

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,...)

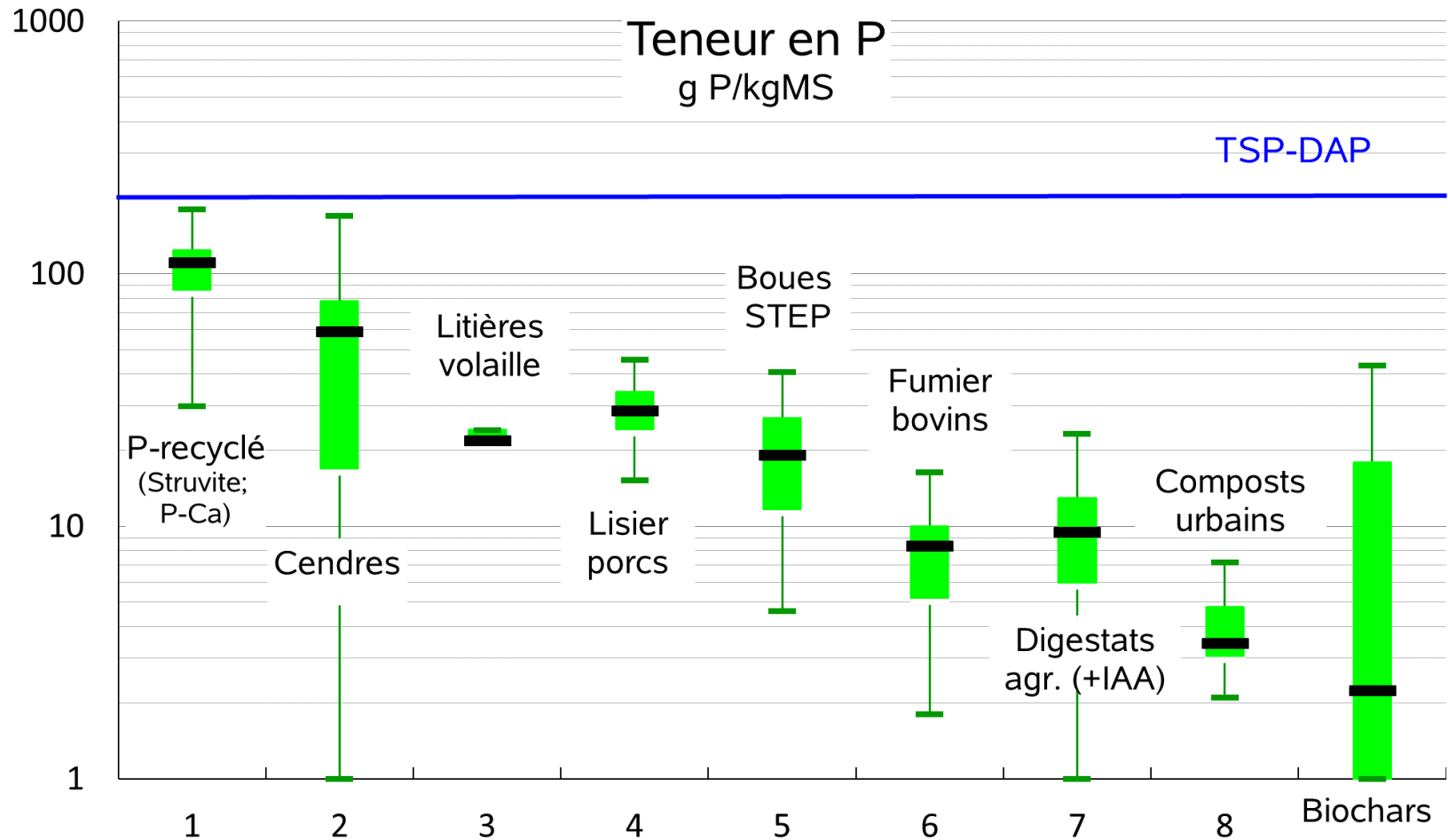
Valorisation des MAFOR en agriculture est justifiée par

- 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:

