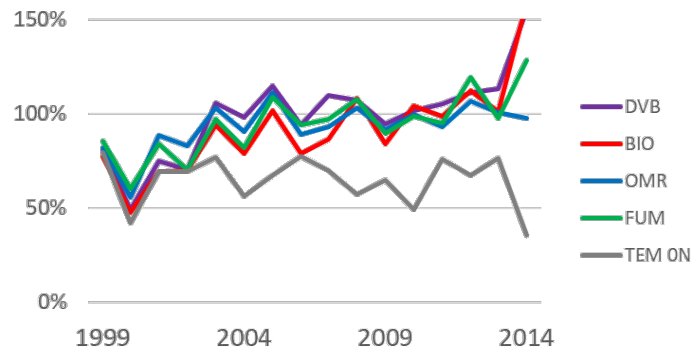
- ◆ BIO : compost de déchets verts et biodéchets
- ◆ DVB : compost de déchets verts et boue
- ◆ OMR : compost d'Ordures Ménagères Résiduelles
- ◆ FUM : fumier bovin
- ◆ TEM : témoin sans PRO

Fourniture d’N, économies d’engrais et production agricole

- ↗ MO du sol suite aux apports de PRO induit un surplus de minéralisation N
 - Possibilité de réduire les doses d’engrais N (variable selon les PRO, les doses, les systèmes de culture...)
 - Corollaire négatif : augmentation du risque de lixiviation à maîtriser avec une bonne absorption N automnale
- Rendements des traitements PRO + complément engrais ajusté ≈ rendements tout minéral (malgré une baisse des engrais)
- Traitements PRO seuls : rendements + faibles, surtout pour les céréales d’hiver
- A long terme, ↗ des rendements avec PRO seuls avec ↗ MO du sol et minéralisation N



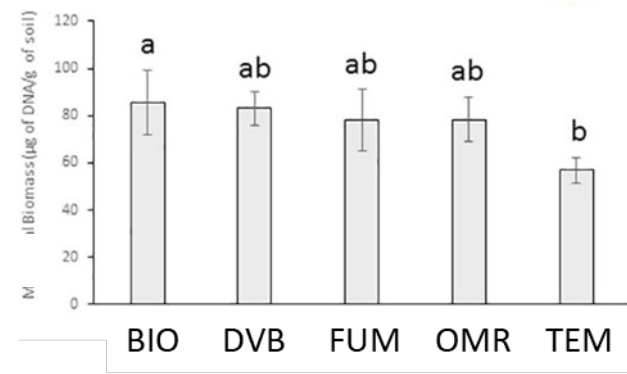
Surplus de fourniture N à QualiAgro par rapport au témoin N minéral



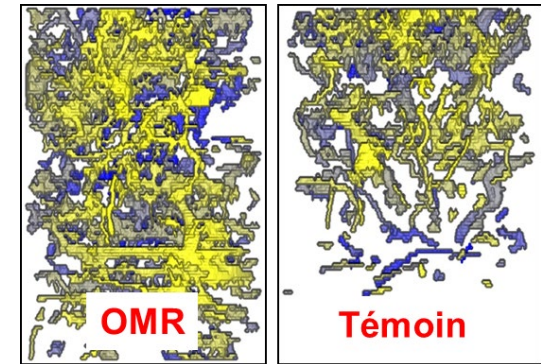
Rendement relatif au témoin N minéral à QualiAgro (rotation maïs-blé)

Biologie et physique des sols

- ↗ de la biomasse microbienne du sol, visible uniquement pour des fortes ↗ MO du sol (*Sadet-Bourgeteau et al., 2018*)
- Pas d'effet sur la diversité microbienne, mais structure des communautés microbiennes légèrement influencée à QualiAgro, en lien avec modification du pH (*Sadet-Bourgeteau et al., 2018*), et effet temporel + important que effet PRO
- ↗ abondance des vers de terre avec PRO mais variable selon les traitements (*Capowiez et al., 2009*) : ↗ porosité du sol, de sa capacité d'infiltration...
- Amélioration de la stabilité structurale du sol (*Annabi et al., 2011*)
- Amélioration de la plasticité du sol (*Paradelo et al., 2019*) et ↘ énergie pour le travailler
- Légère augmentation de la réserve utile avec des fortes ↗ de MO du sol (*Eden et al., 2017*)
- Entretien/augmentation du pH et de la CEC...



