

# 13<sup>èmes</sup> Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse



Avec la participation de 



8 et 9  
Nov 2017  
La Cité des Congrès  
Nantes

## Session 2 : Fertilisation organique et recyclage

# Dynamique à long terme du phosphore dans deux dispositifs du réseau SOERE-PRO

SOERE-PRO: *“Observatoire de recherche en environnement pour l'étude du recyclage agricole de Produits Résiduels Organiques”*



Christian MOREL, Pascal DENOROY

(UMR-ISPA, INRA-Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux)

Sabine HOUOT, Vincent MERCIER et Aurélia MICHAUD

(UMR Ecosys AgroParisTech)

Denis MONTENACH, Frédéric HAMMEL (UE INRA-Colmar)

# Contexte

- ❑ Prévention de limitation de disponibilité en P et mise en place d'économie circulaire ⇔ développer l'usage du P issu de recyclage ; <http://www.comifer.asso.fr/index.php/fr/evenements/journees-thematiques/151-journee-phosphore-recycle-en-agriculture.html>
- ❑ Grande diversité des produits organiques épandus en agriculture; évolution continue des filières et des procédés de traitement. Spéciation du P-PRO est variable. Présence de minéraux phosphatés précipités très peu solubles dans l'eau (apatites; phosphate de calcium amorphes) et de phytate.
- ❑ Le P des Produits Résiduaux (Organiques) est-il disponible pour les plantes?

# Contexte (suite et fin)

---

- ❑ Il existe des références sur la valeur fertilisante phosphatée à court terme mais PEU sur le long terme; quelques chiffres pour des boues de STEP, des engrais de ferme mais pas de références pour des composts urbains
- ❑ Nécessité d'acquérir des références pour P (accumulation possible ?) si les apports sont raisonnés sur la base du C ou de N

**Enfin, que devient le phosphore des produits résiduels organiques apporté au sol?**

# Objectifs

---

- Évaluation/impact des PRO sur le fonctionnement à long terme du cycle biogéochimique du P
- Hypothèse: la spéciation du P des PRO explique les impacts à long terme
- Démarche expérimentale: analyse de 2 essais au champ du réseau SOERE-PRO:

# Présentation des essais au champ



(Feucherolles, 78)

4 t C/(ha . 2ans)

- déchets verts + boue urbaine (**DVB**)
- compost de biodéchets (**BIOD**) issus d'une collecte sélective de la FFOM\*
- ordures ménagères résiduelles (OMR)
- fumier de vaches laitières (**FUM**)
- Témoin (**TEM**) sans fertilisation phosphatée (ni apport de PRO)

**PRO**spective (INRA-Colmar)

170 Norg/(ha . 2ans)

- boues de STEP déshydratée (**BOUE**)
- déchets verts + même boue urbaine déshydratée (**DVB**)
- compost de biodéchets (**BIOD**) issus d'une collecte sélective de la FFOM\*
- fumier de vaches laitières (**FUM**)
- le même fumier composté pendant 2 mois (**FUMC**)
- Témoin (**TEM**) sans fertilisation phosphatée (ni apport de PRO)

\* *FFOM = Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères*

# Présentation des essais au champ



(Feucherolles, 78)

**PRO**spective (INRA-Colmar)

Apport sur une base carbone:  
4 t C/(ha.2ans)

Apport sur une base azote:  
170 N<sub>org</sub>/(ha.2ans)

NéoLuvisol sol limoneux,  
pH=6.9 ; CEC<sub>cob</sub>=8,7 cmol+/kg  
P<sub>Olsen</sub>=39,8 mg P/kg

Calcosol limoneux (carbonaté : CaCO<sub>3</sub>=11%),  
pH=8.2 ; CEC<sub>cob</sub>=17,1 cmol+/kg ;  
P<sub>Olsen</sub>=30,9 mg P/kg

5 tt ×4 blocs × 2Nminéral (opt. ou fai)