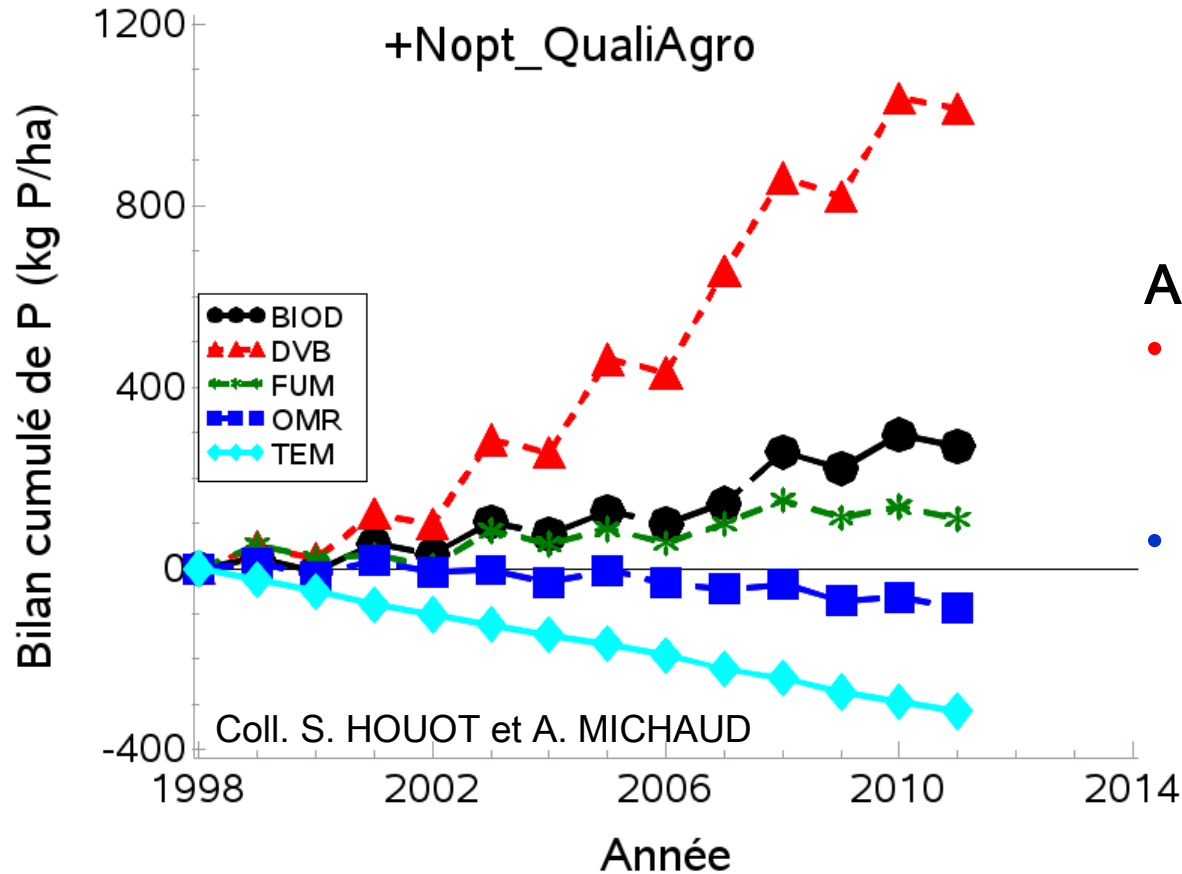
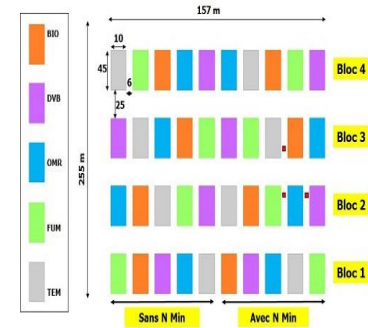
- ✓ Inocuité (contaminants)
- ✓ Acceptabilité
- ✓ Facilité d'usage

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.



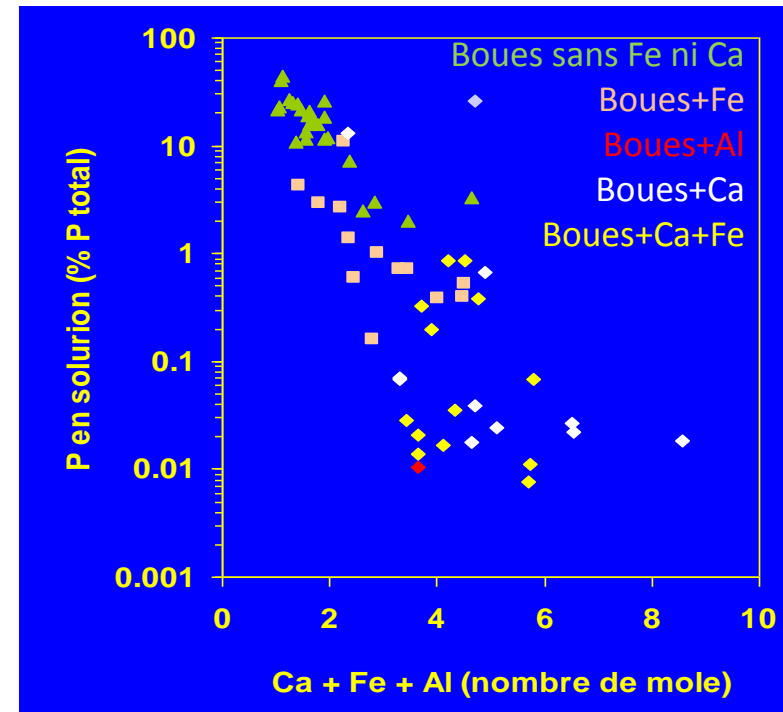
Après 13 années (+4T C/2ans)

- 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 ⁻¹	g kg ⁻¹	%
FUM	5.5	1.9	36%
DVB	13.0	2.2	16%
OMR	3.5	0.3	9%
BIOD	4.8	0.3	7%



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 ?

