



La fertilité des sols dans les systèmes fourragers

Journées AFPF (8 - 9 avril 2015 – Paris)

Flux de phosphore associés à l'élevage et conséquences sur la fertilité phosphatée des sols

Sylvain Pellerin et Thomas Nesme

UMR 1391 "Interactions Sol-Plante-Atmosphère"
INRA-Bordeaux Science Agro

Plan

- ✓ Trois points de vue sur le Phosphore (P)
- ✓ L'importance de l'élevage dans le cycle du P
- ✓ Quels freins à la valorisation des effluents d'élevage pour la fertilisation phosphatée des cultures?
- ✓ Quelles pistes d'amélioration?

Le Phosphore: un élément nutritif indispensable aux plantes et aux animaux, non substituable,...

- rôle structural et physiologique (ADN/ARN, phospholipides, ATP/ADP, phosphate de calcium, etc.)
- Chez les plantes, le P est prélevé dans la solution de sol par les racines. Accumulation dans les graines (phytates). La biodisponibilité du P des sols est limitée par ses fortes interactions avec la phase solide
- Chez les animaux le P est apporté par l'alimentation. Digestibilité limitée. Fraction importante excrétée via les fèces

High P (P4)



Low P (P0)

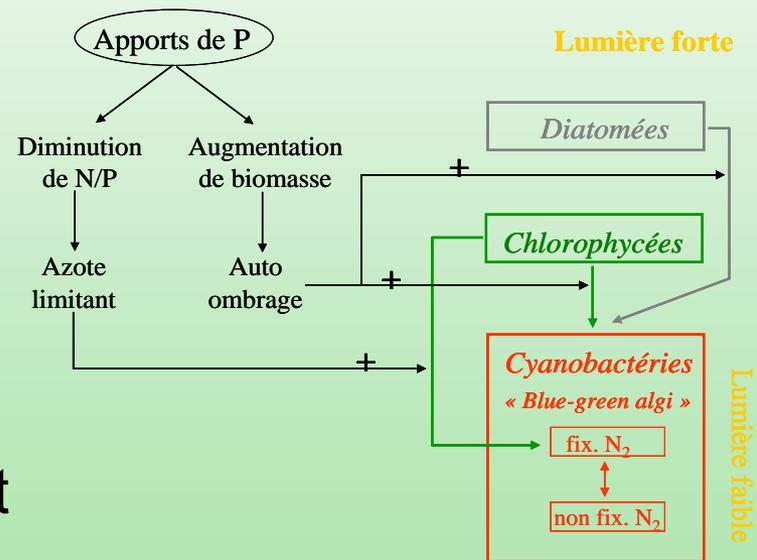


Le Phosphore: un élément déclencheur de l'eutrophisation des eaux continentales

- ▶ augmentation de la production primaire. Bloom algaux
- ▶ auto-accélération du processus du fait de cyanobactéries fixatrices de N
- ▶ accumulation de déchets organiques insuffisamment recyclés
- ▶ déficit d'oxygénation des eaux profondes
- ▶ baisse de la qualité des eaux, réduction de la valeur d'usage, perte de biodiversité

Le transfert de P des sols vers les eaux se fait surtout par entrainement particulaire (érosion)

L'origine du P des eaux n'est pas exclusivement agricole



Le Phosphore: une ressource non renouvelable

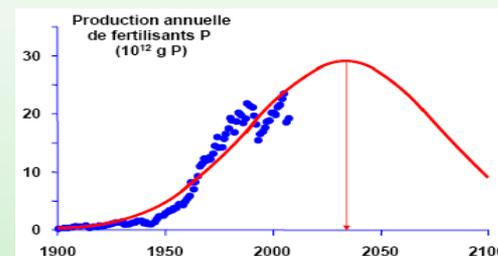
- ▶ 23 Mt P extraites par an
- ▶ 82% utilisées pour la fabrication d'engrais phosphatés

...dont la raréfaction constitue à terme une menace pour la sécurité alimentaire mondiale

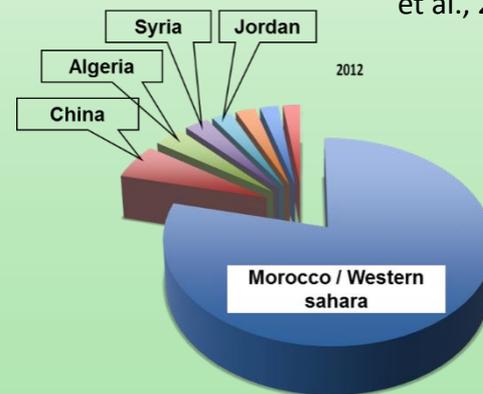
(même s'il existe des controverses sur la durée de vie des réserves: 1 à 3 siècles selon les auteurs)

...qui pourrait devenir un enjeu géo-politique (réserves détenues par quelques pays)

Phosphorus production
(10^{12} g P per year)



(Cordell D et al., 2009)



The global Phosphate rock reserves
(USGS Mineral Commodity Survey 2013)

