



**HAL**  
open science

## Qualité et valeur agronomique: disponibilité du P, forme, contaminants

Christian Morel

► **To cite this version:**

Christian Morel. Qualité et valeur agronomique: disponibilité du P, forme, contaminants. Le phosphore recyclé en agriculture: gisements, produits, qualité, réglementation, Apr 2017, Paris, France. hal-02791150

**HAL Id: hal-02791150**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02791150>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Christian MOREL, *INRA, UMR ISPA,*  
*Centre Bordeaux-Aquitaine*



Qualité et valeur agronomique:  
disponibilité du P, forme, contaminants



# Epandage MAFOR = solution pour une gestion durable de la ressource P

- Raréfaction du P fossile
- Pour éviter « pénurie » de P : améliorer le raisonnement de la fertilisation P, l'efficacité d'utilisation du P par les cultures, augmenter le recyclage du P-MAFOR, ...
- Sources de nutriments susceptibles de remplacer les engrais: P exporté récolte à l'échelle de la France (et du globe) ~ P contenu dans les MAFOR à l'échelle de la France (et du globe)

MAFOR = engrais complet avec macro et oligoéléments (N, P, K, Ca, Mg, S,... )

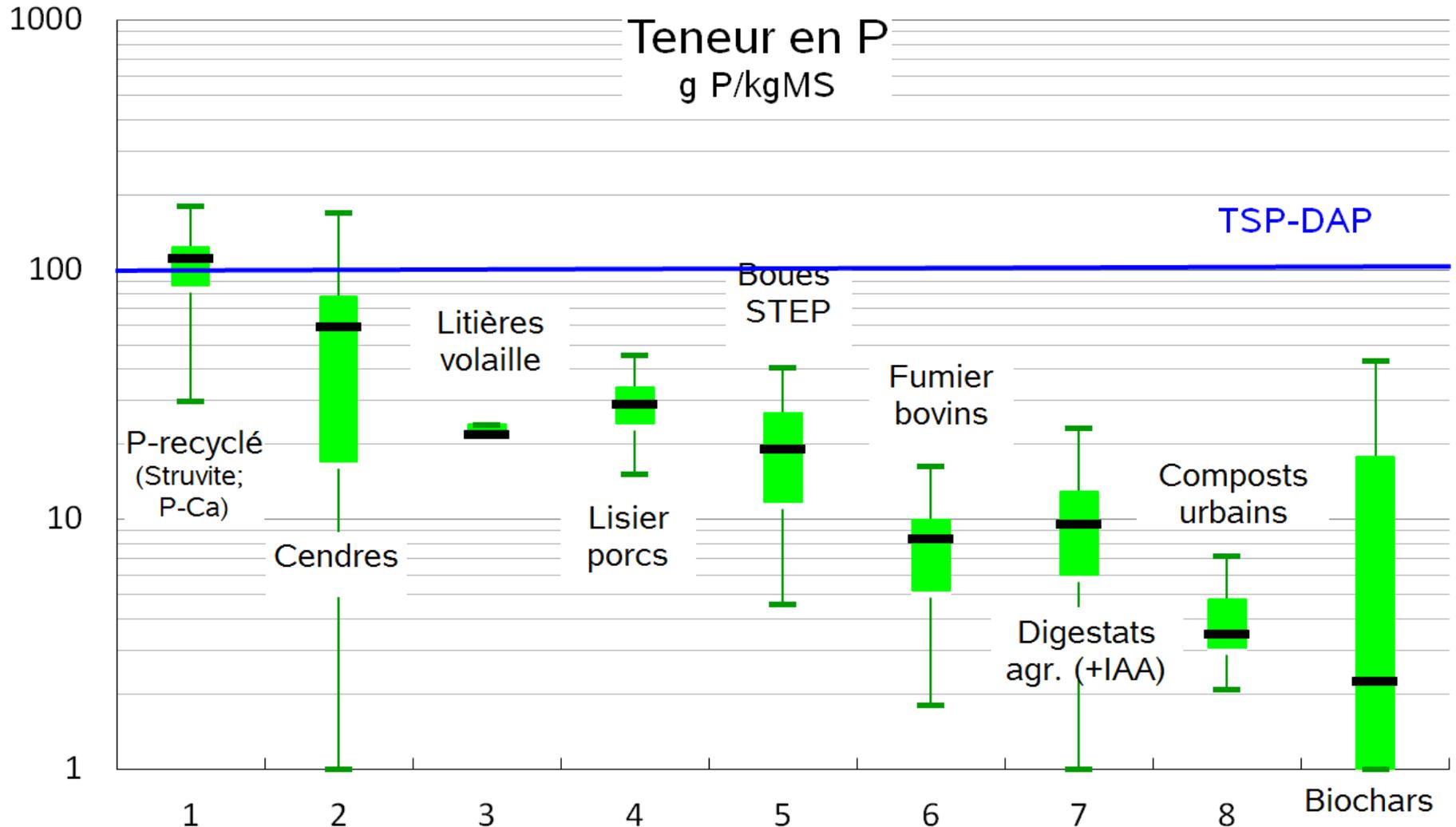
Valorisation des MAFOR en agriculture est justifiée par

- Valeur fertilisante (N, P, K etc.)
- Valeur amendante (apport de MO, valeur neutralisante)
- Valeur environnementale : stockage de carbone
- Valeur économique : substitution au engrais; production énergie (méthanisation)