6 tt ×4 blocs × 2Nminéral (Nopt et 0N)

**Rotation** maïs (cannes restituées) - blé  
(paille ôtée)

**Rotation** 2001-2012: maïs-blé-maïs-  
orge-maïs-blé-betterave-orge-maïs-  
blé-betterave-orge (résidus restitués)

Épandage tous les 2 ans à l'automne en  
général à partir de 1998

Plus de détails à <https://www6.inra.fr/qualiagro/L-essai-au-champ/Presentation>

Épandages tous les deux ans au  
printemps 2001, 2003, 2005, 2007,  
2009, 2011, 2013 et automne 2014

# Démarche expérimentale : mesures

**ANALYSES 'PRO'** : Composition des PRO (LAS, INRA-Arras)

---

**ANALYSES 'PLANTE'**: Tous les ans, mesure des rendements et de la teneur en P (USRAVE, INRA-Bordeaux). Calcul des exportations de P chaque année. Calcul du bilan annuel et cumulé de P à l'échelle de chaque parcelle expérimentale.

## **ANALYSES 'SOL'**

- P-total(HF) (LAS, INRA-Arras)
- P-organique (méthode S&W, 1955) et P inorganique = Ptotal(HF) - Porg
- P du sol, disponible pour les plantes avec deux approches:
  1. Concentration ( $C_p$ , mg P/L solution) des ions phosphate dans la solution de sol et quantité d'ions phosphate en équilibre (Morel et al, 2014). Mise en équation sur des périodes courtes du transfert des ions P à l'interface solide-solution et extrapolation sur de plus longues périodes (Fardeau 1993).
  2. Extraction chimique Olsen (Olsen, 1952) (LAS, INRA-Arras)

**Calcul des stocks**: teneur  $\times$  (masse de terre fine dans la couche labourée (INRA-Colmar: 28 cm avec  $d_a=1.29$ ; QualiAgro: 25 cm avec  $d_a$  variable)

# Démarche expérimentale : traitement des données

---

*L'épandage répété de PRO modifie-t-il le fonctionnement court/moyen/terme du cycle du P ?*

## Données d'entrée

- Apport de P variable suivant base du raisonnement et C/P et N/P
- Exportations P par les cultures peu affectées (sauf TEMOIN)

## Traitement des données

- Bilan cumulé et comparaison avec  $\Delta P_{\text{total}}(\text{HF})$  couche labourée
- Evolution pluriannuelle du P du sol:  
P<sub>total</sub>/organique/inorganique/disponible
- Relation stock de P<sub>disponible</sub> et bilan cultural



# Résultats : Composition des PRO

## Variabilité des compositions

composition des PRO épandus dans l'essai QualiAgro (moyenne des teneurs des 8 épandages réalisés entre 1998 et 2013)					
		<b>BIOD</b>	<b>FUM</b>	<b>DVB</b>	<b>OMR</b>
<b>Corg</b>	g / kg MS	<b>211</b>	<b>324</b>	<b>265</b>	<b>310</b>
<b>C/N</b>	Sans unité	<b>12.5</b>	<b>15.8</b>	<b>12.1</b>	<b>16.0</b>
<b>C/P</b>	Sans unité	<b>45</b>	<b>57</b>	<b>21</b>	<b>88</b>
<b>N/P</b>	Sans unité	<b>3.8</b>	<b>3.8</b>	<b>1.8</b>	<b>5.1</b>
<b>CaCO3</b>	g / kg MS	<b>90.2</b>	<b>47.0</b>	<b>27.1</b>	<b>69.0</b>
<b>Al-total-HF</b>	g / kg MS	<b>25.8</b>	<b>8.2</b>	<b>25.9</b>	<b>15.7</b>
<b>Fe-totalHF</b>	g / kg MS	<b>16.4</b>	<b>7.5</b>	<b>18.0</b>	<b>8.7</b>