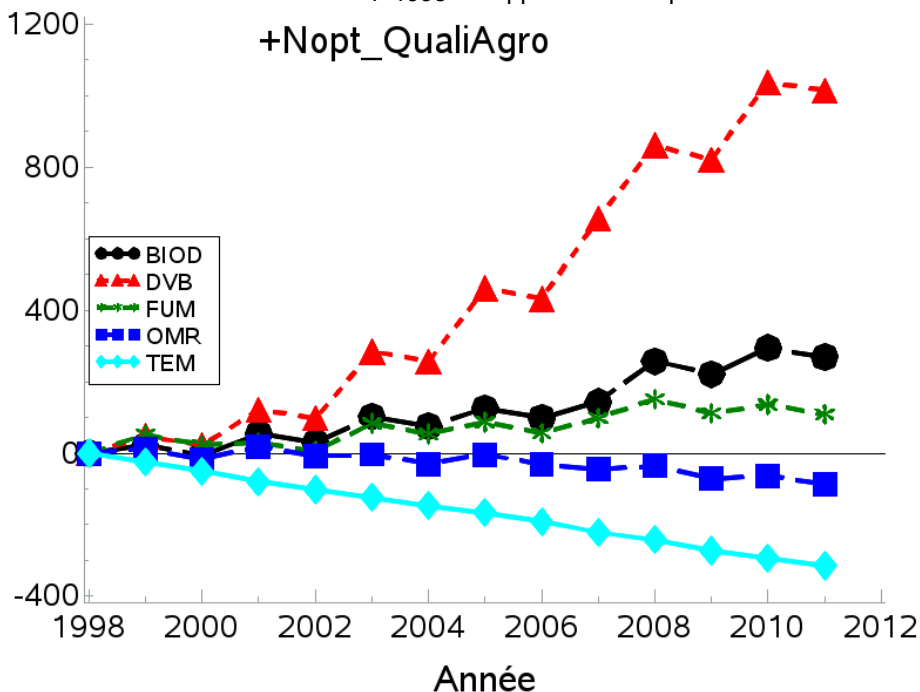
- Effet à moyen et long termes (champ)
- Effet à court et moyen termes (bioessai en conditions contrôlées)

Disponibilité à long terme du P des MAFOR. Principe

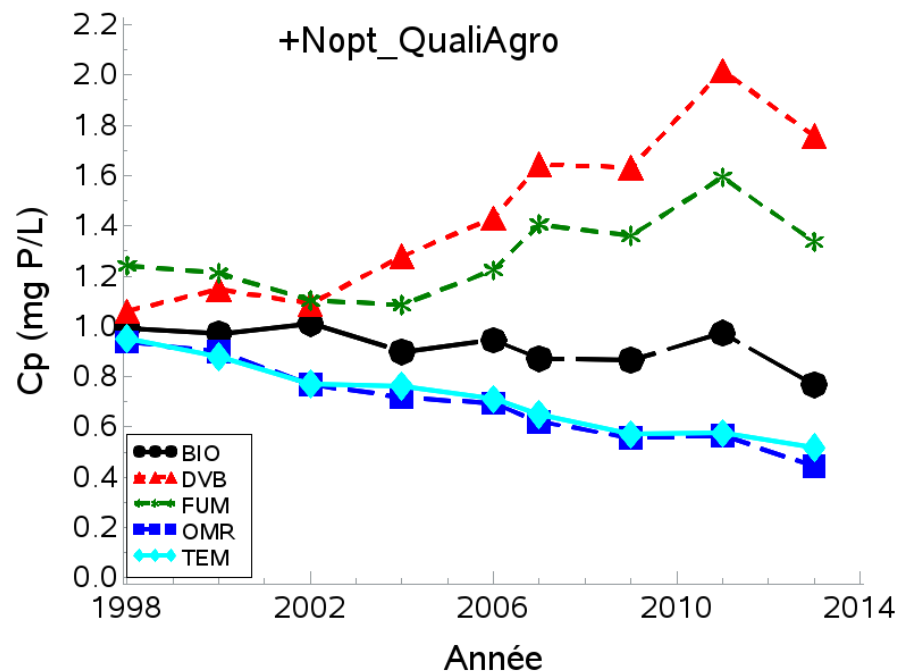
Expérimentation au champ à l'échelle de la décennie.