Effort du système de R&D depuis les années 70 ont permis

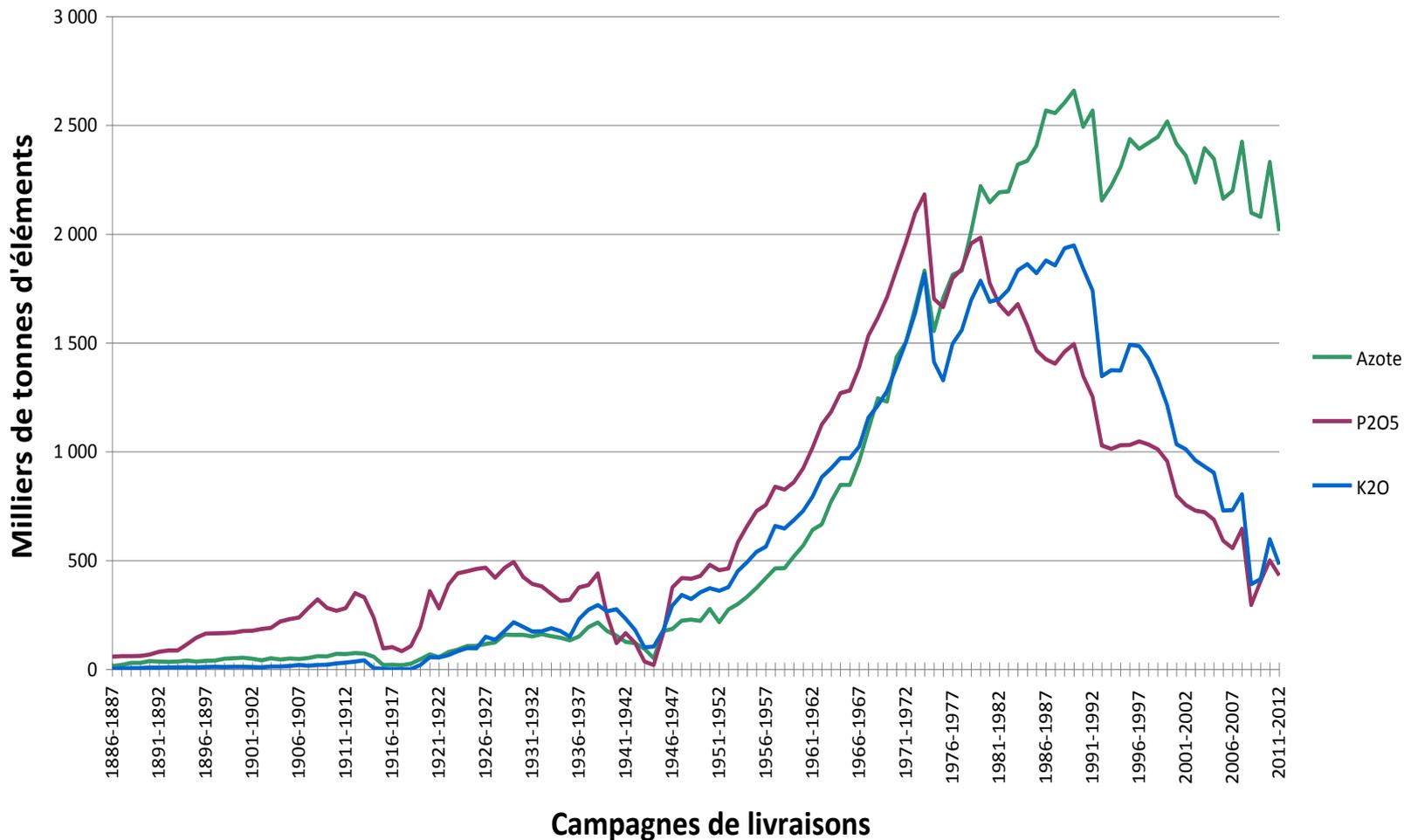
Une réduction des apports de fertilisants minéraux (fertilisation raisonnée)

Une réduction des apports de P dans les rations animales, et donc des rejets

Livraisons d'engrais en France

Unité : Milliers de tonnes d'éléments

Source : UNIFA



Estimation des rejets de P chez les porcs du sevrage à l'abattage suivant différentes stratégies d'apports alimentaires de P (d'après MESCHY *et al.*, 2008).

Stratégie d'apport alimentaire de P :

A : P total (INRA, 1989), 1 phase

B : P digestible (JONDREVILLE et DOURMAD, 2005), 1 phase

C : P digestible (JONDREVILLE et DOURMAD, 2005), 2 phases

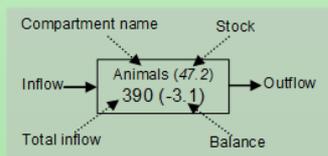
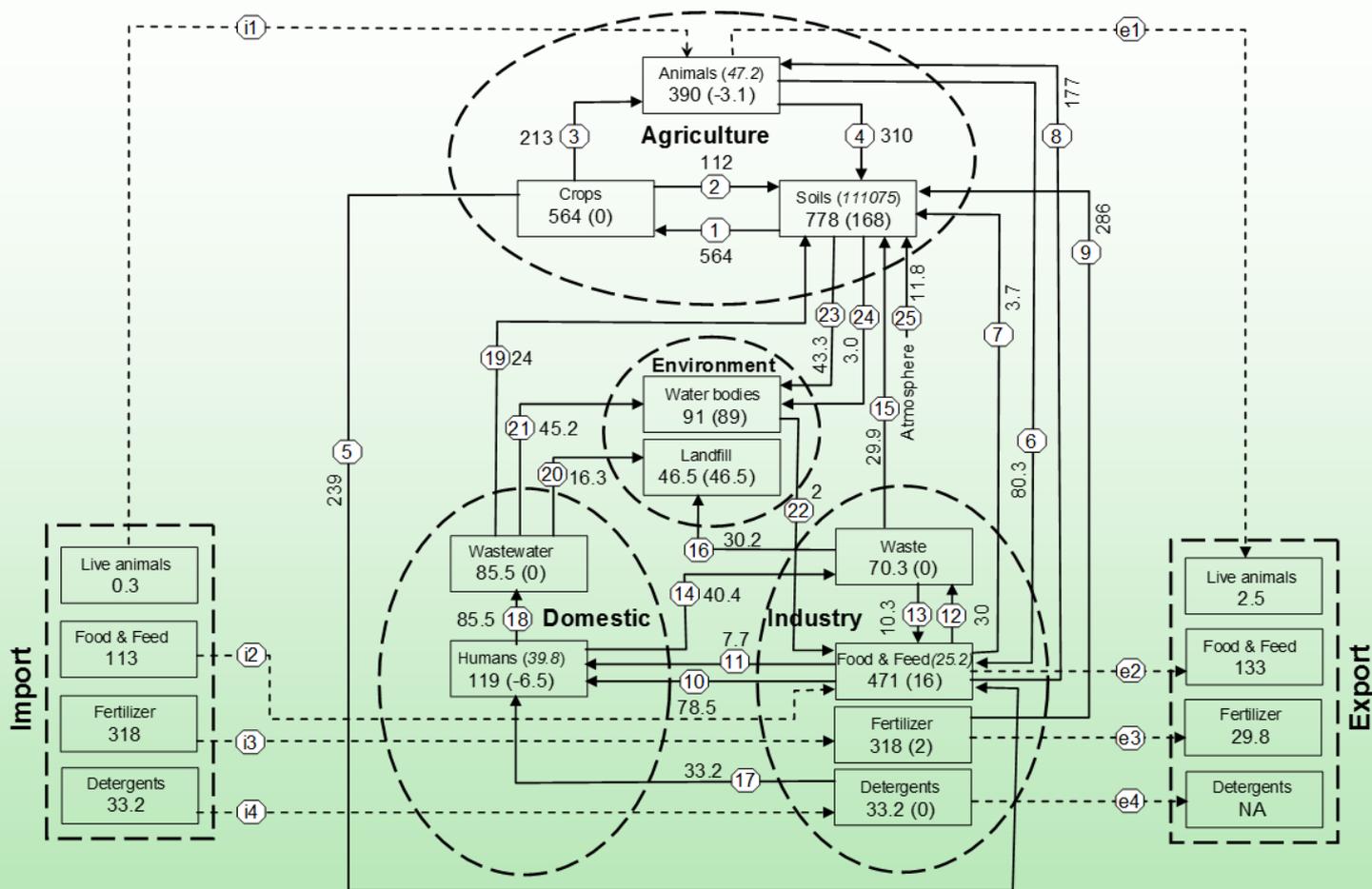
D : CORPEN (2003), 2 phases