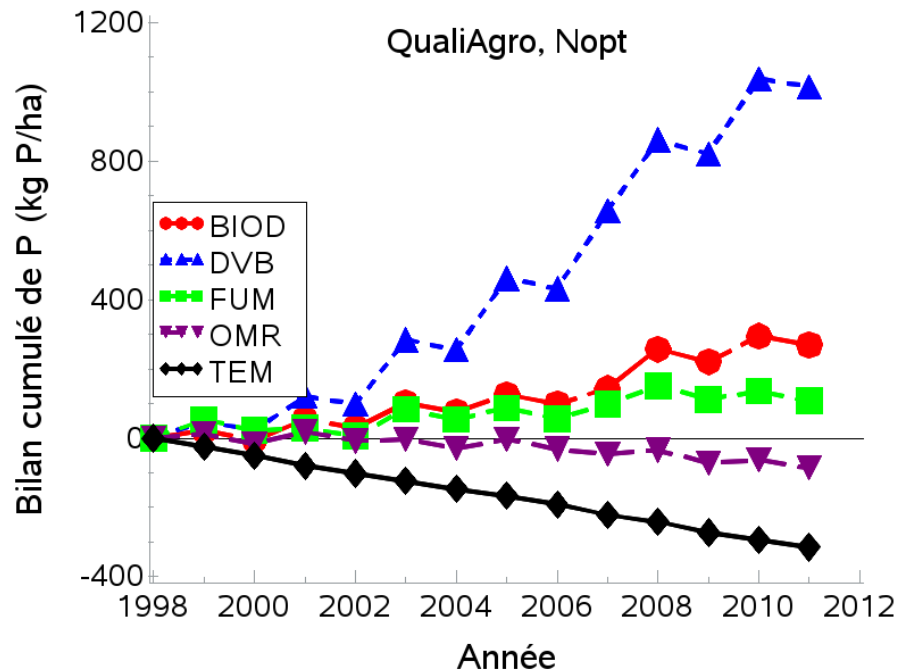
Le P-PRO est majoritairement inorganique (QualiAgro)

	P-total	P-inorg.	P-org.
	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%
<b>FUM</b>	<b>5.5 (±1.1)</b>	<b>64%</b>	<b>36%</b>
<b>DVB</b>	<b>13.0 (±3.7)</b>	<b>84%</b>	<b>16%</b>
<b>OMR</b>	<b>3.5 (±0.8)</b>	<b>91%</b>	<b>9%</b>
<b>BIOD</b>	<b>4.8 (±1.7)</b>	<b>93%</b>	<b>7%</b>

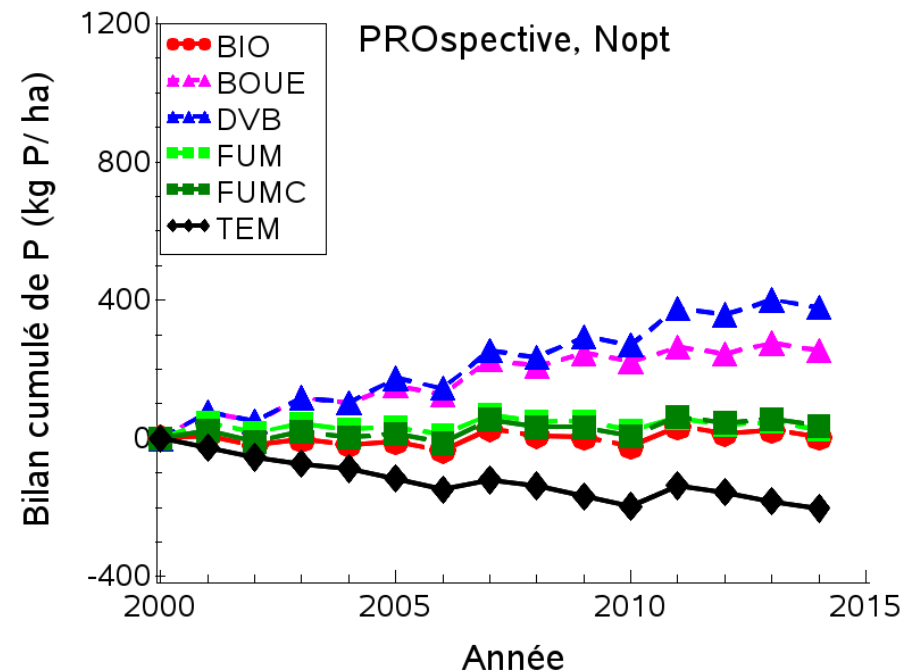
# Résultats : Bilan de P-total variable suivant mode de raisonnement et nature du PRO



