

Approche systémique des flux et bilans de phosphore (P) en France: les enjeux du recyclage

Mollier A

Nesme Thomas, Senthilkumar Kalimuthu, Pellerin Sylvain
UMR ISPA (INRA/Bordeaux Sciences Agro)



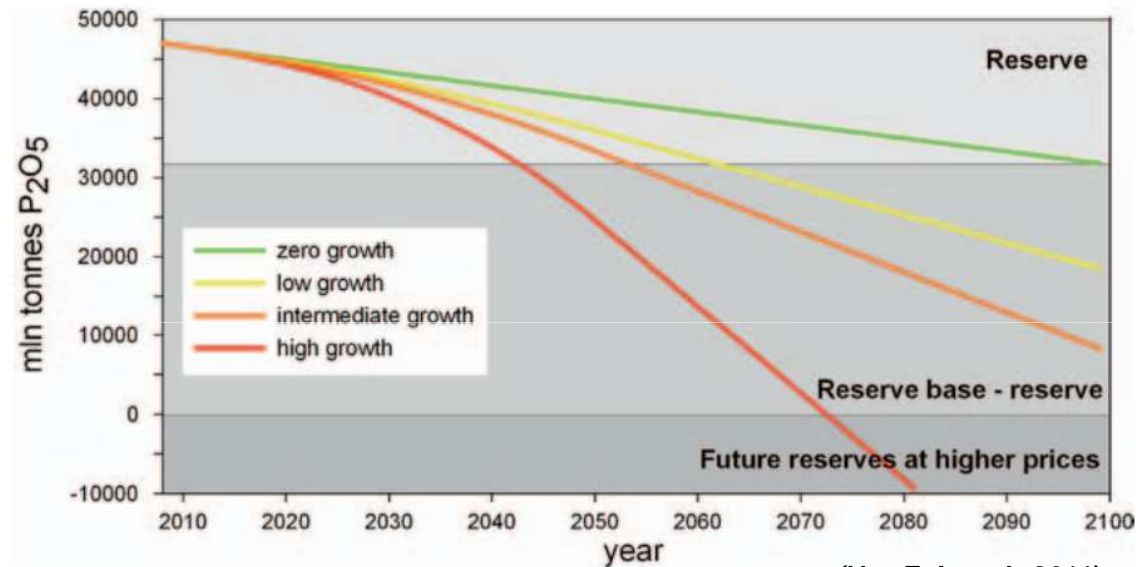
Contexte et objectifs



Contexte

Le phosphore : une ressource limitée non renouvelable

Le phosphore nécessaire à la synthèse des engrais est aujourd'hui considéré comme une ressource limitée globalement



(Van Enk et al., 2011)

Ceci entraîne un changement de posture scientifique:



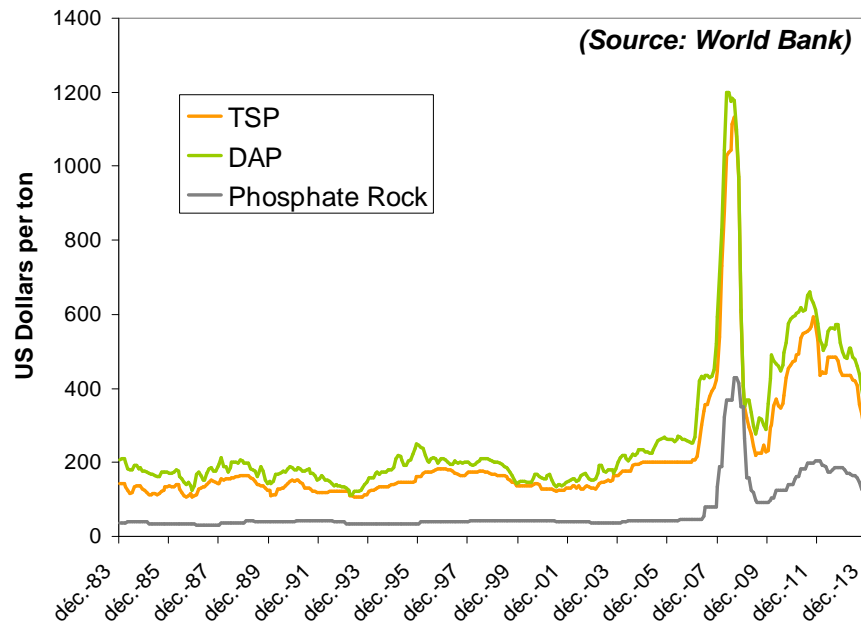
De l'optimisation technico-économique de la fertilisation pour les agriculteurs