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

$$\text{Bilan P (1998-2011)} = \sum_{i=1998}^{i=2011} (P_{\text{apporté}} - P_{\text{exporté}})_i$$



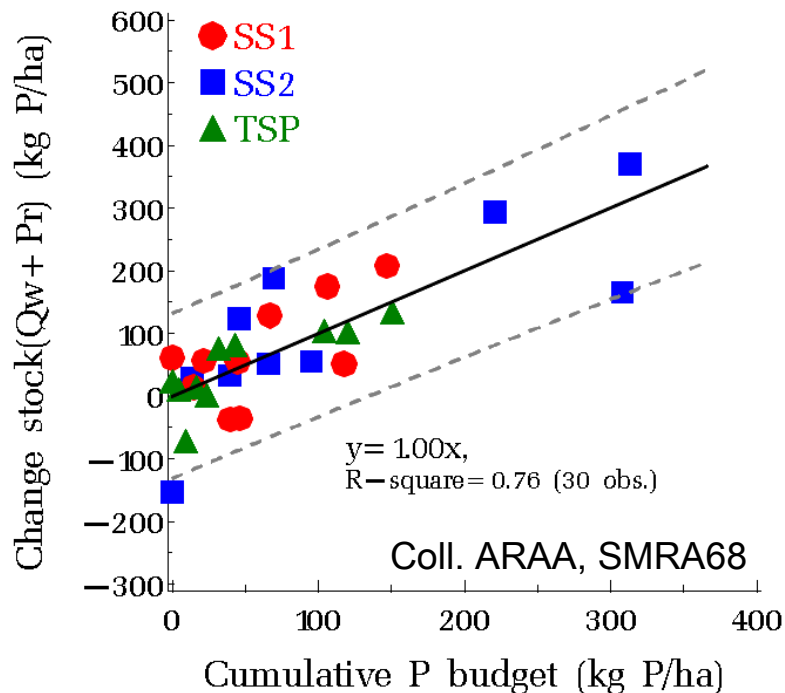
Exemple d'indicateur de disponibilité:
[ions phosphate] dans la solution de sol



(coll. Houot, Michaud et al.)

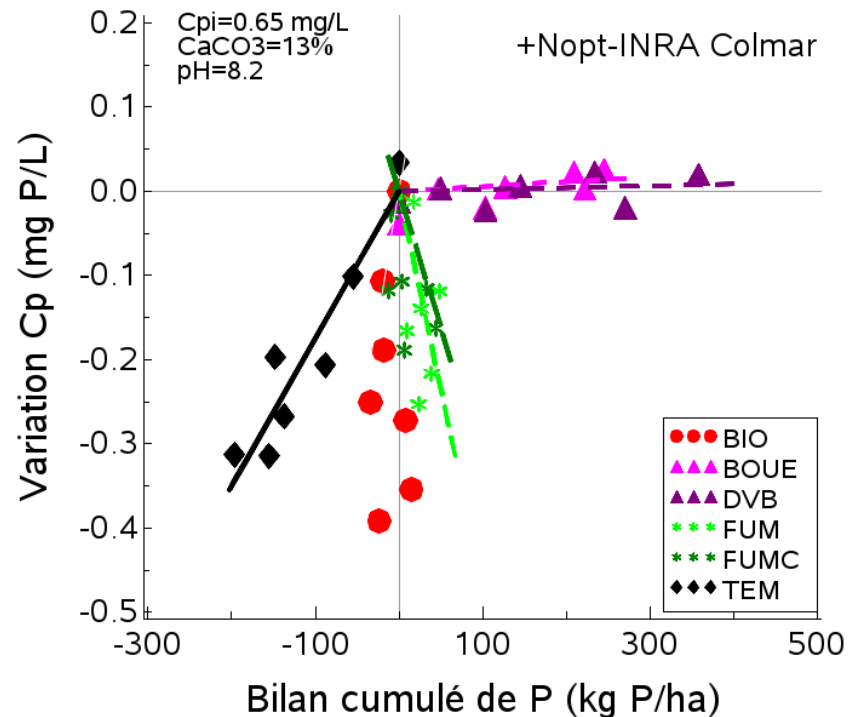
Disponibilité à long terme du P des MAFOR: résultats

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

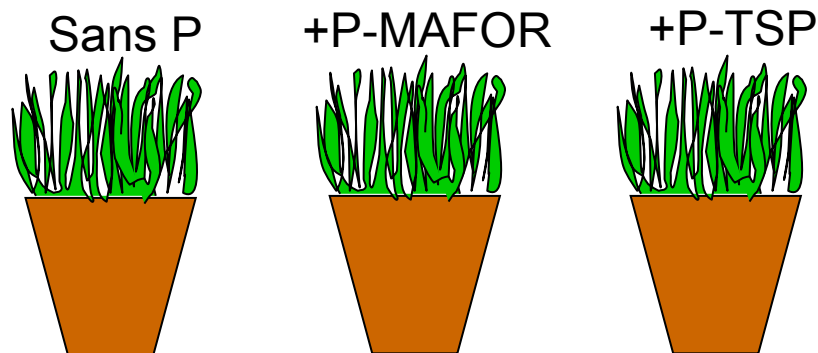


Coll. D. Montenach, INRA-Colmar

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.