(Feucherolles, 78)



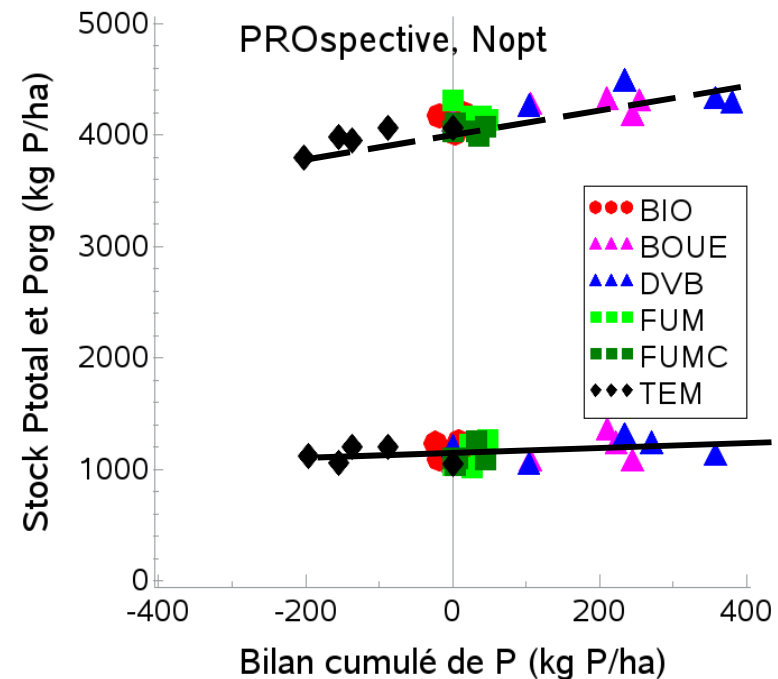
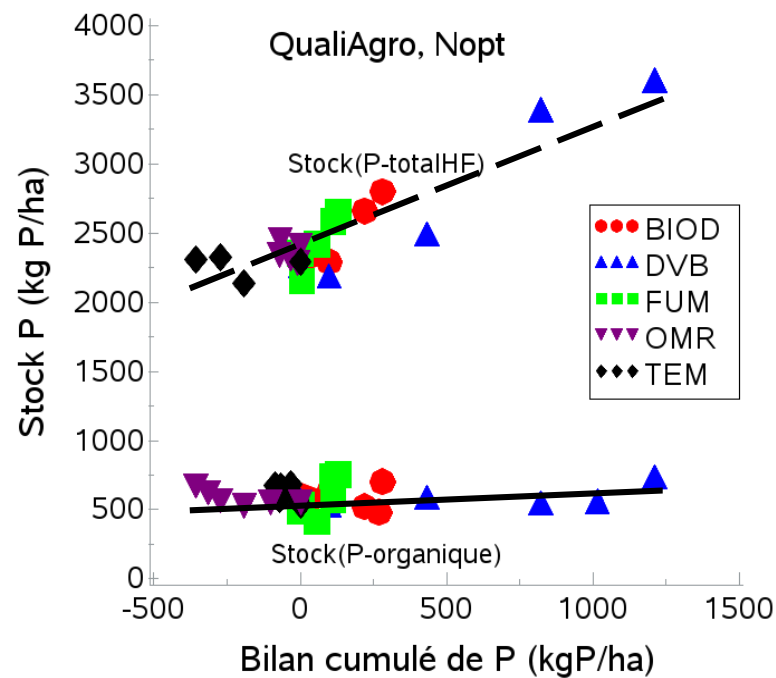
PROspective (INRA-Colmar)