**À la condition que:**

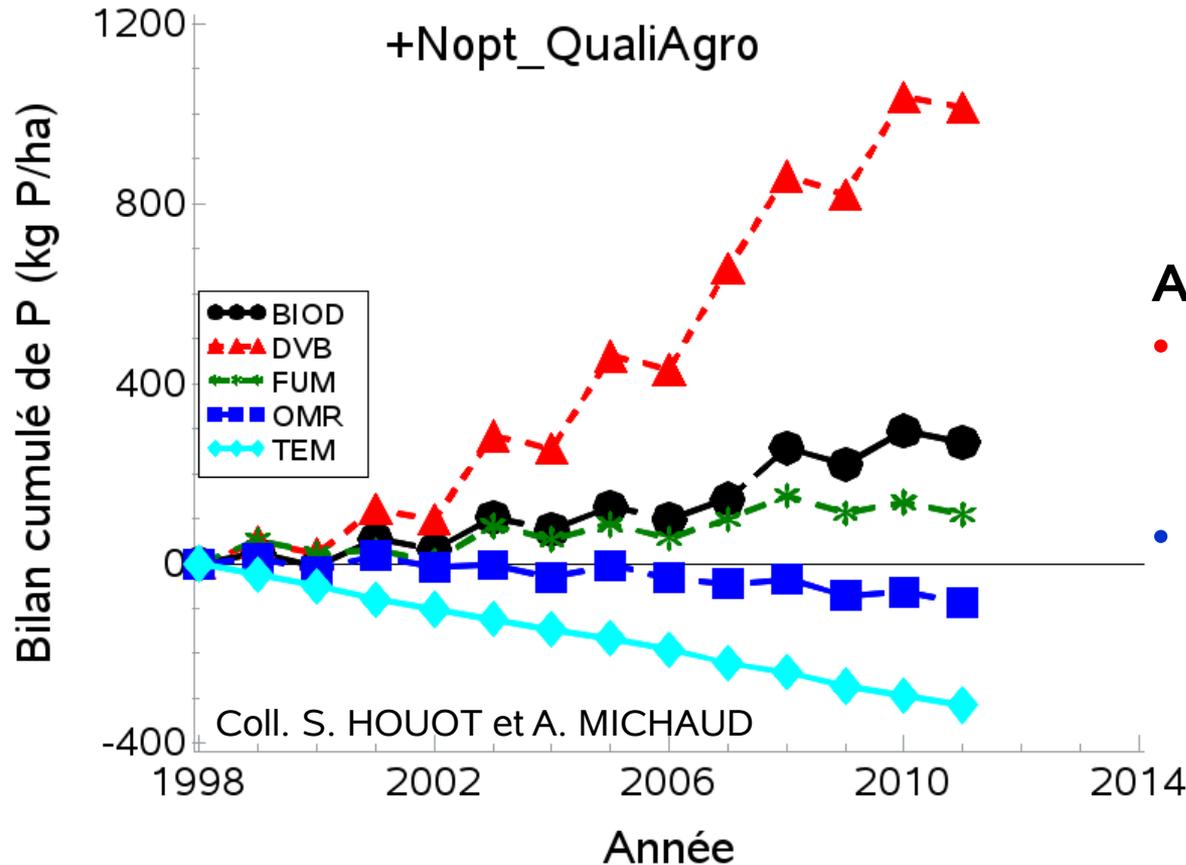
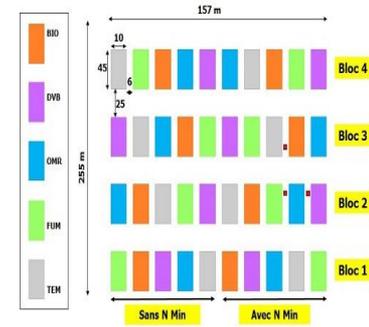
- ✓ Inocuité (contaminants)
- ✓ Acceptabilité
- ✓ Facilité d'usage

# Teneur variable du P des MAFOR



(adapté de Pellerin et al. 2014)

**MAIS...** composition hautement variable en C et en P avec C/P conduisant à des apports et bilan P parfois très contrastés.



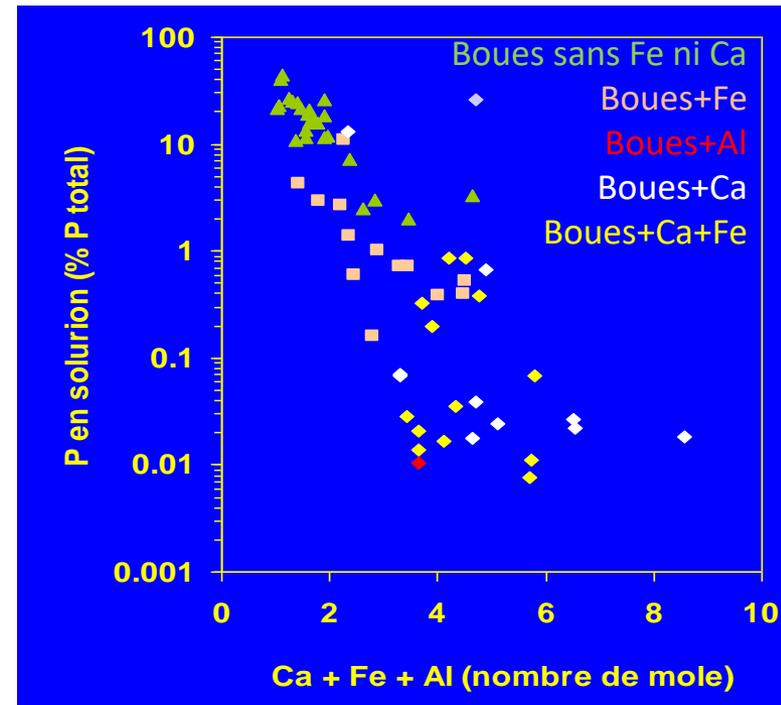
**Après 13 années (+4T C/2ans)**

- Avec DVB (12.4 g P/kg MS; C/P=21), ↑ de P égale à ~50 fois le P exporté
- Avec OMR (3.3 g P/kg MS; C/P=95): P apporté < P exporté