E : P digestible (JONDREVILLE et DOURMAD, 2005), 2 phases, Phytase.

	A	B	C	D	E
Apports P (g/kg aliment)					
- Porcelet 1 ^{er} âge	10,4	6,6	6,6	6,8	6,1
- Porcelet 2 ^{ème} âge	10,4	6,6	6,3	5,8	5,8
- Croissance	6,5	4,9	4,9	4,8	4,3
- Finition	6,5	4,9	4,3	4,4	3,7
P ingéré (kg/porc)	1,91	1,38	1,28	1,28	1,12
P retenu (kg/porc)	0,518	0,518	0,518	0,518	0,518
Bilan P (kg/porc)	1,39	0,859	0,764	0,758	0,601
Retenu / ingéré	0,27	0,38	0,40	0,41	0,46

L'importance de l'élevage dans le cycle du P

Stocks et flux de P à l'échelle de la France (kt P an⁻¹; moyenne 2002-2006)



- | | | | | |
|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|
| ① Crop uptake | ⑥ Animal products | ⑪ Processed goods | ⑬ Landfilled waste | ⑲ Treated wastewater |
| ② Crop residue | ⑦ Seed | ⑫ Processing waste | ⑭ Detergents | ⑳ Seafood |
| ③ Fodder | ⑧ Feed | ⑬ Reused waste | ⑮ Wastewater | ㉑ Runoff & erosion |
| ④ Animal excretion | ⑨ Fertilizer use | ⑭ Municipal waste | ⑯ Composted sludge | ㉒ Leaching |
| ⑤ Crop products | ⑩ Processed food | ⑮ Composted waste | ⑰ Incinerated sludge | ㉓ Atmospheric deposition |

Elevage

Flux de P « entrant »

390 kt P an⁻¹ (213 fourrages, 177 aliments transformés)

Flux de P « sortant »

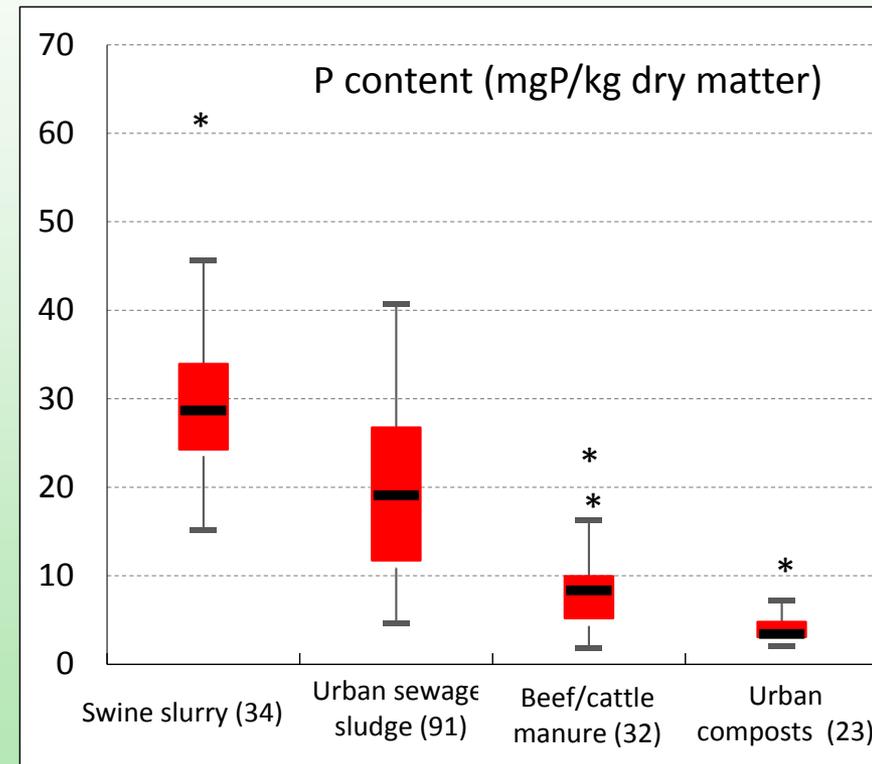
80 kt P an⁻¹ produits animaux (carcasses, lait, œufs)
310 kt P an⁻¹ effluents

Efficiencie de conversion de l'ordre de 20%

➤ La valorisation des effluents est un enjeu majeur pour la gestion durable du cycle du P