# Résultats : Stock-Ptotal(HF)&Porg. vs bilan cultural

## QualiAgro (Feucherolles, 78)

## PROspective (INRA-Colmar)



Pas de migration significative de P en profondeur.

Un peu de P redistribué dans les tous premiers cm sous labour

$P_{organique}$  ne varie pas significativement avec bilan

Effet bilan uniquement sur  $P_{inorganique}$

# Résultats : Effet d'apports répétés de PRO sur les propriétés du sol

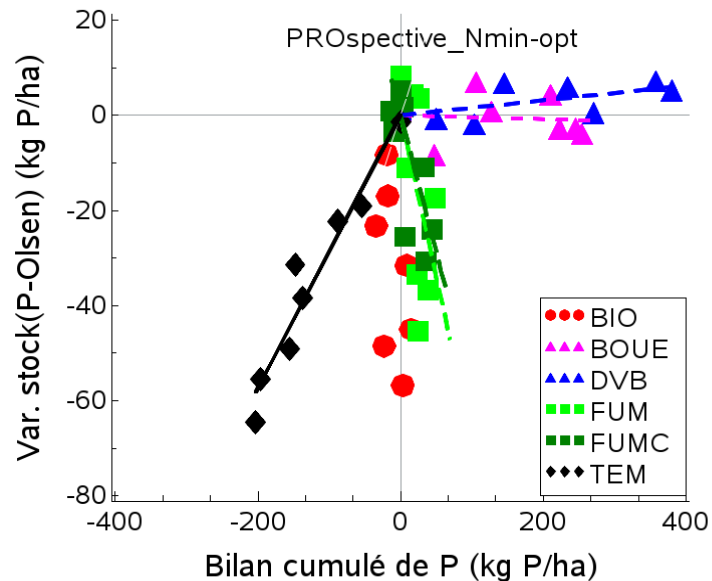
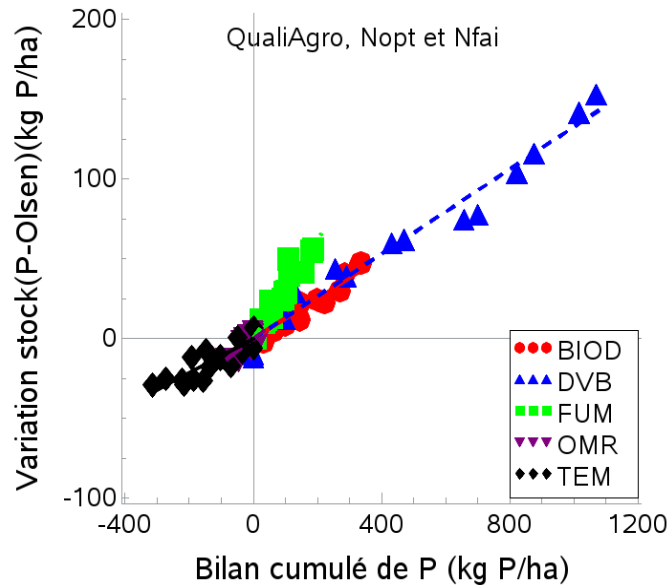
## *Effet de l'épandage de PRO ne se limite pas au P*

après 15 années d'expérimentation (8 épandages 1998-2013) à QualiAgro

QualiAgro		INITIAL	TEM	DVB	OMR	BIOD	FUM
pH <sub>eau</sub>		7.1	6.7	6.9	7.5	7.8	7.3
C <sub>org</sub>	g kg <sup>-1</sup>	10.5	10.4	15.6	12.8	15.2	14.4
CEC <sub>cob</sub>	cmol+ kg <sup>-1</sup>	9.5	8.4	10.1	9.9	11.3	10.2
Ca-éch.	cmol+ kg <sup>-1</sup>	nd	8.3	9.6	9.9	11.0	9.0
K-éch.	cmol+ kg <sup>-1</sup>	nd	0.3	0.47	0.38	0.68	0.95
P <sub>Olsen</sub>	mg P kg <sup>-1</sup>	41	29	77	33	48	53