# Et aussi spéciation variable du P des MAFOR

- Pour les PRO, le P est majoritairement sous forme minérale.
- La spéciation du P dépend (un peu) des matières premières et (surtout) des traitements. *Ex. : boues de STEP insolubilisation (complexation, précipitation) du P par ajout de sels de Fe, Al, Ca*
- Dans les cendres de boues de STEP, présence de phosphates-calcique « insolubles » (Nanzer et al. 2014)

QualiAgro	P-total	P-org.	P-org.
	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%
<b>FUM</b>	<b>5.5</b>	<b>1.9</b>	<b>36%</b>
<b>DVB</b>	<b>13.0</b>	<b>2.2</b>	<b>16%</b>
<b>OMR</b>	<b>3.5</b>	<b>0.3</b>	<b>9%</b>
<b>BIOD</b>	<b>4.8</b>	<b>0.3</b>	<b>7%</b>



(Guivarch 2014)

# Question: quelle est la disponibilité/assimilabilité du P-MAFOR pour les cultures ?

- ❑ varie-t-elle avec le type de MAFOR (matières premières×processus de transformation) et sa spéciation du P?
- ❑ Interaction sol×MAFOR sur nutrition P des plantes

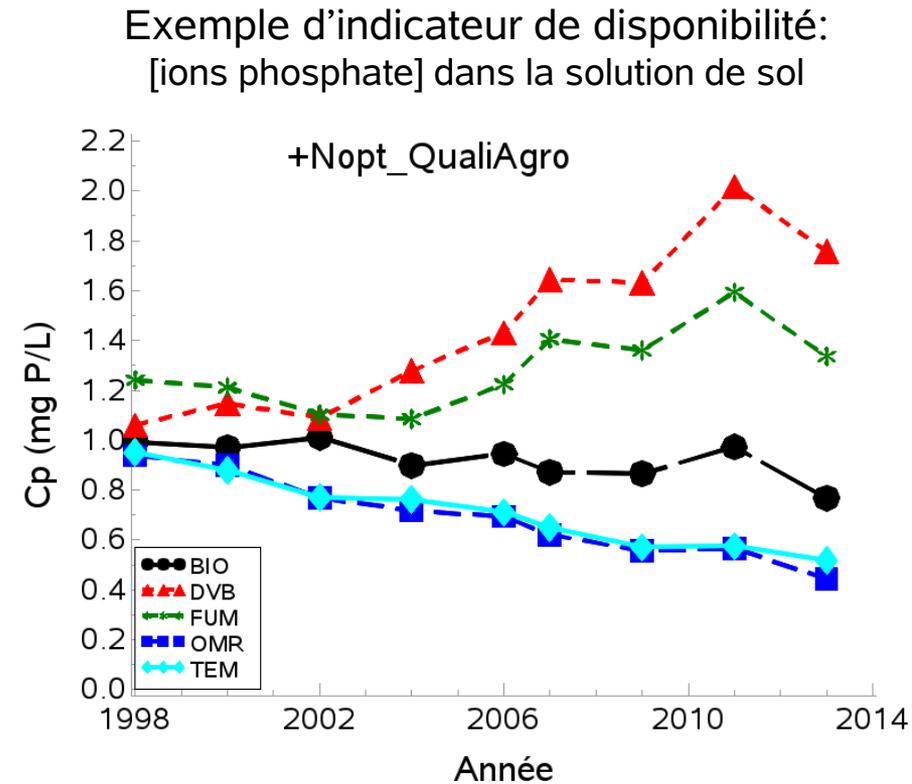
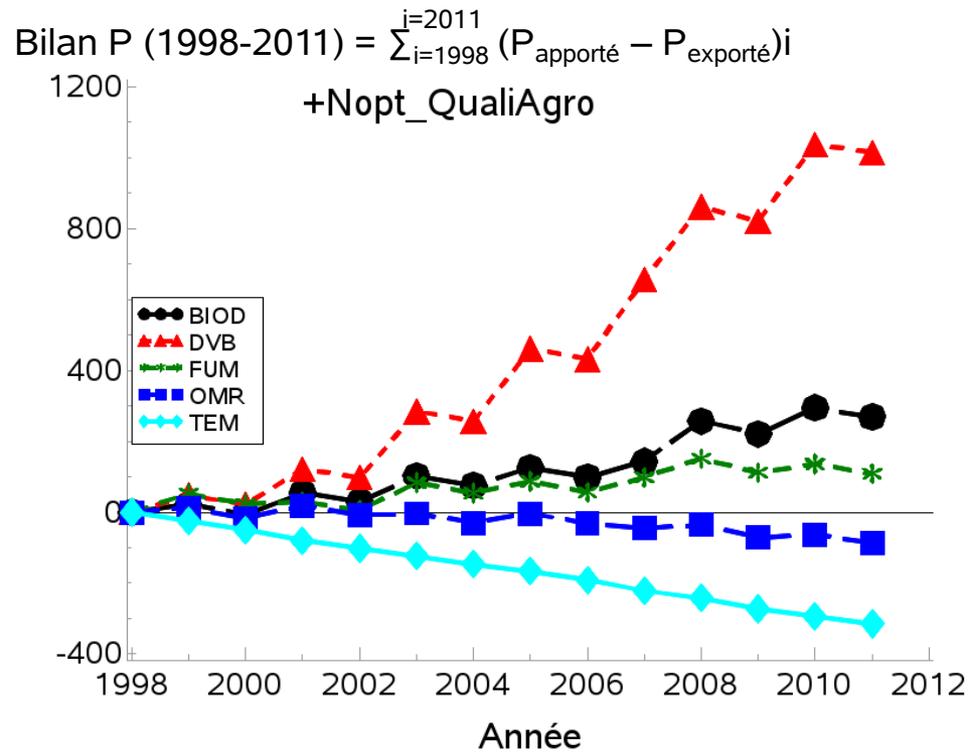
## Pour y répondre expérimentations au champ et en serre en combinant sols×MAFORs×plantes ?