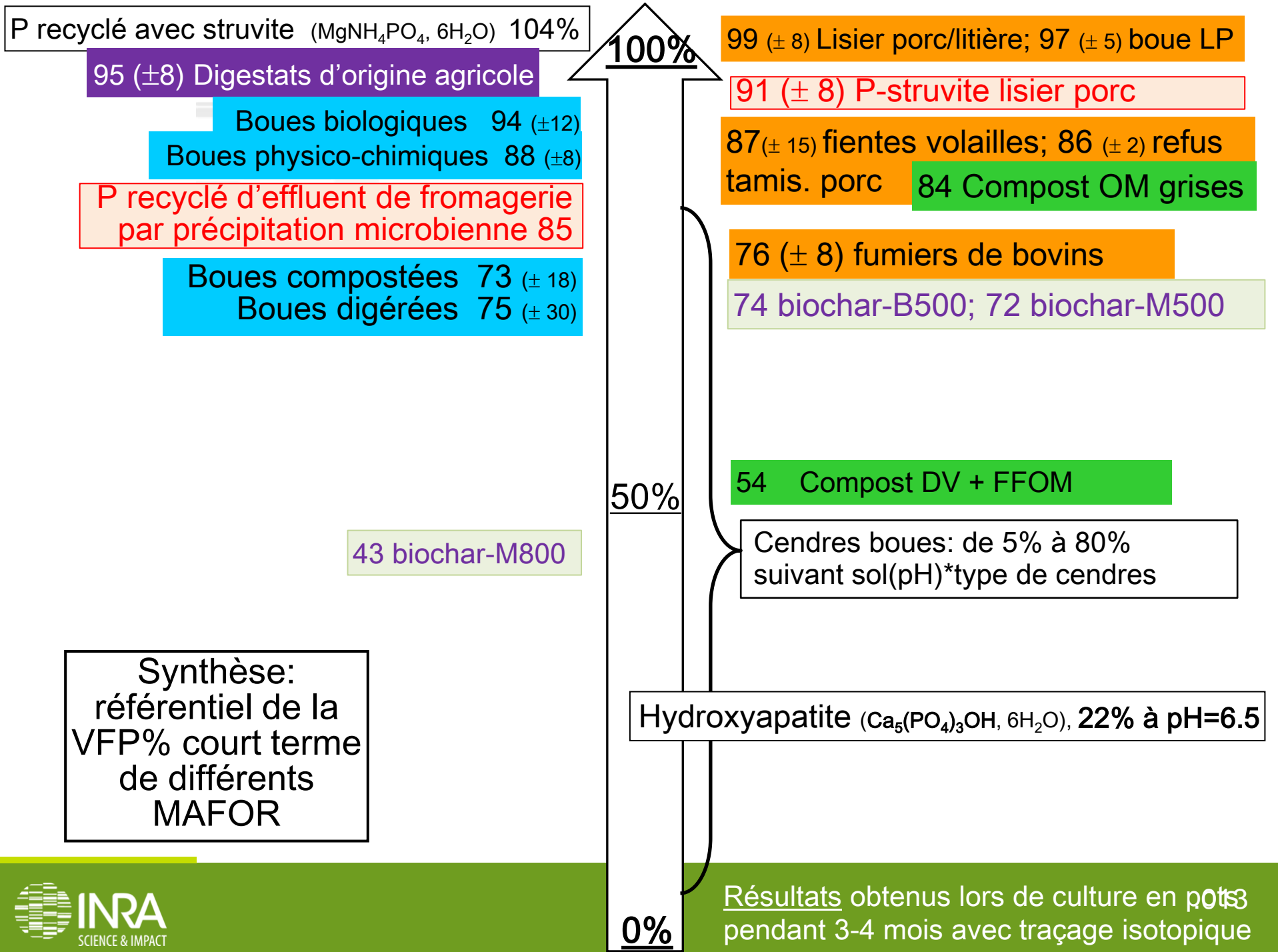
Conséquence: la VFP% d'une MAFOR donnée varie entre les études du fait du choix des conditions expérimentales.

Quels sont les déterminants de ces discordances?