Biomasse microbienne à QualiAgro
(adapté de *Sadet-Bourgeteau et al., 2018*)



Macroporosité d'origine lombricienne
au sein des colonnes de sol
(adapté de *Capowiez et al., 2009*)

Comment caractériser les PRO ? Quantité

1- Analyses élémentaires → Dosage du C

- C total → combustion sèche et analyseur élémentaire (NF U 13039)
- C minéral → calcimétrie
- C organique → différence entre le C total et le C minéral

$$\% \text{ MO} = 2 \times \% \text{ Corg}$$

Corg exprimé en général g/kg de produit brut

+ autres éléments (P,K, Mg, ETM...)

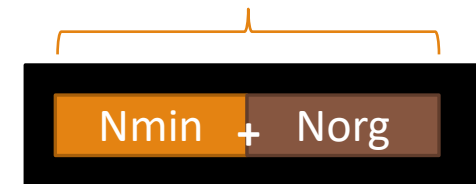
Usage ?

Caractériser les teneurs en éléments majeurs des PRO
→ Paramétrer les modèles



Dosage de N

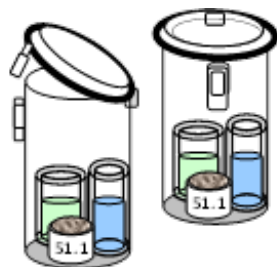
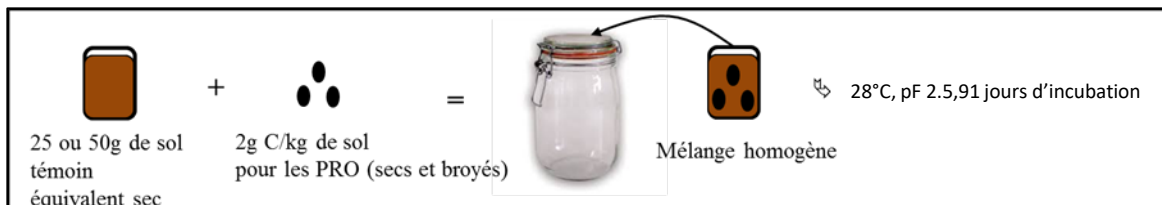
N_{tot}



Comment caractériser les PRO ? Qualité

2- Incubations au laboratoire pour suivre les cinétiques de minéralisation C et N

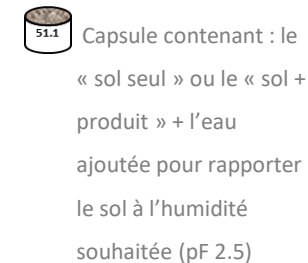
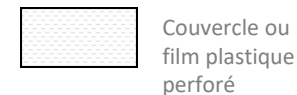
FD U 44-163



1. Dispositif CARBONE
en bocaux hermétiques



1. Dispositif AZOTE
Dit « en plateau »



Comment caractériser les PRO ? Qualité

2- Incubations au laboratoire pour suivre les cinétiques de minéralisation N

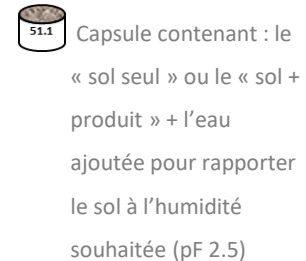
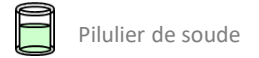
FD U 42-163



28°C, pF 2.5, 91 jours d'incubation

1. Dispositif AZOTE
Dit « en plateau »

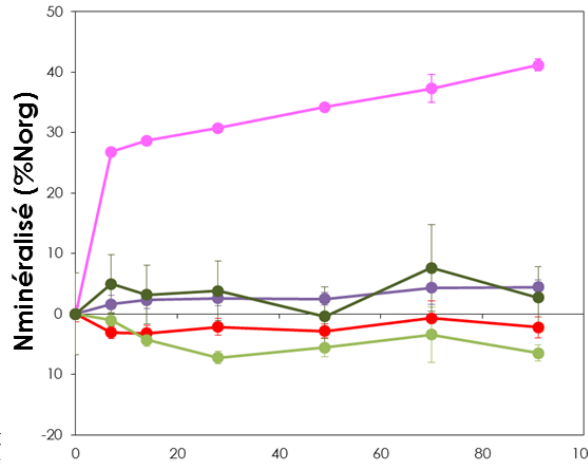
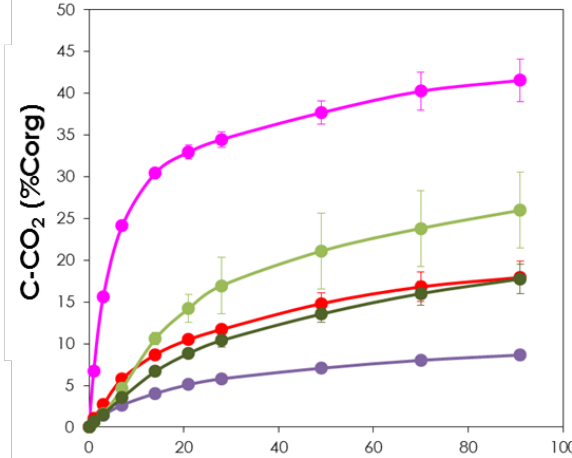
1.6 mg de N pour 25g de sol sec