- Effet à moyen et long termes (champ)
- Effet à court et moyen termes (bioessai en conditions contrôlées)

# Disponibilité à long terme du P des MAFOR. Principe

Expérimentation au champ à l'échelle de la décennie.

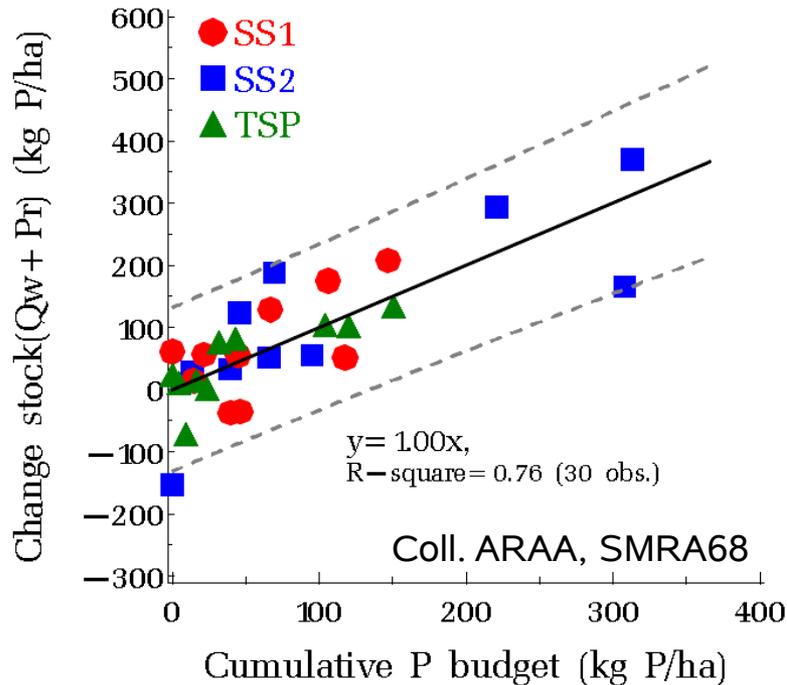
Suivi de la dynamique d'un indicateur de disponibilité P en fonction du bilan entrées-sorties de P pour différents MAFOR



(coll. Houot, Michaud et al.)

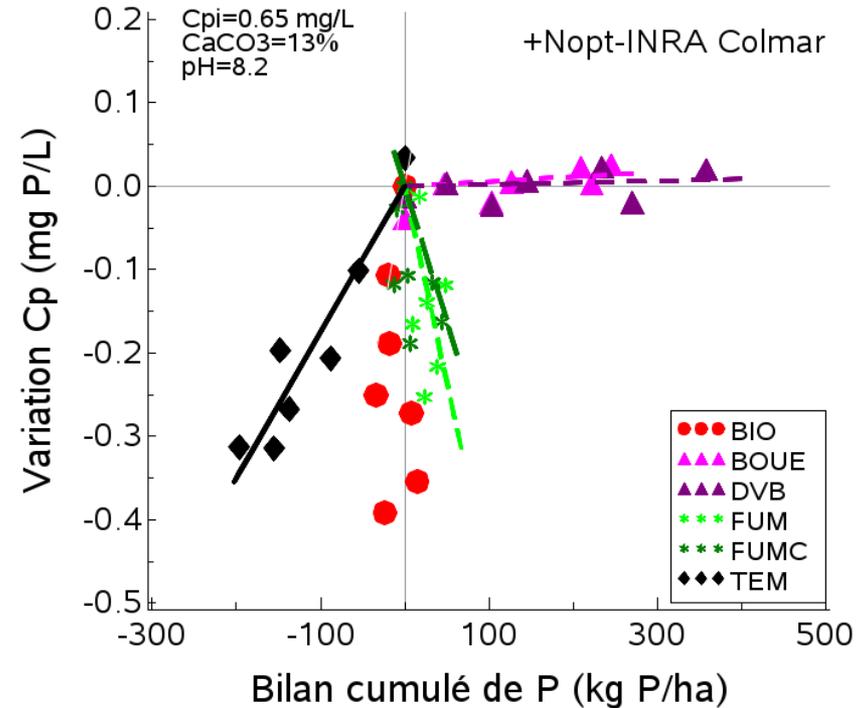
# Disponibilité à long terme du P des MAFOR: résultats

sol non carbonaté



**SS1** et **SS2** sont aussi efficaces que le **TSP** pour augmenter le stock de P du sol en sol neutre (et acides (Kvarnström et al. 2001))

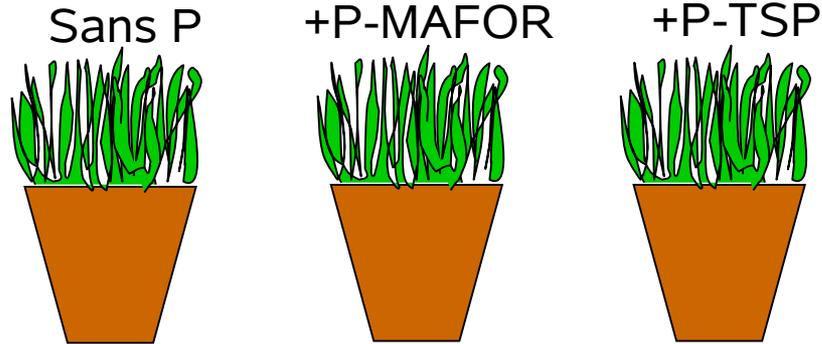
sol carbonaté



Dans sol carbonaté, P-MAFOR abaisse ou maintien la solubilité (et mobilité) du P du sol.

# Disponibilité à **court terme** du P des MAFOR. Principe et méthodes d'évaluation du P disponible et valeur fertilisante

études dans des pots de culture (de quelques mois à l'année)



$$VFP\% = \frac{\Delta P_{\text{prélevé}}(\text{MAFOR-Témoin})}{\Delta P_{\text{prélevé}}(\text{TSP-Témoin})} \times 100$$

Hypothèse: la quantité de P prélevé du sol est-elle invariante quel que soit le traitement ?