À la mise au point de scénarios valorisant au mieux **une ressource non renouvelable, non substituable** pour les pouvoirs publics

Contexte

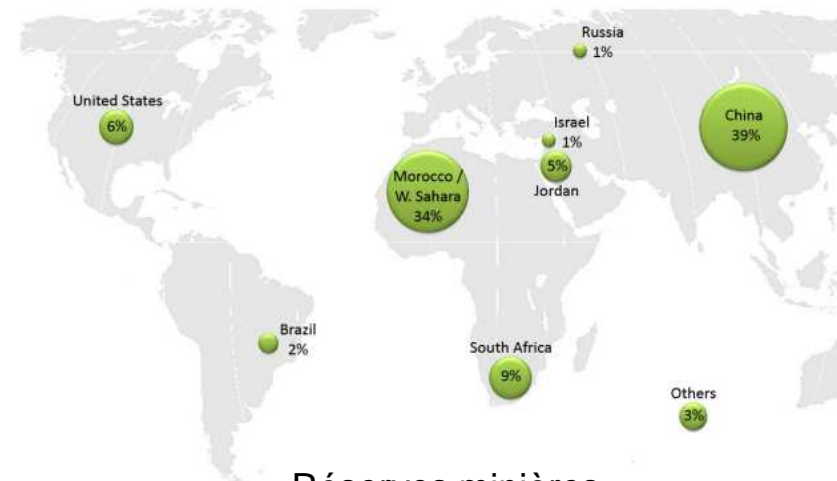
Le phosphore : un enjeu géopolitique potentiel

L'évolution du contexte (hausse de la demande, élasticité faible de l'offre) risque d'entraîner une augmentation rapide du **prix des engrais P**



De plus, les ressources fossiles mondiales en P sont **inégalement distribuées**

Figure 2: World rock phosphate mine reserves 2005. (Data source: Röhling, 2007.)



Réserves minières
18 milliards de t (estimation 2005)

(Stewart, Hammond & Van Kauwenbergh. 2005)

La France, comme presque toute l'Europe n'a pas de ressources fossiles sur son territoire

Objectifs de recherche

La **réduction de la dépendance** vis-à-vis des engrais de synthèse phosphatés impose **un diagnostic** sur cet état de dépendance et la **mise au point de modes de production et de consommation plus efficaces**

Objectif de **quantification et traçage des stocks** et des **flux** de P à **une échelle large**: nationale (ex: France)

👉 Identifier

- ◆ Les principaux flux et stocks
- ◆ Les forces motrices / déterminants des ces flux et stocks
- ◆ Les pertes
- ◆ Les efficacités et opportunités de recyclage

👉 Evaluer les efficacités d'utilisation de la ressource P

Démarche

Représentation conceptuelle du cycle du P à l'échelle nationale

- ☞ Compartiments agrégés en sphères (ex: sols, cultures, animaux =>Agriculture)
- ☞ Stocks des compartiments et flux entre les compartiments
- ☞ Une méthodologie dérivée de l'écologie industrielle