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

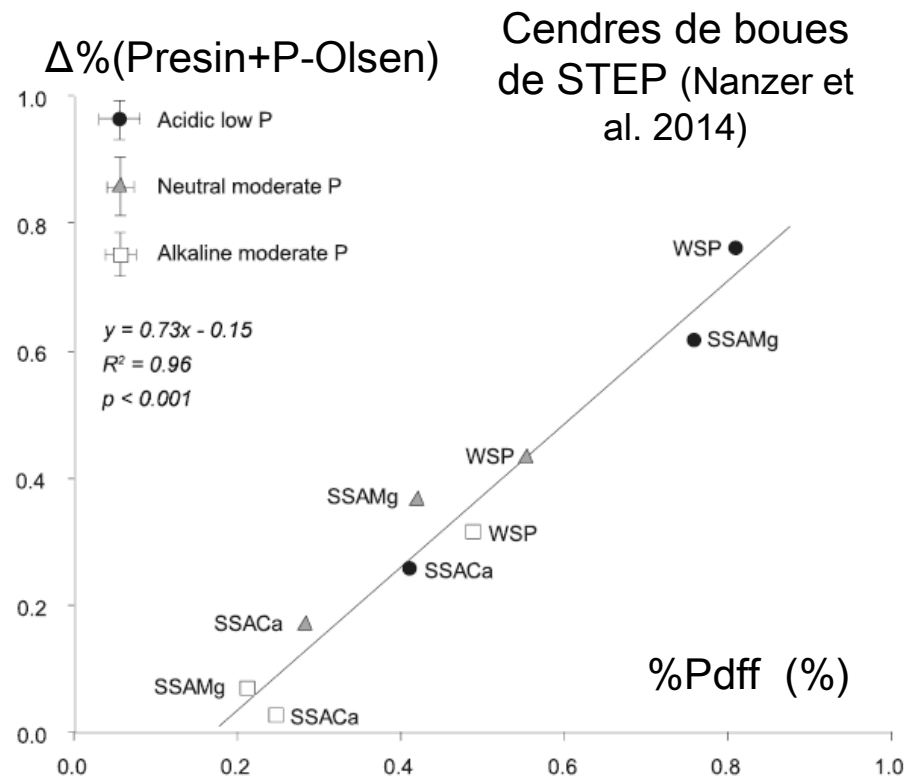
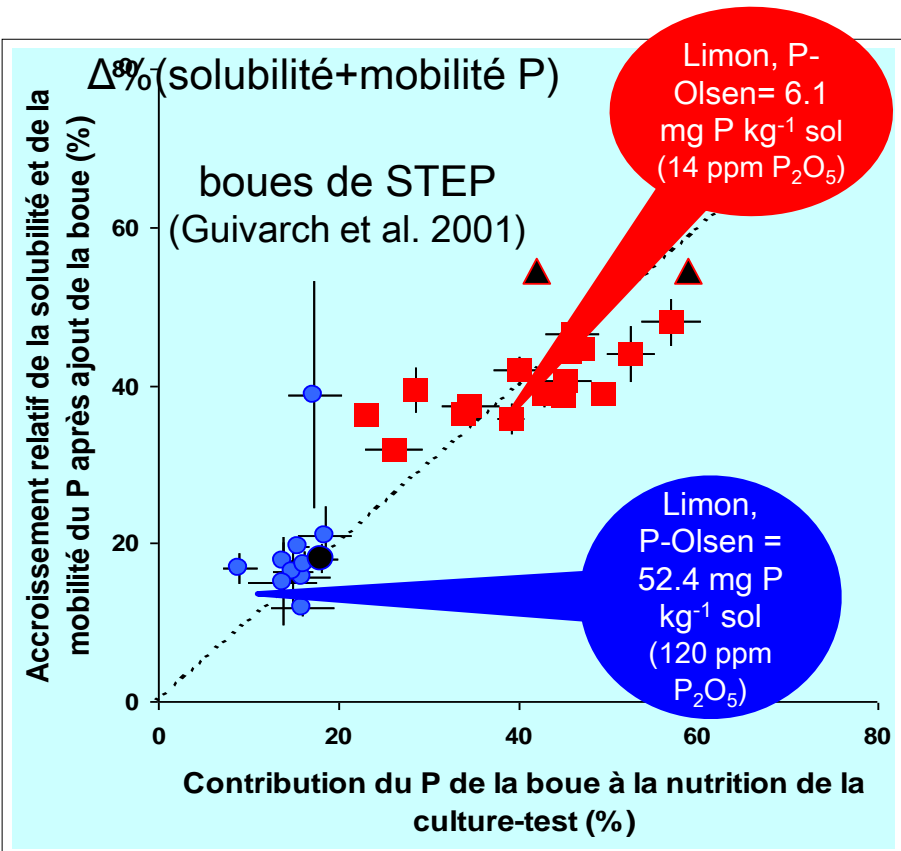
Une gamme de MAFORs étudiés très large

- ❑ 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 premières agricoles et IAA (Morel et Julien, 2016)
- ❑ Biochars (Ngo et al. 2017)