# Disponibilité à court terme du P des MAFOR

Dans la même étude

	sans marquage		avec marquage			
	Prélevé		Prélevé			Prélevé
Mohanty et al. 2006	total	VFPni%	apport	Pdff	VFPi%	sol
	mgP/pot	%	mgP/pot	%	%	mgP/pot
Control OP	37.4		0.0			37.4
Fumier de bovin	64.2	207%	14.3	22%	68%	49.9
Fumier de volaille	90.1	407%	12.6	14%	43%	77.5
TSP	50.4	100%	16.5	33%	100%	33.9

À la question « la quantité de P prélevé du sol est-elle invariante quel que soit le traitement ? ». La réponse est NON.

Conséquence: la VFP% d'une MAFOR donnée varie entre les études du fait du choix des conditions expérimentales.

Quels sont les déterminants de ces discordances?

# Disponibilité à **court terme** du P des MAFOR avec traçage isotopique: synthèse

## Une gamme de MAFORs étudiés très large

- ❑ Boues de stations d'épuration urbaine et procédés de traitement: *digestion, compostage, traitements physico-chimiques...* (Frossard et al. 1996; Guivarch et al. 2001)
- ❑ Effluents d'élevage : *fumiers, lisiers, fientes, litières, produits compostés seul ou en mélange* (Linères et Morel, 2004)
- ❑ Composts urbains: *déchets verts, biodéchets, ordures ménagères* (Linères et al. 2005; Sinaj et al. 2002)
- ❑ P extrait d'effluents par précipitation de struvite et/ou de phosphates calciques (Achat et al. 2014; Bonvin et al. 2015)
- ❑ Cendres (Nanzer et al. 2014; Sinaj et al. 2016)
- ❑ Digestats de méthanisation de matières 1ères agricoles et IAA (Morel et Julien, 2016)
- ❑ Biochars (Ngo et al. 2017)

P recyclé avec struvite ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ) 104%

95 (±8) Digestats d'origine agricole

Boues biologiques 94 (±12)

Boues physico-chimiques 88 (±8)

P recyclé d'effluent de fromagerie par précipitation microbienne 85

Boues compostées 73 (± 18)

Boues digérées 75 (± 30)

43 biochar-M800

100%

99 (± 8) Lisier porc/litière; 97 (± 5) boue LP

91 (± 8) P-struvite lisier porc

87 (± 15) fientes volailles; 86 (± 2) refus tamis. porc

84 Compost OM grises

76 (± 8) fumiers de bovins

74 biochar-B500; 72 biochar-M500

50%

54 Compost DV + FFOM

Cendres boues: de 5% à 80% suivant sol(pH)\*type de cendres

Hydroxyapatite ( $Ca_5(PO_4)_3OH \cdot 6H_2O$ ), 22% à pH=6.5

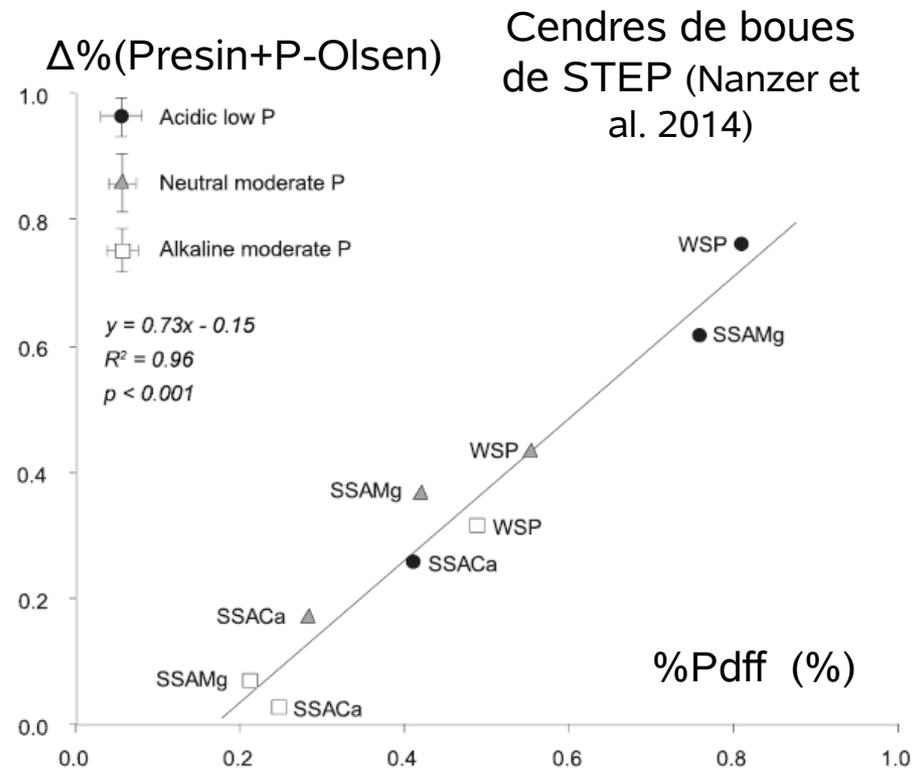
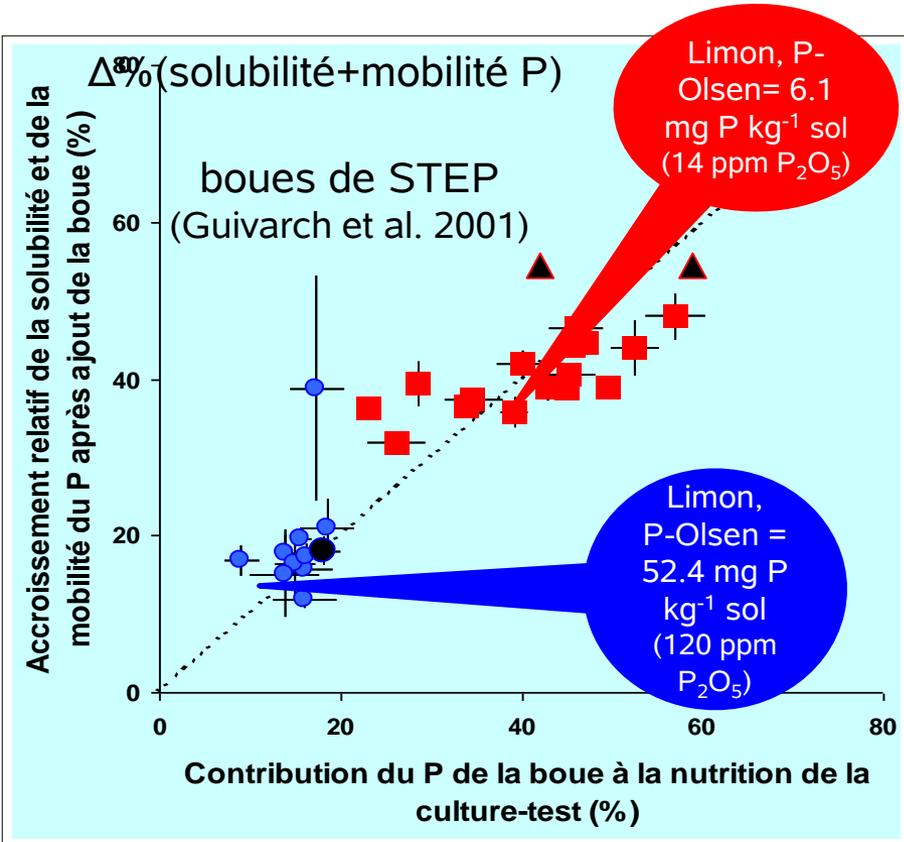
0%