P dans les effluents

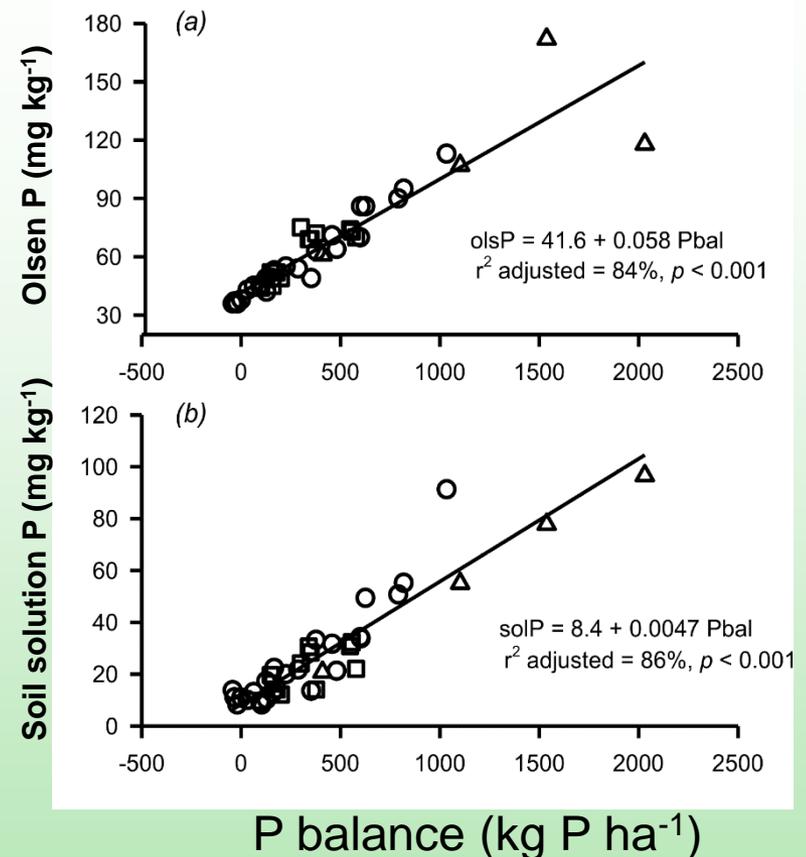
- 4 - 45 mg P par kg MS
- P inorganique \approx 55-95% du P total
- Forte variabilité de la teneur selon l'espèce, le régime alimentaire, le type de gestion des effluents,...



Morel et al., unpublished

Les essais au champ ont montré que les effluents d'élevage étaient aussi efficaces que les engrais minéraux pour l'entretien à moyen terme de la fertilité phosphatée des sols

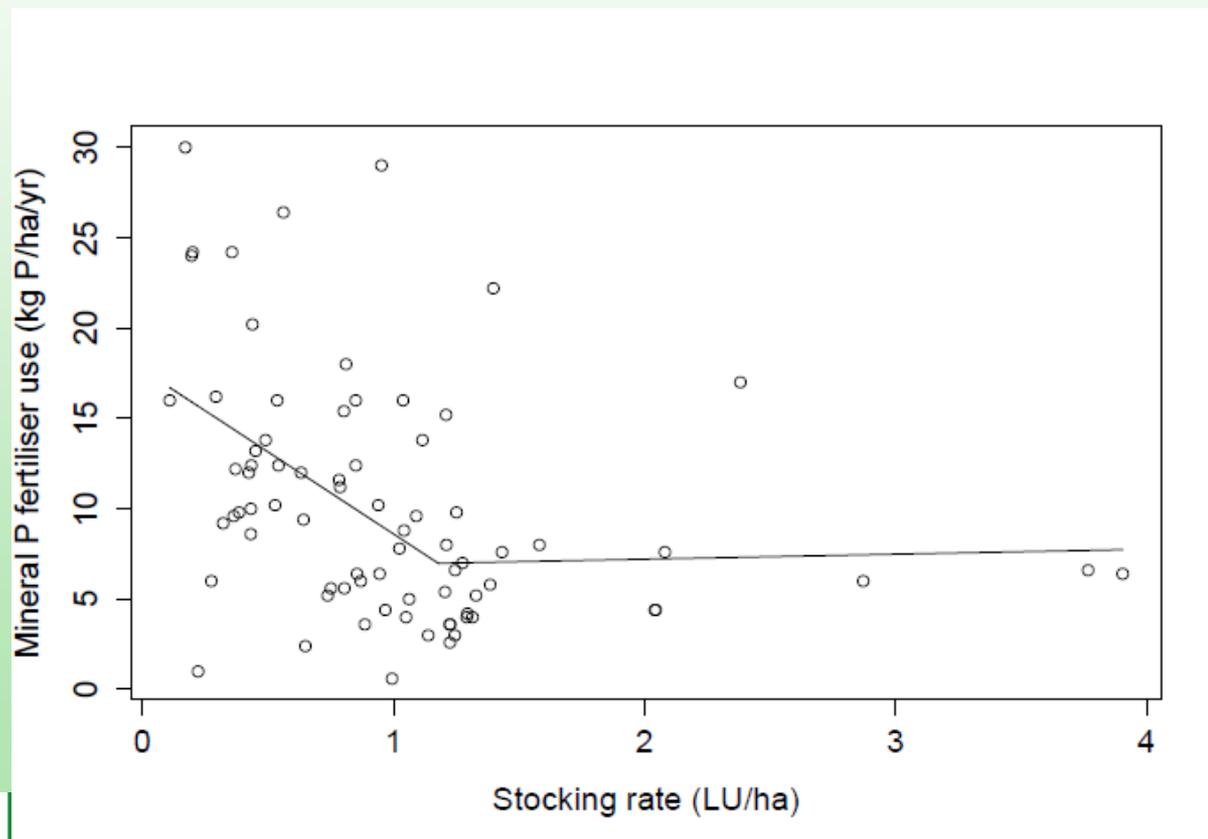
○	Poultry litter
□	Triple superphosphate (TSP)
△	Poultry litter + TSP