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

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



(et présence aussi de CaCO₃ 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 terme 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^{èmes} 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^{èmes} 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. 16th 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. Lauerjion, V. Mercier, A. Michaud, J-N., Rampon, F. Frenin, 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? K307 *In: 4th Sustainable phosphorus summit. 1-3 septembre Montpellier, France.*
- Achat D, M Sperandio, D. Doreau, 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








Matère
à débattre et à décider

Recyclage de déchets organiques en agriculture
Effets agronomiques et environnementaux de leur épandage

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



éditions **Quæ**

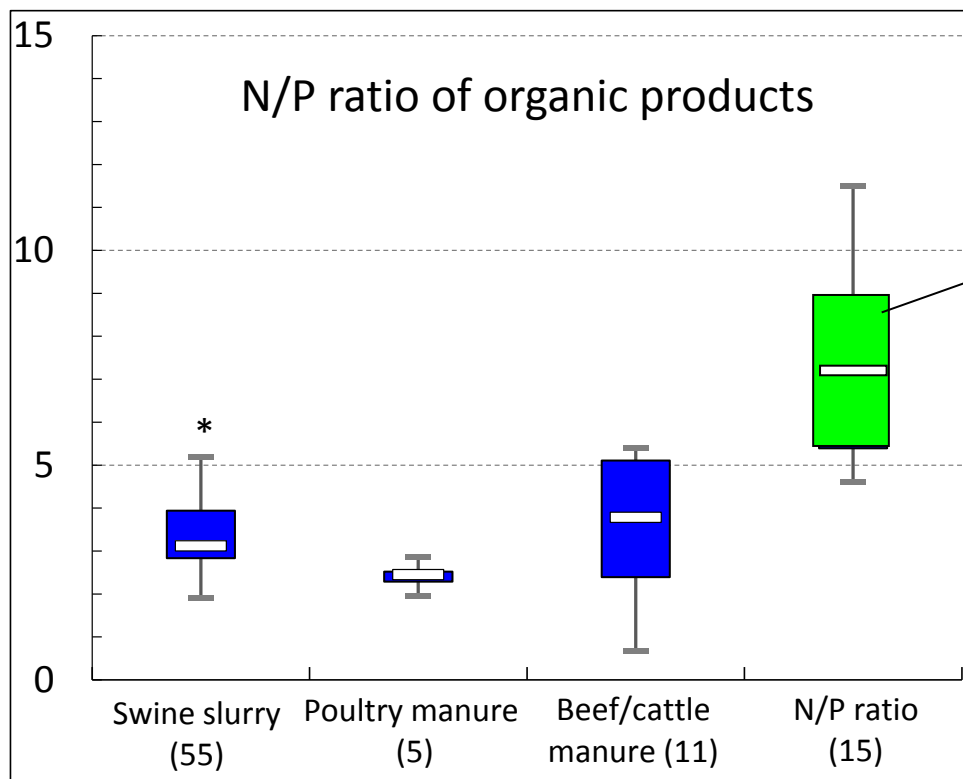
<http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Expertise-Mafor-effluents-boues-et-dechets-organiques>