Carbone

Azote

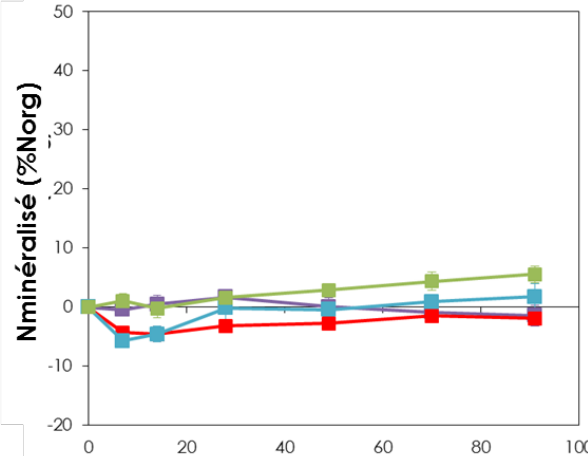
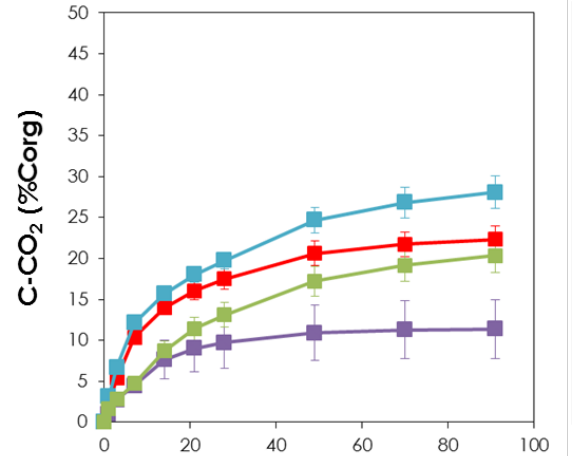
FD U 44-163



- BOUE_C_2013
- DVB_C_2013
- BIO_C_2013
- FUM_C_2013
- FUMC_C_2013



Colmar



- DVB_Q_2011
- BIO_Q_2011
- OMR_Q_2011
- FUM_Q_2011



Qualiagro

Usage ?
 Paramétrage de modèles
 → Prédiction stockage de C et fourniture N au champ (Noirot-Cosson et al., 2016, Levassasseur et al., 2021)



Obriot et al. 2016

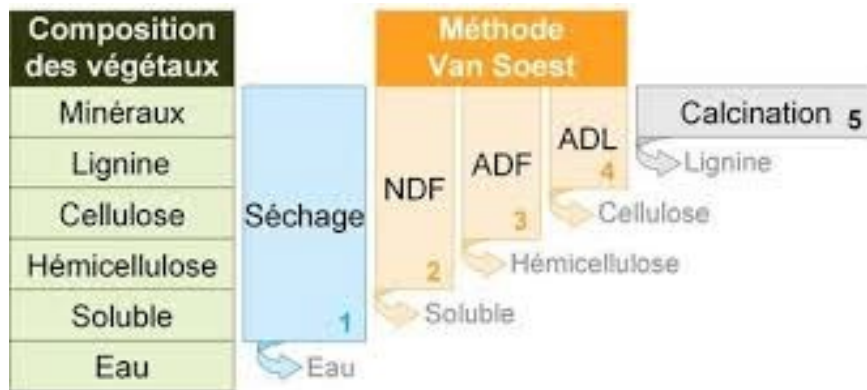
Comment caractériser les PRO ? Qualité

3- ISMO : Indice de Stabilité des Matières Organiques → Capacité d'un produit organique à résister à la dégradation et à fournir de l'humus au sol.