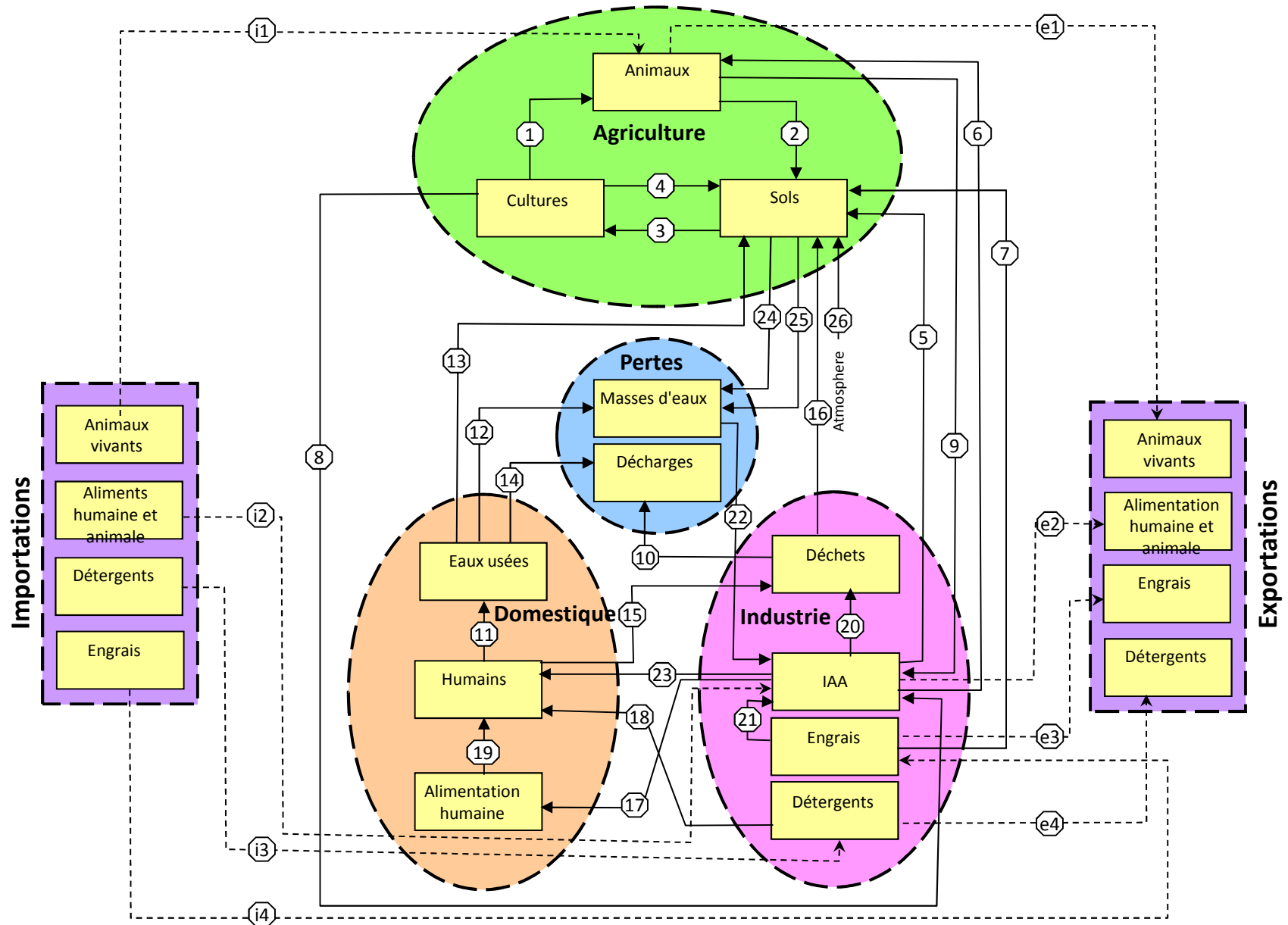
Quantification des flux annuels

$$\text{Flux de P} = \text{Flux de matière} \times [\text{P}]$$