Et aussi: N, S, oligo-éléments, activité microbologique, densité apparente, autres...

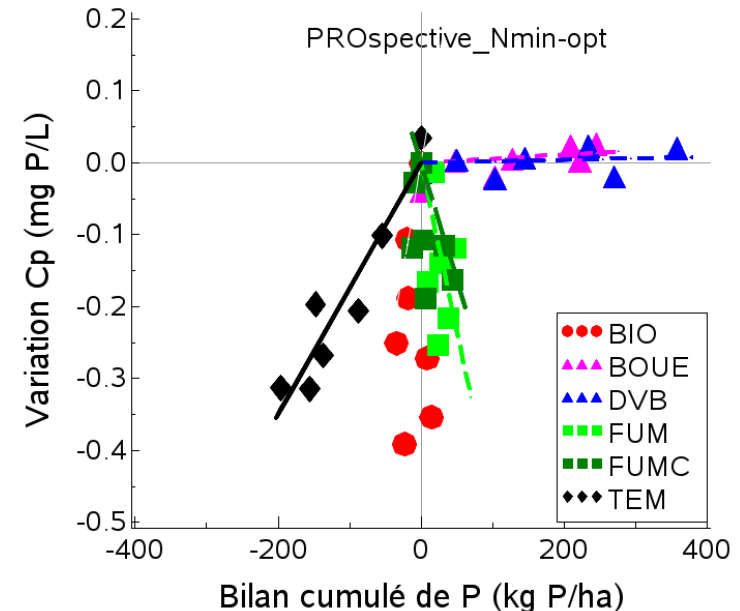
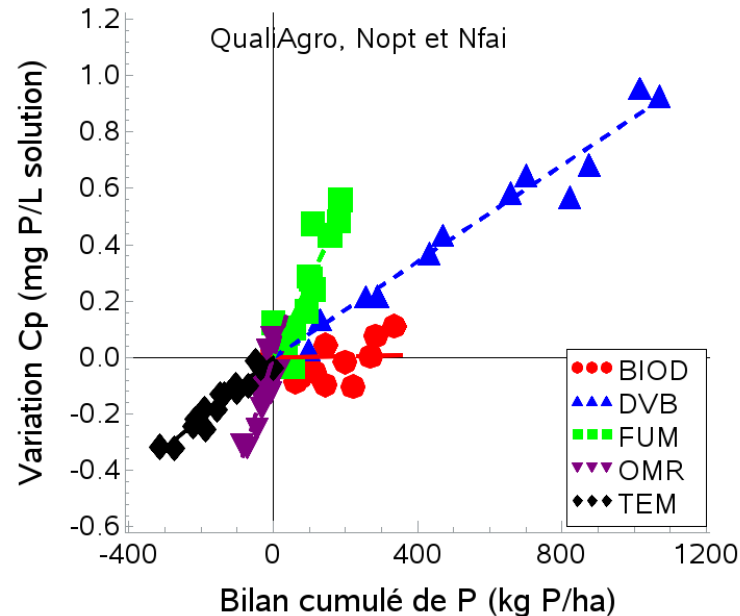
# Résultats : Variations du P-disponible avec le bilan cultural P Olsen



Effet pH du sol: à pH=8.1 DVB=X%; à ;pH=6.0, DVB=90%;

Pas d'effet compostage: PROspective, même dynamique BOUE et BOUE-compostée; FUM et FUM-composté

# Résultats : Variations du P-disponible avec le bilan cultural Cp (phosphate soluble eau)



Effet court/moyen/long termes: même dynamique

MAIS grande variabilité de comportement suivant sol et PRO pour un sol donné.