FD U 44-163

$$\text{ISMO}^* = 44.5 + 0.5 \text{ SOL} - 0.2 \text{ CEL} + 0.7 \text{ LIC} - 2.3 \text{ Ct3}$$

**Lashermes et al. 2009*



Usage ?

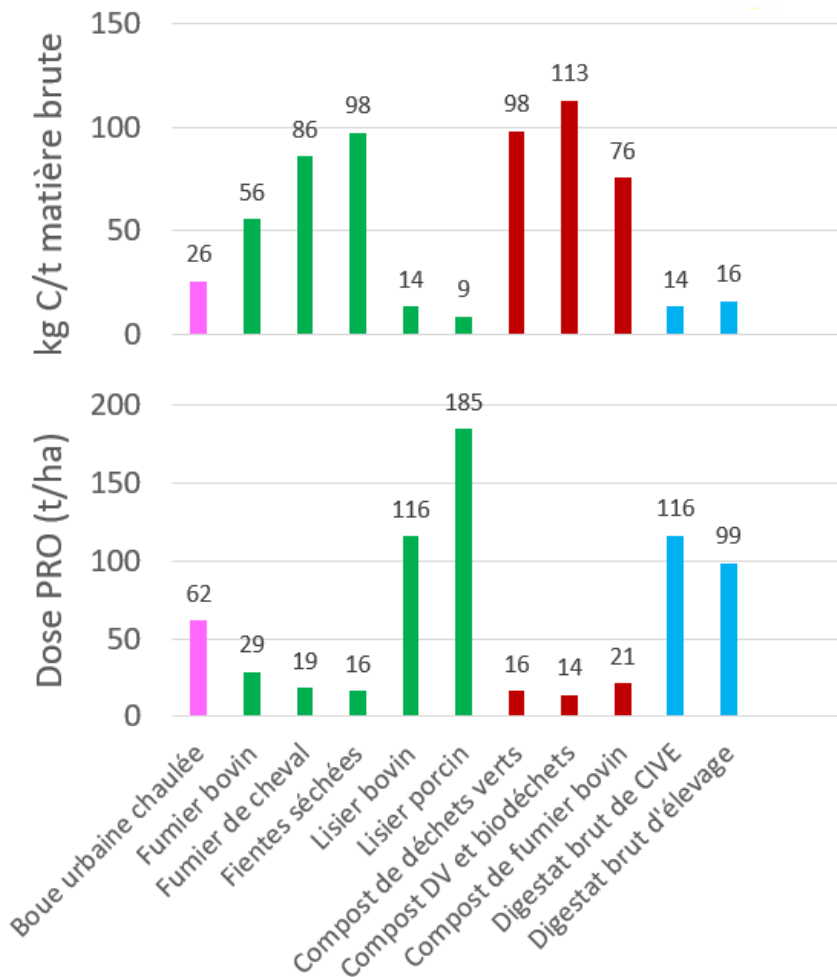
Paramétrage de modèles
→ Prédiction stockage de C au champ (Peltre et al., 2012, Levvasseur et al., 2020)



Différences de contribution à la MOS entre PRO : exemple d'utilisation de l'ISMO avec AMG

- Apport de carbone stabilisé par tonne de matière brute = Teneur en carbone × ISMO
→ Très variable entre PRO
- Dose moyenne annuelle de PRO pour augmenter de 0.5% la teneur en MO du sol en 20 ans sur 0-25 cm*
→ Non réaliste/souhaitable avec la plupart des PRO (disponibilité, lourdeur du chantier, risques de pertes N...)

* Modélisation avec AMG pour un limon décarbonaté labouré à 25 cm en Ile de France





Prédiction des effets des PRO sur la matière organique du sol et les services associés

- Possibilité de prédire les effets des PRO en couplant la prédiction de l'évolution de la matière organique des sols et divers modèles et fonctions

→ Développement d'un outil d'évaluation multicritère prédictif (projet PSDR PROLEG)

- Illustration de l'outil avec un exemple (diapo suivante) :

- Rotation colza-blé-(couvert)-maïs grain - blé
- Limons profonds décarbonatés en IDF, 2% MO initiale
- Labour 25 cm, résidus restitués
- Avec ou sans apport de compost de déchets verts (30 t/ha tous les 4 ans sur couverts)