Shepherd and Withers, 1999

Une “substitution” des engrais minéraux P par les engrais organiques seulement partielle

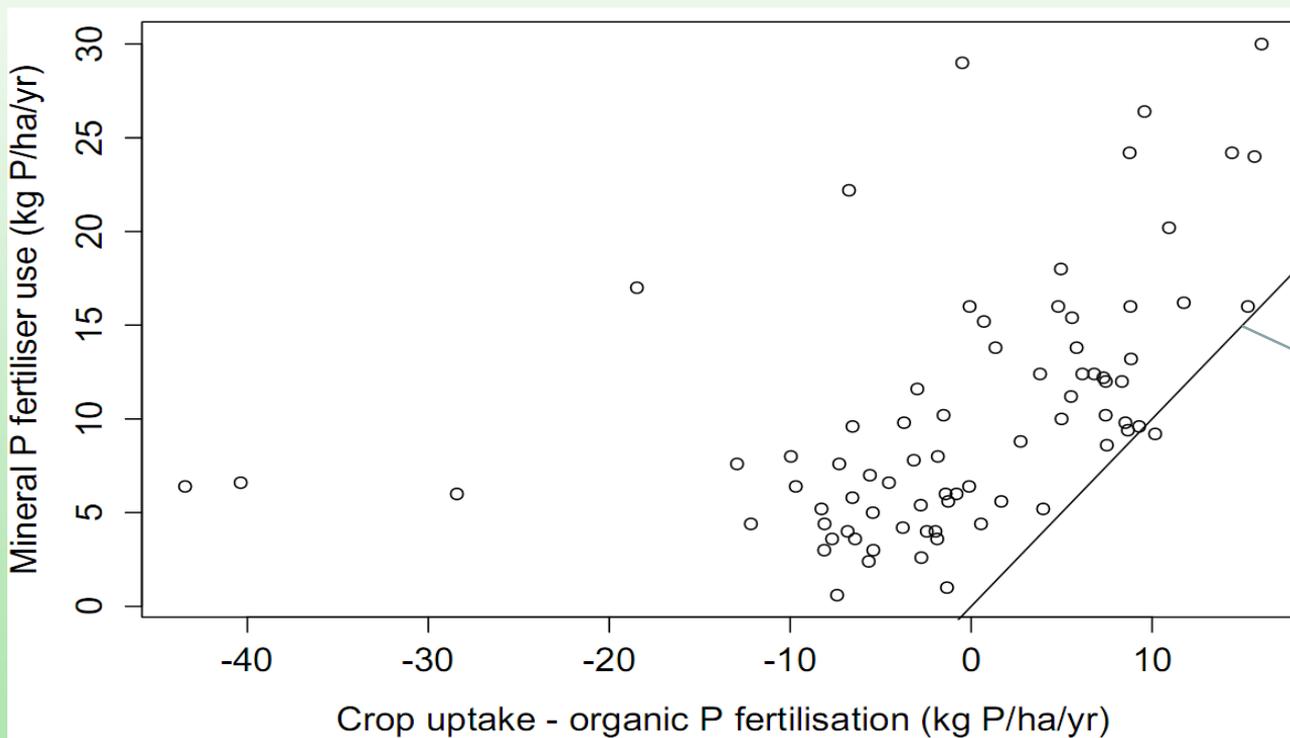
Calcul pour 76 départements français



Nesme et al., 2015

Une “substitution” des engrais minéraux P par les engrais organiques seulement partielle

Calcul pour 76 départements français



$Y=X$ Hypothèse d'une substitution parfaite

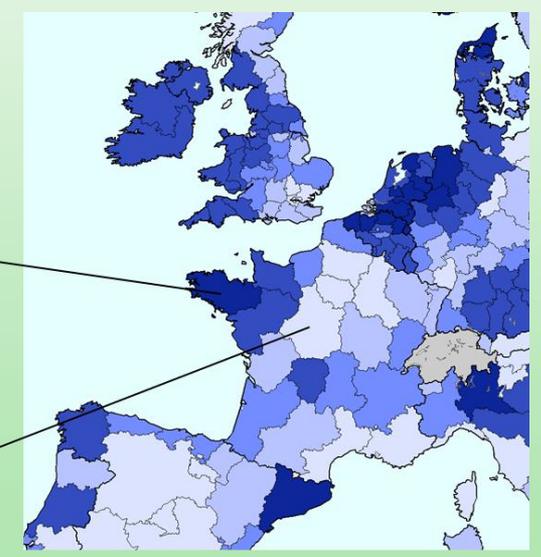
Nesme et al., 2015

Quels freins à la valorisation des effluents d'élevage pour la fertilisation phosphatée des cultures?

1. La spécialisation des systèmes et des régions de production conduit:

- à une dépendance aux engrais P de synthèse dans les régions de grande culture
- à des excédents structurels de P dans les régions d'élevage intensif