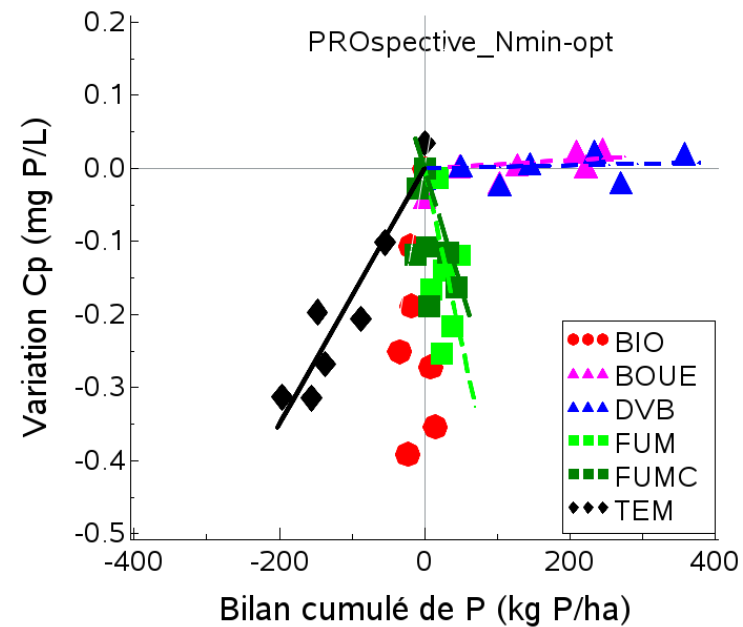
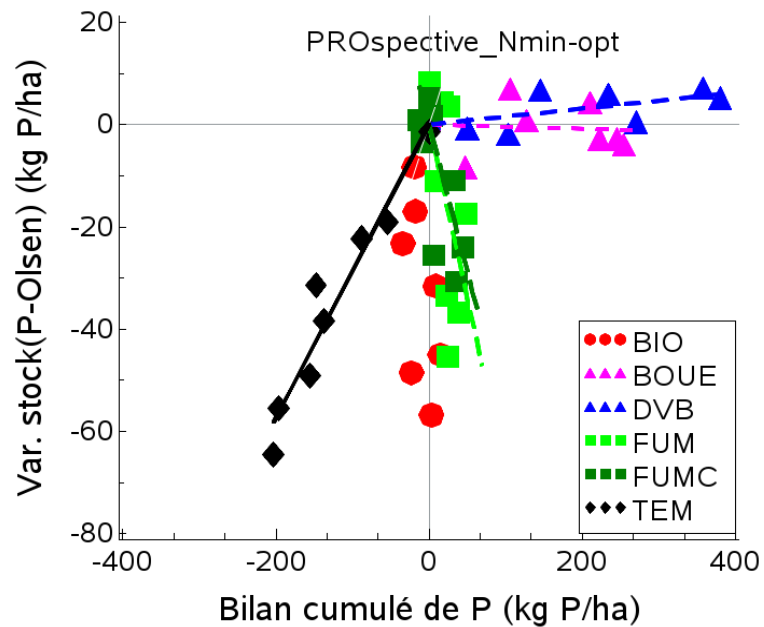
Effet pH du sol: à pH=8.1 DVB=X%; à ;pH=6.0, DVB=90%;

Pas d'effet compostage

Effet + ou - indirect de l'épandage de PRO par modifications de propriétés autres qu'apport de P

# Résultats : en résumé Essai PROspective Colmar

En sol carbonaté, un rôle majeur de la précipitation du P ?