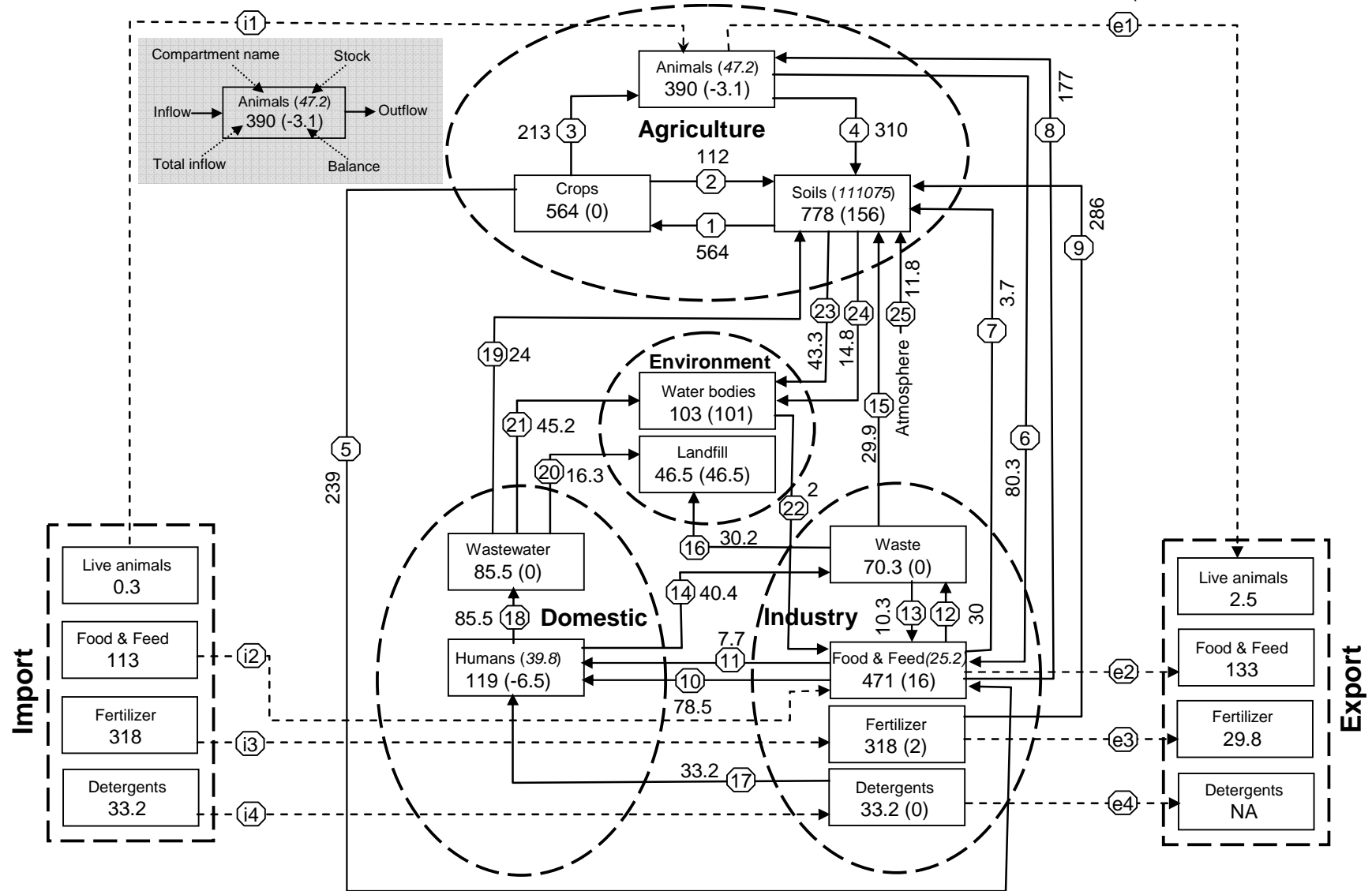
$$\text{kt P/an} = \text{kt MS/an} \times \text{kt P/kt MS}$$