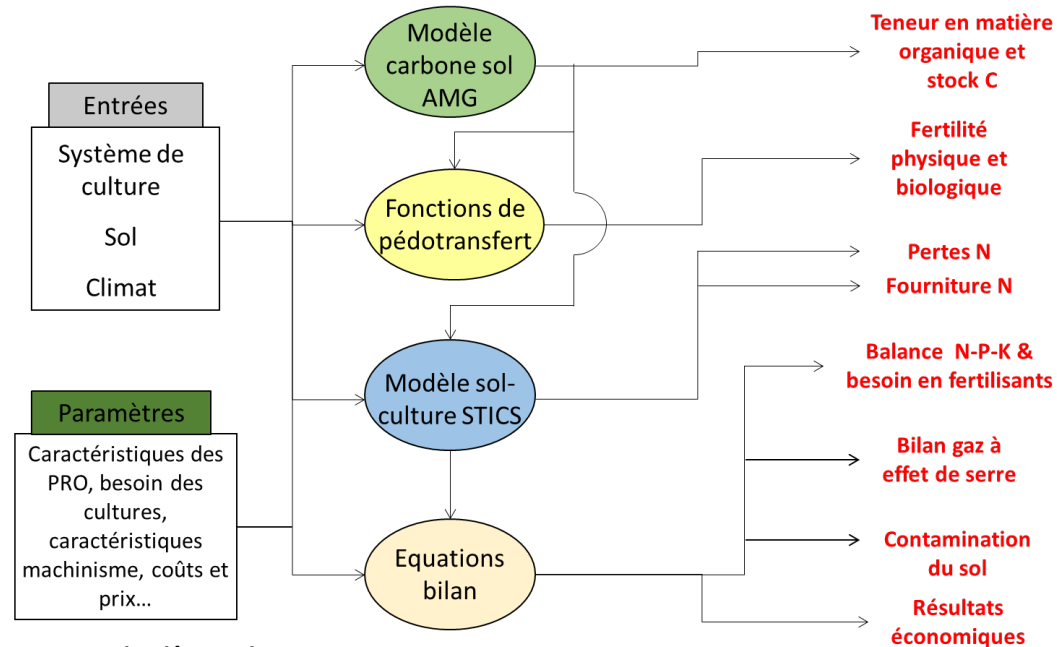
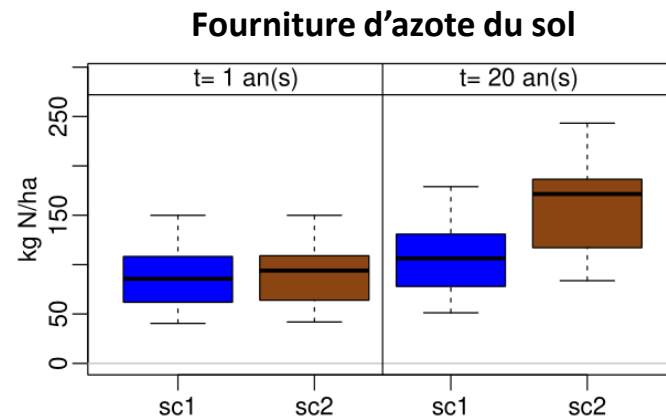
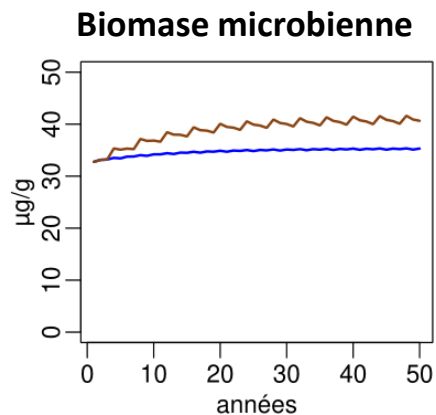
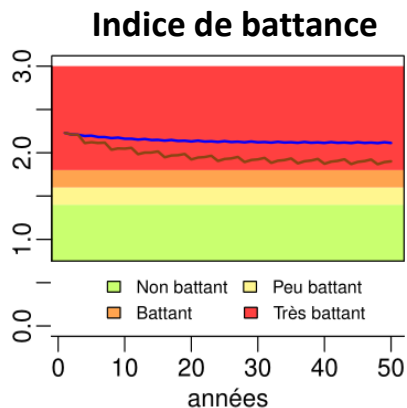
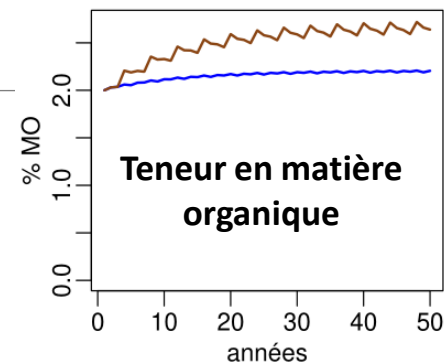