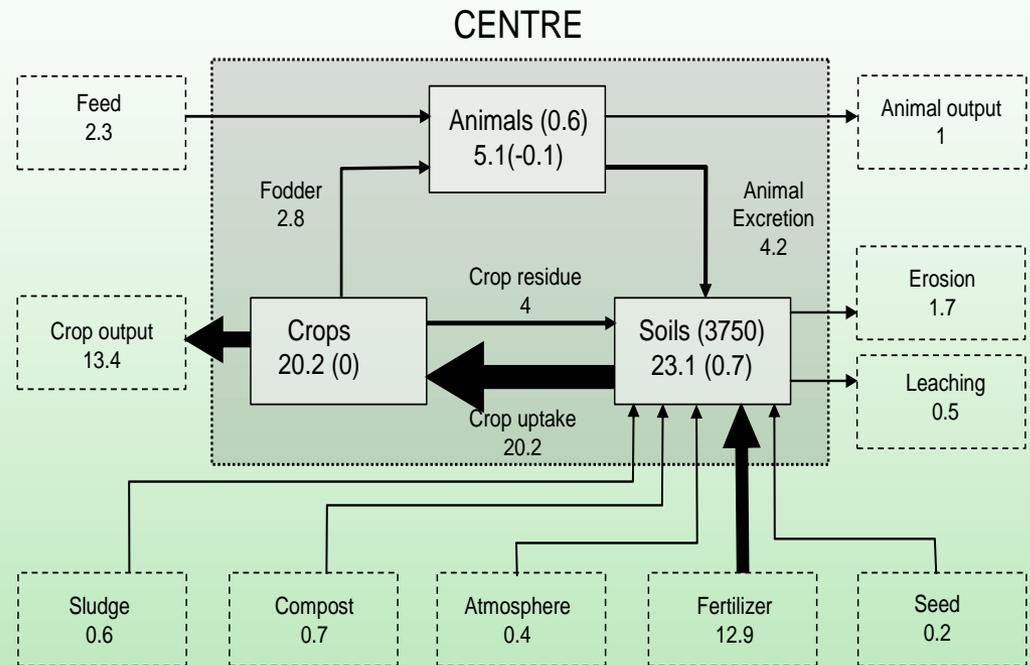
Ex de deux régions françaises contrastées



Livestock density (LU ha⁻¹)

Bilan P des sols agricoles de la région Centre (Moyenne 2002-2006) (en kg P ha⁻¹ an⁻¹)

- **Importations (17.1)**
 - 2.3 aliments du bétail
 - 12.9 engrais minéraux P
 - 1.9 autres (boues,...)
- **Exportations (16.6)**
 - 1 produits animaux
 - 13.4 produits végétaux
 - 2.2 érosion, lessivage
- **Solde de +0.5 kg P ha⁻¹ an⁻¹**

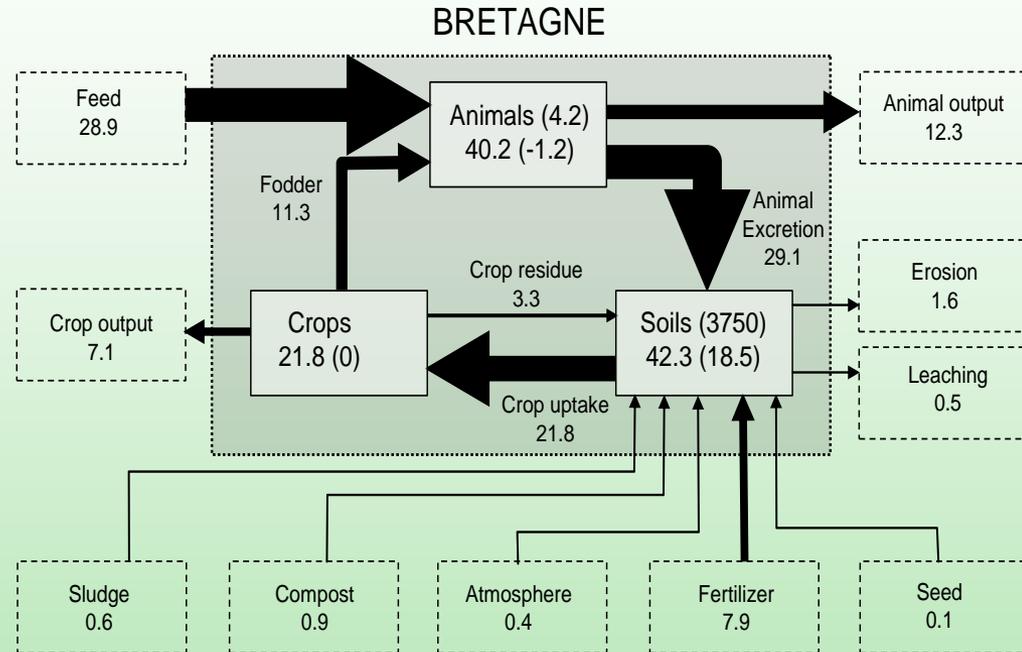


⇒ le bilan P des sols est équilibré mais au prix d'une importation d'engrais minéraux P de synthèse

Bilan P des sols agricoles de la région Bretagne (Moyenne 2002-2006) (en kg P ha⁻¹ an⁻¹)

- Importations (38.8)
 - 28.9 aliments du bétail
 - 7.9 engrais minéraux P
 - 2 autres (boues,...)
- Exportations (21.5)
 - 12.3 produits animaux
 - 7.1 produits végétaux
 - 2.1 érosion, lessivage