Résultats obtenus lors de culture en pots pendant 3-4 mois avec traçage isotopique

Synthèse: référentiel de la VFP% court terme de différents MAFOR

# Comment déterminer facilement/rapidement la disponibilité du P-MAFOR (sans plante).

Passage plante (au champ/pots) ► sans-plante (au labo)



(et présence aussi de CaCO<sub>3</sub> dans les cendres (Sinaj et al. 2016))



## Conclusion

MAFOR=engrais complet (P, N, K etc) et C...

En général excellente valeur fertilisante P dans sols neutre et acides (disponibilité du P-MAFOR équivalente au P disponible du sol et substituable aux engrais minéraux solubles-eau).

ATTENTION. Comme pour les engrais minéraux, il y a une baisse d'efficacité si présence de formes de P peu solubles-eau dans la MAFOR en particulier en sols basiques. Mais peu d'études disponibles.

Un effort de recherche est nécessaire pour mieux comprendre et prévoir la libération et la disponibilité de P-MAFOR (et TSP) à court/moyen/long termes dans les sols carbonatés.

- Morel C, Michaud J 2017. Disponibilité du P de digestats de méthanisation en milieu rural et agricole (projet meth@+.com). Actes du 13<sup>èmes</sup> Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse, 8 et 9 novembre 2017, Nantes, France.
- Ngo P, Morel C, Benbrahim M, Naisse C, 2017. Le BIOCHAR et la dynamique du phosphore des sols – Une synthèse des expérimentations françaises. Actes du 13<sup>èmes</sup> Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse, 8 et 9 novembre 2017, Nantes, France.
- Andriamananjara A, Rabeharisoa L, Prud'homme L, Morel C 2016. Drivers of Plant-Availability of Phosphorus from Thermally Conditioned Sewage Sludge as Assessed by Isotopic Labeling. *Frontiers in Nutrition* Vol. 3, article 19, 1-11
- Akhtar M., Morel C., Montenach D., Hammel F., Ndiaye M., Houot S. 2016. Changes in plant-available soil phosphorus as affected by repeated applications of different organic products for twelve years. P.89. *In: Healthy soils for food security. 16<sup>th</sup> international congress of soil science. 15-17 march 2016. ARID Agricultural University Rawalpindi, Pakistan*
- Damar H., N. Ziadi, A. Mollier, S. Houot, G. Bodineau, R. Laverjon, V. Mercier, A. Michaud, J-N., Rampoal, E. Fournier, C. Morel, 2015. Impact of long-term application of urban composts on soil organic and inorganic phosphorus dynamics at soil interfaces for sustainable development. (ISMOM), 5-10 July, Montréal, Canada.
- Pellerin S, Morel C, Nesme T, Ringeval B 2014. Phosphorus in manure and other organic products: what limits proper recycling of this resource in agriculture? K301. *In: 4<sup>th</sup> Sustainable phosphorus summit. 1-3 septembre Montpellier, France.*
- Achat D, M Sperandio, D. Doreau, M. L. A-C Santellani, L. Prud'Homme, M. Akhtar, C Morel 2014. Plant-availability of phosphorus recycled from pig manures and dairy effluents as assessed by isotopic labeling techniques. *Geoderma*. 232-234, 24-33
- Achat DL, Daumer M-L, M Sperandio, A-C Santellani, C Morel 2014. Solubility and mobility of phosphorus recycled from dairy effluents and pig manures in incubated soils with different characteristics. *Nutrient cycling in agroecosystems* 99, 1-15
- Morel C, 2014. Fertiliser value of the recovered phosphate products. P.7. *Scope Newsletters* 101.
- Morel C, Schaub A, Valentin N, Houot S. 2013. Dynamics of plant-available phosphorus for 11 years in a French loamy soil amended with biological sewage sludge amended or not with lime. S4.02. *In: 15th International Conference RAMIRAN. Versailles, France, 3-5 June 2013.*
- Linères M, A Manga, C Morel, 2005. Plant availability of phosphorus from pig waste. pp. 75-76. International workshop on green pork production: "Porcherie verte", a research initiative on environment-friendly pig production (May 25-27, 2005). Paris, France
- Kvarnström E., C. Morel, T. Krogstad, 2004. Plant-availability of phosphorus in filter substrates derived from small-scale wastewater treatment systems. *Ecological Engineering*, 22: 1-15.
- Linères M. and C. Morel, 2004. Fertilizing value of phosphorus from urban and agricultural organic waste. *In: Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety. In: International Conference RAMIRAN. 1-6 october 2004 MURCIA (SPAIN)*
- Morel C., M. Linères, A. Guivarch, E. Kvarnström, V. Parnaudeau, B. Nicolardot, J-L Morel, 2003. Phytodisponibilité et valeur fertilisante du phosphore de déchets urbains. pp. 35-44. Tercé M. (dir.), Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels. Les Dossiers de l'environnement de l'INRA, 25, Paris, 154p