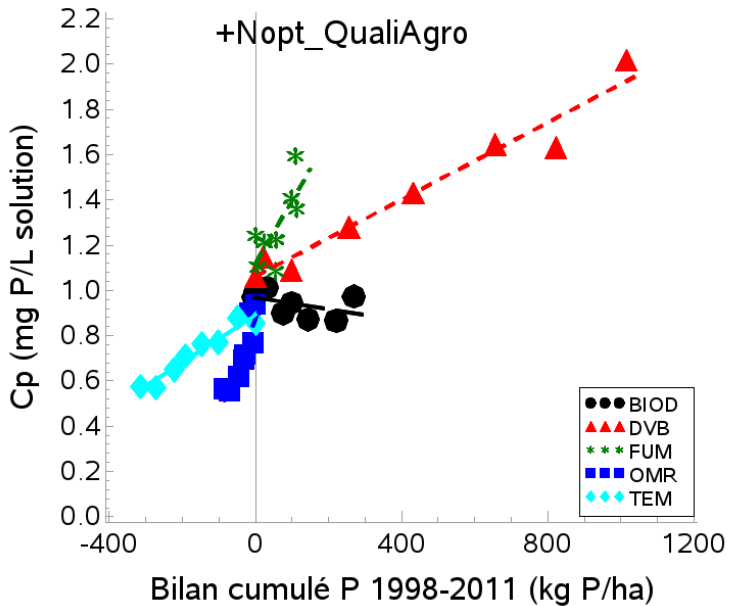
MAFOR = engrais complet, **MAIS**

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



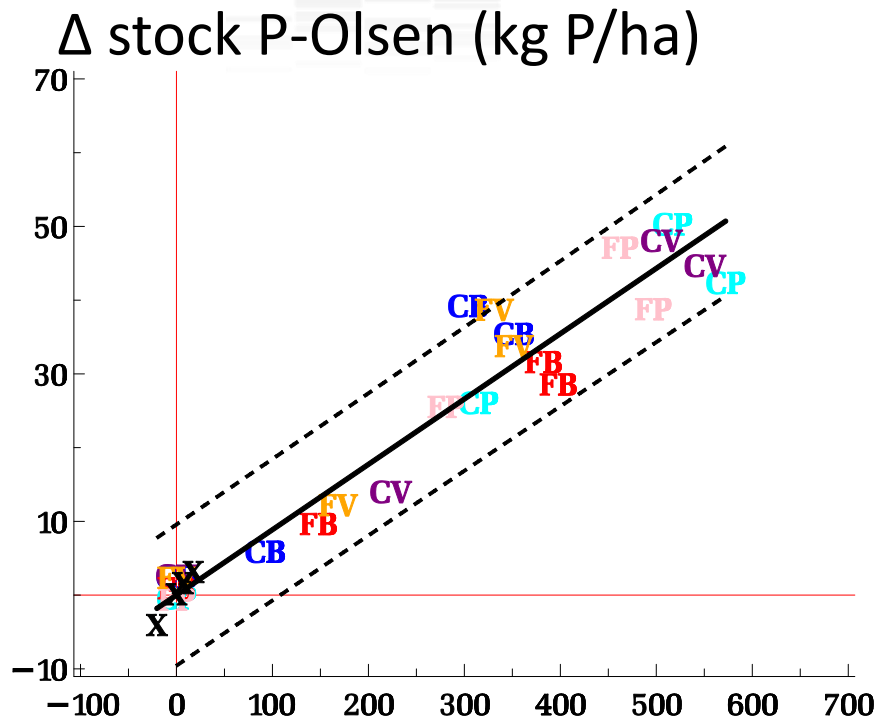
N/P ratio des récoltes (15 espèces de grandes cultures et de fourrages)
Source: comifer

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
2011 (après 13 années)	g/kg		cmol+/kg	cmol+/kg
Témoin (0P)	<u>10.4</u>	<u>6.7</u>	<u>8.4</u>	<u>8.3</u>
Fumier	14.4	7.3	10.2	9.0
DVB	<u>15.6</u>	6.9	10.1	9.6
Biodéchets	15.2	<u>7.8</u>	<u>11.3</u>	<u>11.0</u>
OMR	12.8	7.5	9.9	9.9

FUMIERS ET COMPOSTS DE FUMIERS DE BOVINS, PORCS ET VOLAILLES



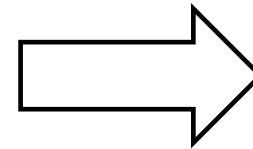
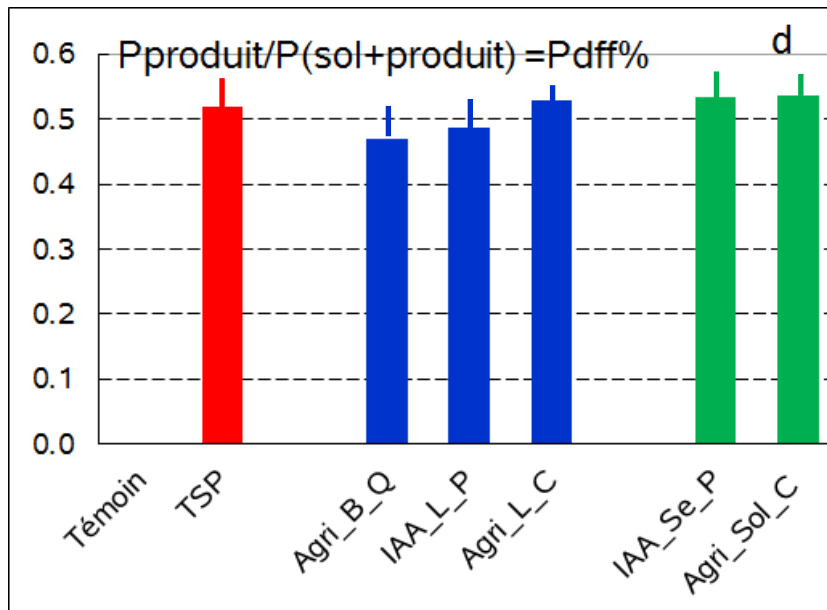
- Superphosphate (X)
- Fumier de bovins (FB)
- Fumier de porcins (FP)
- Fumier de volailles (FV)
- Compost de fumier de bovins (CB)
- Compost de fumier de porcins (CP)
- Compost de fumier de volailles (CV)

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, 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%
Moyenne	99%

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