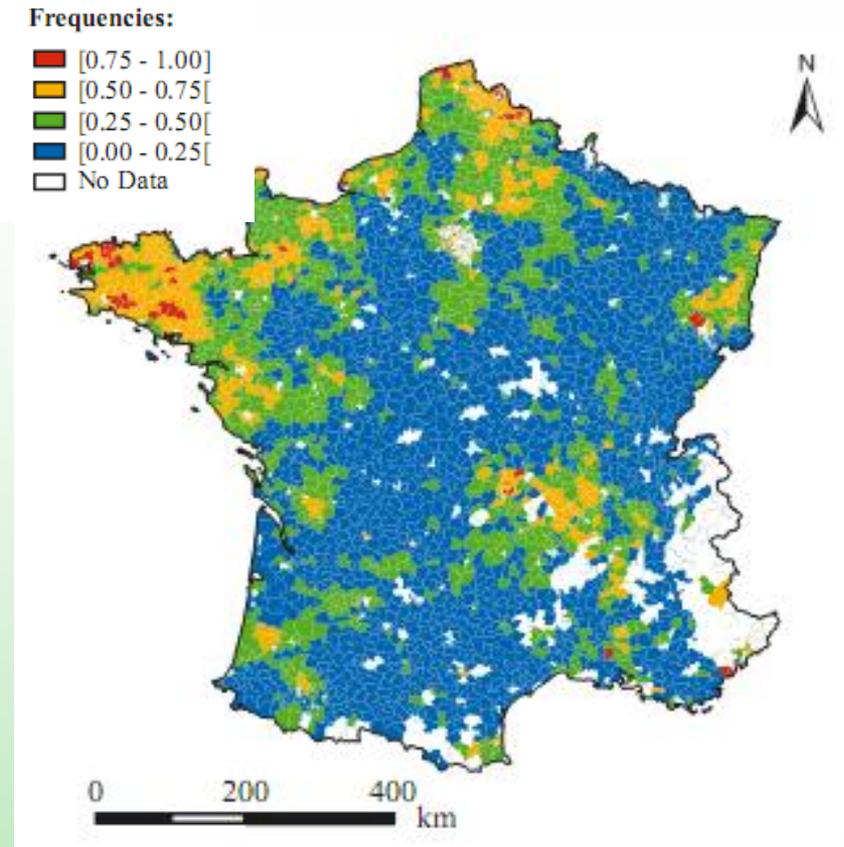
- Solde de +17.3 kg P ha⁻¹ an⁻¹



⇒ Le bilan P serait moins excédentaire en l'absence d'entrées sous forme d'engrais minéraux P, mais il le resterait quand même du fait des aliments du bétail importés

Les teneurs en P dans les sols français, et leur évolution récente, reflètent l'hétérogénéité spatiale des bilans

- valeurs très supérieures aux besoins des cultures et tendance à la hausse dans les zones d'élevage intensif de l'Ouest
- valeurs plus proches de l'optimum ailleurs

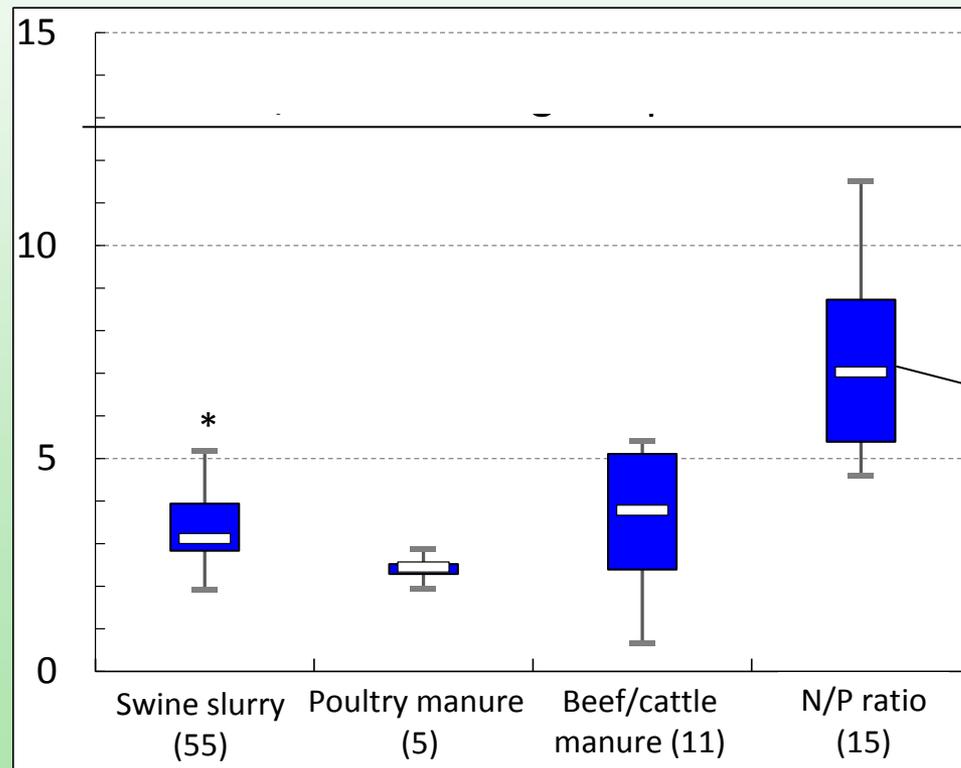


Fréquence des analyses de terre pour lesquelles la teneur en P extractible est supérieure au seuil d'impasse pour les cultures les plus exigeantes en P. Carte réalisée à l'échelle cantonale, d'après la base de donnée d'analyses de terre (BDAT, 850806 résultats d'analyse sur la période 1990-2004) et le logiciel d'interprétation INRA Regifert (d'après Follain et al., 2009)

2. Le rapport N/P des effluents d'élevage est plus faible que celui des végétaux.

Une fertilisation organique raisonnée sur N conduit à des apports de P en excès

N/P ratio



Rapport N/P des feuilles
(TRY global database,
Kattge et al., 2011)

Rapport N/P des
organes récoltés (15
cultures)

Morel et al., unpublished

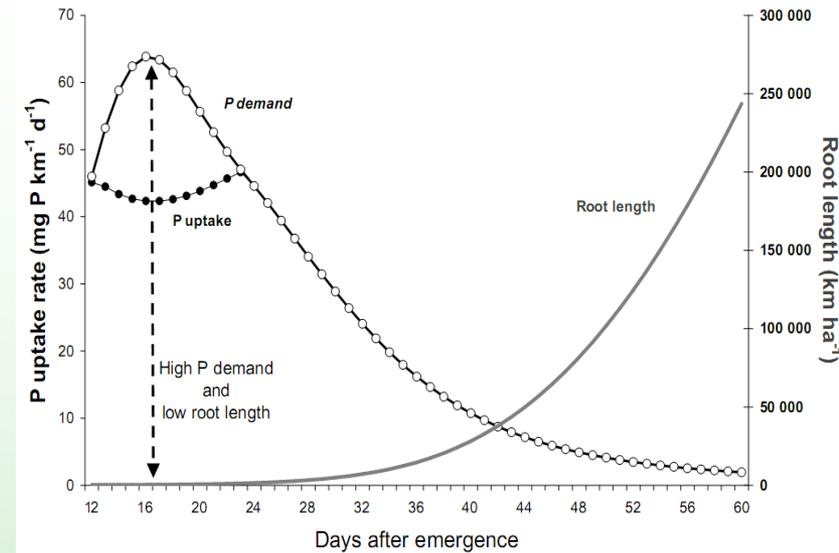
3. Des interrogations subsistent quant à la capacité des engrais organiques à satisfaire les besoins instantanés de la culture