Merci de votre attention



**A télécharger**

VALORISATION DES MATIÈRES FERTILISANTES D'ORIGINE RÉSIDUAIRE SUR LES SOLS À USAGE AGRICOLE OU FORESTIER

IMPACTS AGRONOMIQUES, ENVIRONNEMENTAUX, SOCIO-ECONOMIQUES

SYNTHÈSE DE L'EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE - OCTOBRE 2014

INRA SCIENCE & IMPACT  
Membre fondateur de agreenium

cnrs

irstea

Matère à débattre et à tester

**Recyclage de déchets organiques en agriculture**

Effets agronomiques et environnementaux de leur épandage

S. Houot, M.-N. Pons, M. Pradel, A. Tibi, coord.

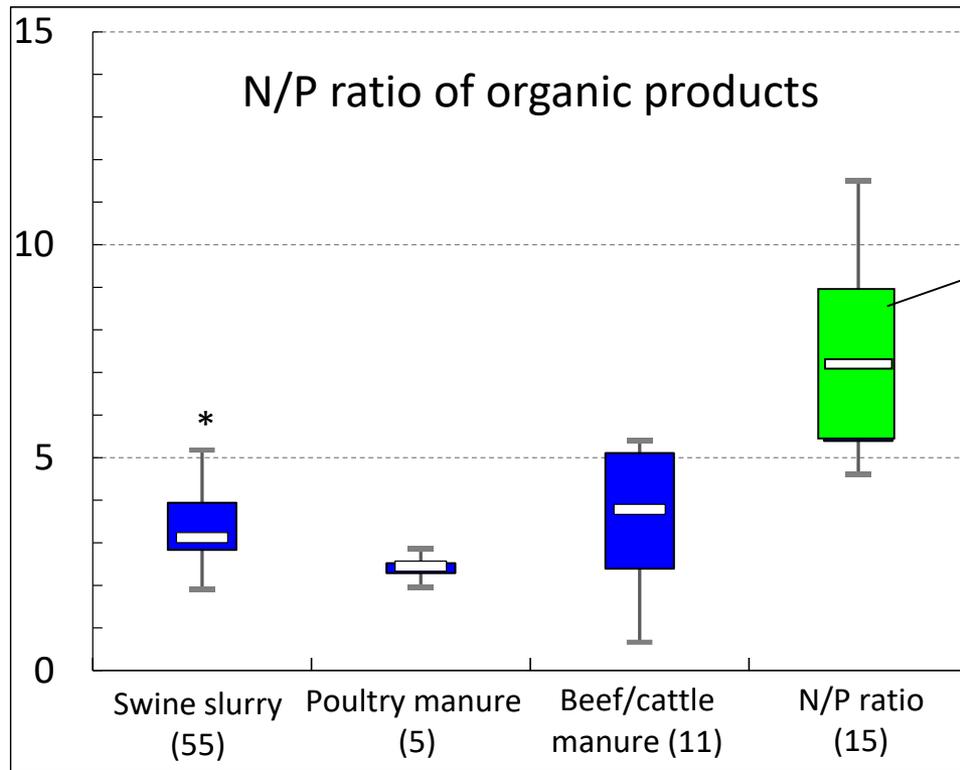
Quæ éditions

<http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Expertise-Mafor-effluents-boues-et-dechets-organiques>



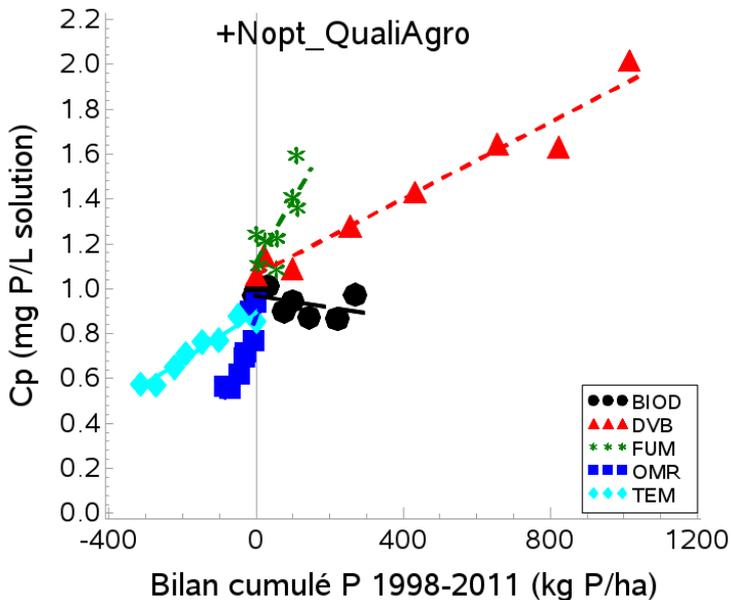
# MAFOR = engrais complet, **MAIS**

Les MAFOR ont un rapport N/P faible par rapport N/P-récolte. Si MAFOR épandues sur une base azote, elles conduisent à une accumulation de P dans le sol