Schéma de principe de l'outil PROLEG

Prédiction des effets des PRO sur la matière organique du sol et les services associés (outil PROLEG)

- Des effets positifs prédits **avec compost** / **sans compost** : augmentation de la MO du sol et de la biomasse microbienne, diminution de la battance, augmentation des fournitures d'azote du sol à long terme (et diminution des besoins en engrais NPK)...
- Mais des effets négatifs prédits **avec compost** / **sans compost** : augmentation de la lixiviation et des émissions de N_2O , légère accumulation de métaux dans les sols...



Prise en compte des PRO dans la gestion de la fertilisation azotée

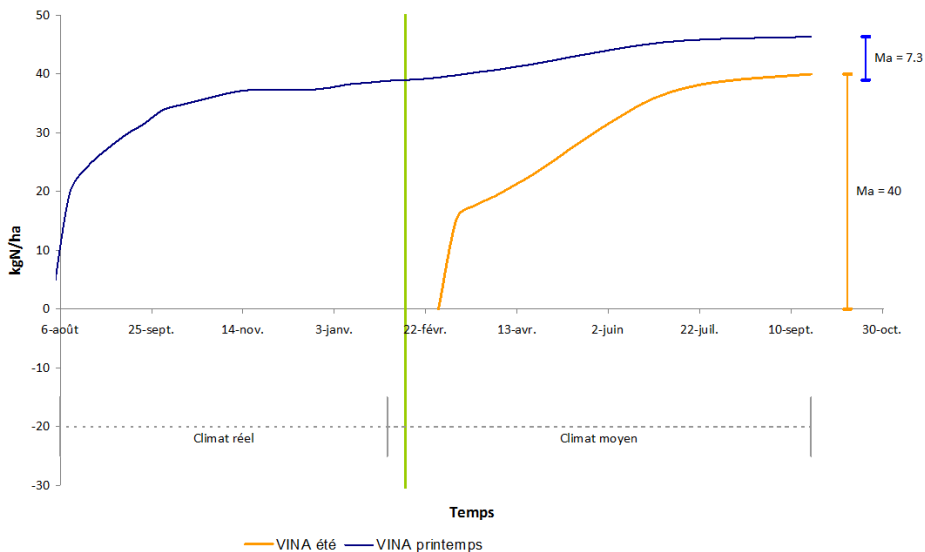
- **AzoFert®** : OAD pour la fertilisation azotée (utilisateurs = agriculteurs, conseillers), outil terrain

Effets à court terme = année culturale

Effets à long terme = apports répétés

Prise en compte dans le poste minéralisation de l'humus du sol → au travers les habitudes culturales, fréquence & nature des apports organiques + stock de Ntot dans le sol

Courbes de minéralisation de la vinasse



Effet de la nature

Effet de la date d'apport

+ possibilité de saisir les caractéristiques du PRO (C, Ntot et Nmin)

Effets amendants des PRO



Observés dans de nombreux essais au champ



↗ MOS, fourniture N à long terme, amélioration des propriétés physiques...



Mais les effets sont variables selon les doses d'apports, les contextes pédoclimatiques et la qualité des matières organiques apportés par les PRO



Connaître les quantités de C et N organiques apportés (dose, fréquence...)



Estimer la stabilité du C des PRO pour évaluer la contribution à la MOS :

- ISMO → usage validé pour de multiples PRO
- Cinétiques de minéralisation (incubation en conditions contrôlées) → méthode longue, + précise que ISMO et info plus complète. Mais avec une influence connue de la préparation de l'échantillon sur les résultats.
- Emergence d'autres méthodes (ISBAMO, RMN, NIRS, Rock-Eval...).



Usage des données labo pour prédire les effets au champ via les modèles est-il possible ?

- Globalement oui (ex: AMG) pour l'évolution de la MOS
- Certains effets sont prédictibles via divers modèles et fonctions de pédotransfert : fourniture en N à long terme, battance, etc., mais d'autres le sont encore difficilement (pH, biologie ?)
- Des incertitudes sur les dynamiques de la matière organique encore difficilement comprises