Ex de la période critique du début de cycle chez le maïs

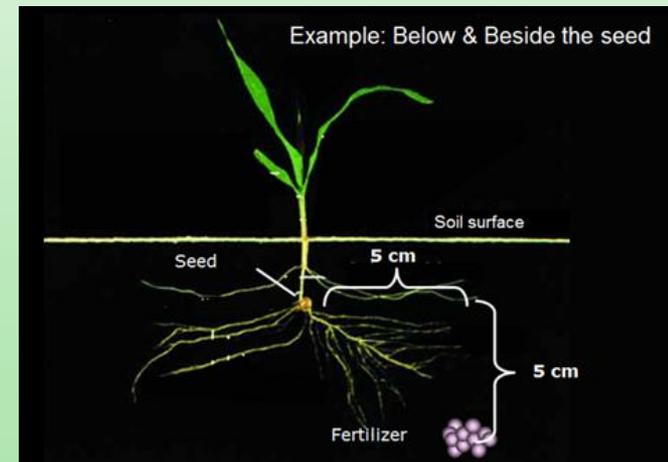
Usage fréquent d'engrais P starter pour accroître la concentration en P à proximité des racines en début de cycle

Quelle possibilité de substitution par des apports organiques?

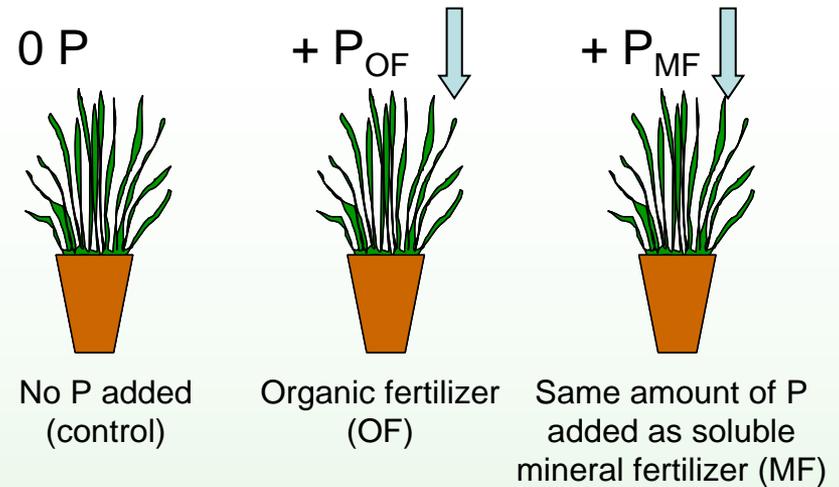
De plus les apports de produits organiques peuvent être contraints par des aspects pratiques (portance des sols, etc...)



Mollier, 2013



4. L'évaluation de la valeur fertilisante phosphatée à court terme des effluents d'élevage est contrainte par des difficultés méthodologiques



Approche classique: Culture en pot

$$\text{Relative Efficiency (in \%)} = \frac{P_{\text{uptake OF}} - P_{\text{uptake control}}}{P_{\text{uptake MF}} - P_{\text{uptake control}}} \times 100$$

⇒ Résultats erronés car cette approche fait l'hypothèse (généralement non vérifiée) que le prélèvement de P provenant du sol n'est pas modifié par le traitement ($P_{\text{uptake control}}$)

⇒ **Seules les approches utilisant un traçage isotopique (^{32}P ou ^{33}P) donnent des résultats fiables (mais elles nécessitent un équipement coûteux).**

Les mesures utilisant un traçage isotopique indiquent que la valeur fertilisante phosphatée à court terme des effluents d'élevage est généralement élevée

	Valeur fertilisante phosphatée relative (en % d'un engrais minéral soluble)
Effluent	Gamme de valeur
Fumier de porc	84-102%
Fumier bovin	68-111%
Fumier de volaille	43-88%

Mais il demeure que la dynamique à court terme du P après apport dépend de nombreux processus (ex immobilisation du P par la biomasse microbienne si rapport C/P élevé)

- ⇒ La mesure de la valeur fertilisante à court terme est utile pour classer les produits en conditions standards
- ⇒ Une meilleure connaissance de la dynamique à court terme du P après apport est nécessaire

Conclusion

- ✓ L'élevage joue un rôle moteur dans le cycle du P, à différentes échelles (globale, nationale, régionale)
 - ✓ Importations de P via les aliments (tourteaux)
 - ✓ Production d'effluents (et autres sous-produits) riches en P
- ✓ La valorisation optimale des effluents d'élevage pour l'entretien de la fertilité P des sols est un enjeu majeur pour la gestion durable du cycle du P
- ✓ La substitution des engrais minéraux P par des apports organiques est limitée par
 - ✓ La spécialisation des systèmes et des régions de production
 - ✓ Le rapport N/P des effluents
 - ✓ Des interrogations sur la capacité des effluents à subvenir aux besoins instantanés des cultures (périodes critiques)
 - ✓ Des incertitudes sur la valeur fertilisante phosphatée (VFP) à court terme des effluents, liées à des difficultés méthodologiques (mais la plupart des résultats indiquent des VFP élevées)

Quelles pistes d'amélioration?

Réassociation agriculture élevage

Mixité à l'échelle des systèmes de production: polyculture-élevage

Mixité à l'échelle des régions

Transport des effluents (associé à des technologies permettant de réduire la charge pondérale: tri,...) / Echanges de matières entre exploitations/régions

Procédés technologiques de récupération du P des effluents (struvite)

Augmentation du rapport N/P

- poursuite de l'effort visant à réduire les concentrations en P des effluents (régimes alimentaires)

- réduction des pertes d'azote (volatilisation ammoniacale)

- mélanges

Fiabilisation des références sur la valeur fertilisante phosphatée à court terme des produits organiques