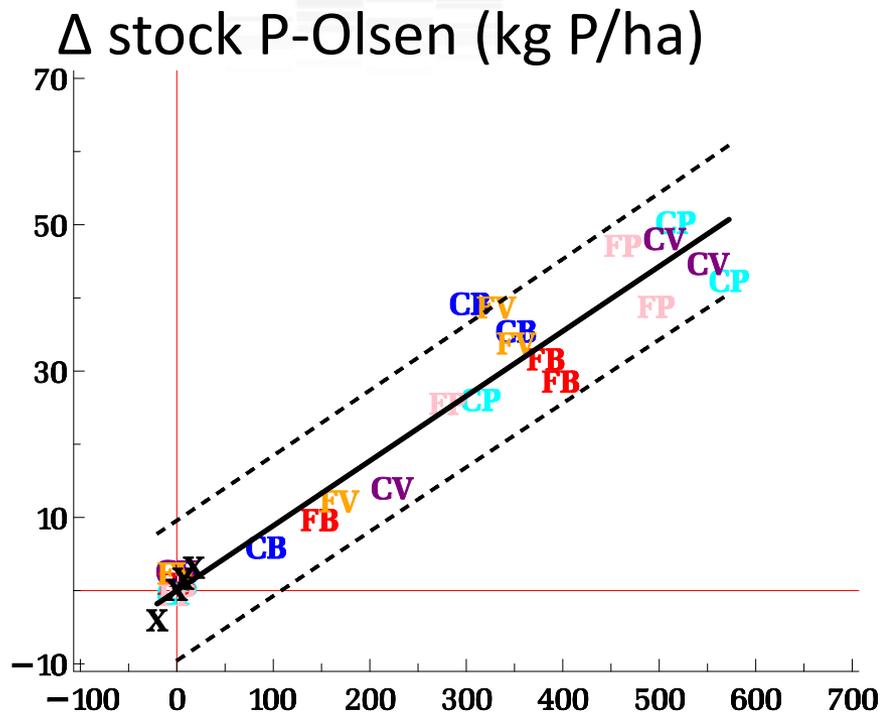
N/P ratio des récoltes (15 espèces de grandes cultures et de fourrages)  
Source: comifer

Propriétés du sol qui interviennent dans le transfert des ions orthophosphate à l'interface solide-solution, l'équilibre solide/solution. (texture invariante)



+N_QualiAgro (Feucherolles, 78)	Corg	pH-eau	CEC	Ca-éch
<b>2011</b> (après 13 années)	g/kg		cmol+/kg	cmol+/kg
<b>Témoin (0P)</b>	<u>10.4</u>	<u>6.7</u>	<u>8.4</u>	<u>8.3</u>
<b>Fumier</b>	14.4	7.3	10.2	9.0
<b>DVB</b>	<u>15.6</u>	6.9	10.1	9.6
<b>Biodéchets</b>	15.2	<u>7.8</u>	<u>11.3</u>	<u>11.0</u>
<b>OMR</b>	12.8	7.5	9.9	9.9

# FUMIERS ET COMPOSTS DE FUMIERS DE BOVINS, PORCS ET VOLAILLES



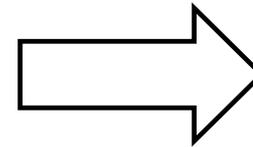
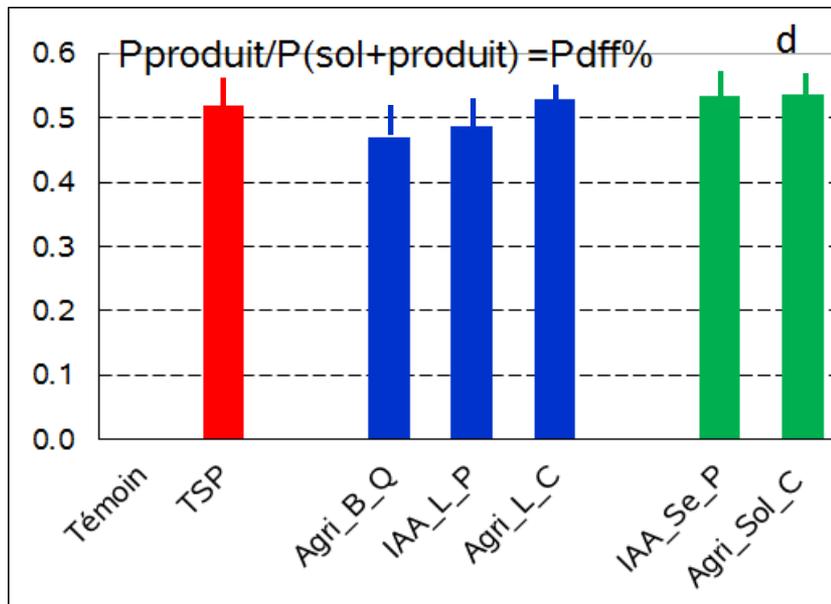
- Superphosphate (X)
- Fumier de bovins (FB)
- Fumier de porcs (FP)
- Fumier de volailles (FV)
- Compost de fumier de bovins (CB)
- Compost de fumier de porcs (CP)
- Compost de fumier de volailles (CV)

Essai La Jaillière (Coll. Bodet, Bouthier)

# Disponibilité à court terme du P des MAFOR.

Culture en pots pendant 3-4 mois avec traçage isotopique

Exemple: digestats de méthanisation issus de matières 1ères agricoles (IAA)  
(casdar [méth@+.com](http://méth@+.com), 2016, coll. J. Michaud CA-Dordogne)



Traitement	VFP-Pdff %Pdff-TSP
TSP	100%
Agri_B_Q	91%
IAA_L_P	94%
Agri_L_C	102%
IAA_Se_P	103%
Agri_Sol_C	104%
<b>Moyenne</b>	<b>99%</b>

La VFP des digestats est équivalente à celle du TSP soit 100%