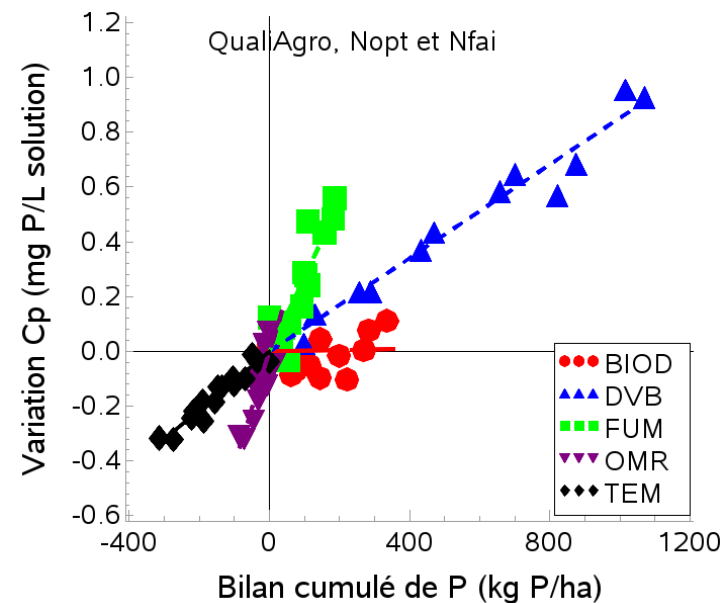
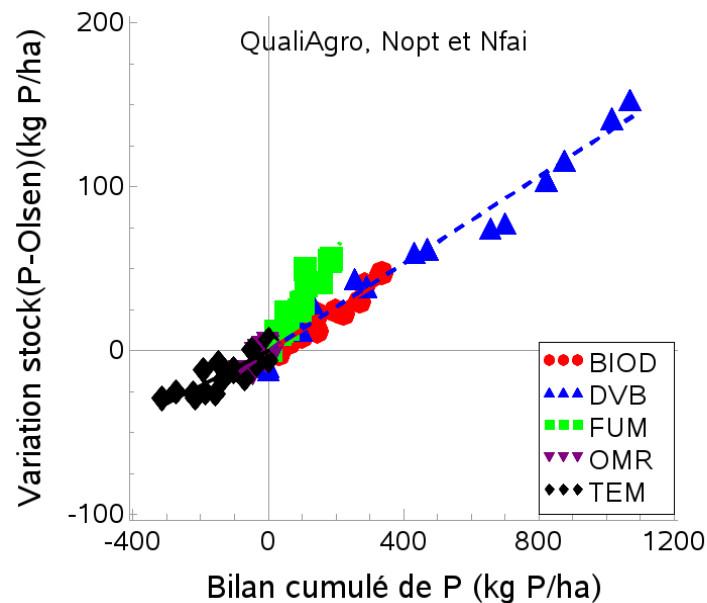
Jouer sur le mode d'apport pour mieux le valoriser ? (date, localisation, ...)

# Résultats : en résumé Essai QualiAgro Feucherolles

En sol non carbonaté, la spéciation des PRO joue sur la mobilité de P :

- Forme de P  $\pm$  soluble (formes minérales insolubles ?)
- Modification des propriétés du sol : sorption de P

L'indicateur Cp est plus sensible pour détecter des différences du comportement du système sol-PRO





# Pour conclure et suite à donner

---

Spéciation du P contenu dans le PRO (P inerte, et ...) et caractéristique du sol récepteur semblent déterminer la biodisponibilité pour les cultures du P total apporté par des PRO

Pour aller au-delà de l'accumulation de référence empiriques

- 1) identifier et normaliser les paramètres permettant de décrire de façon opérationnelle chaque PRO (formes de P, autres paramètres des PRO induisant des modifications de propriétés des sols...)
- 2) Identifier et normaliser les propriétés réceptrices de chaque sol
- 3) Modéliser l'interaction PRO/sol



ADEME



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



UMR 1402 EcoSys