Statistiques, BDD nationales
Années 1990-2006

Littérature
scientifique



Résultats



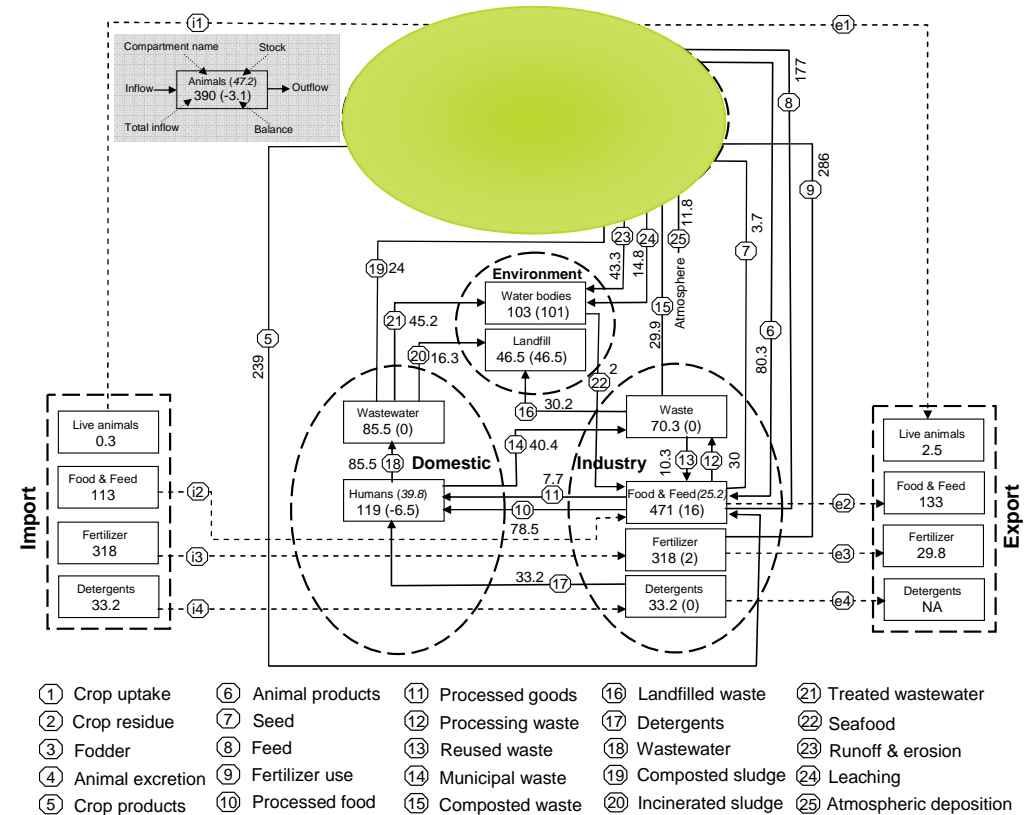
1. Une rôle majeur joué par l'agriculture

Les flux les plus intenses concernent l'agriculture :

- Ex: entrées de P dans les sols = 780 kt P/an (290 kt P/an sous forme d'engrais)

Rôle clé de l'élevage:

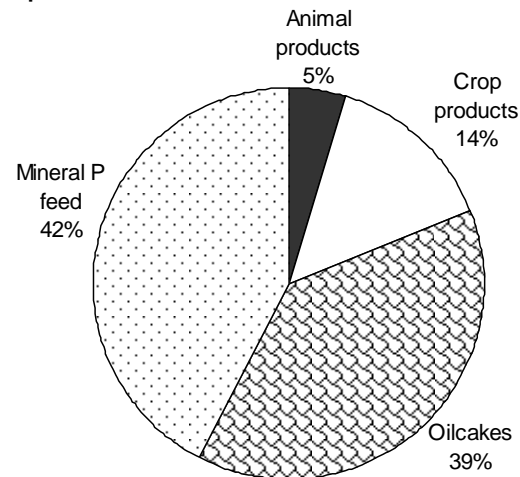
- Consommation : 390 kt P/an
- Emissions de 310 kt P/an dans les effluents d'élevage
- Moteur d'importations de concentrés



2. Des importations et exportations massives de P sous forme d'aliments

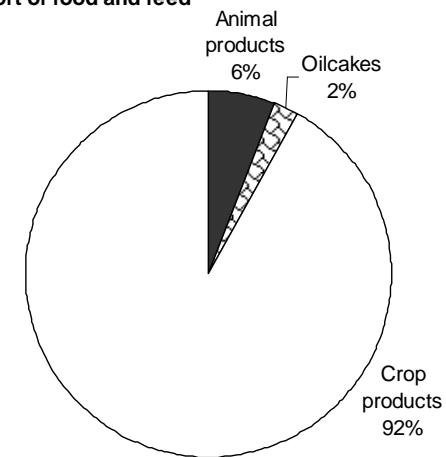
↙ 113 kt P/an importés

Import of food and feed



133 kt P/an exportés ↘

Export of food and feed



- ☞ Ces importations représentent quasiment la moitié du flux d'engrais importé
- ☞ Ces importations génèrent un usage d'engrais de P dans les pays fournisseurs

3. Le bilan de P des sols agricoles reste positif

👉 **Entrées** de P dans les sols agricoles:

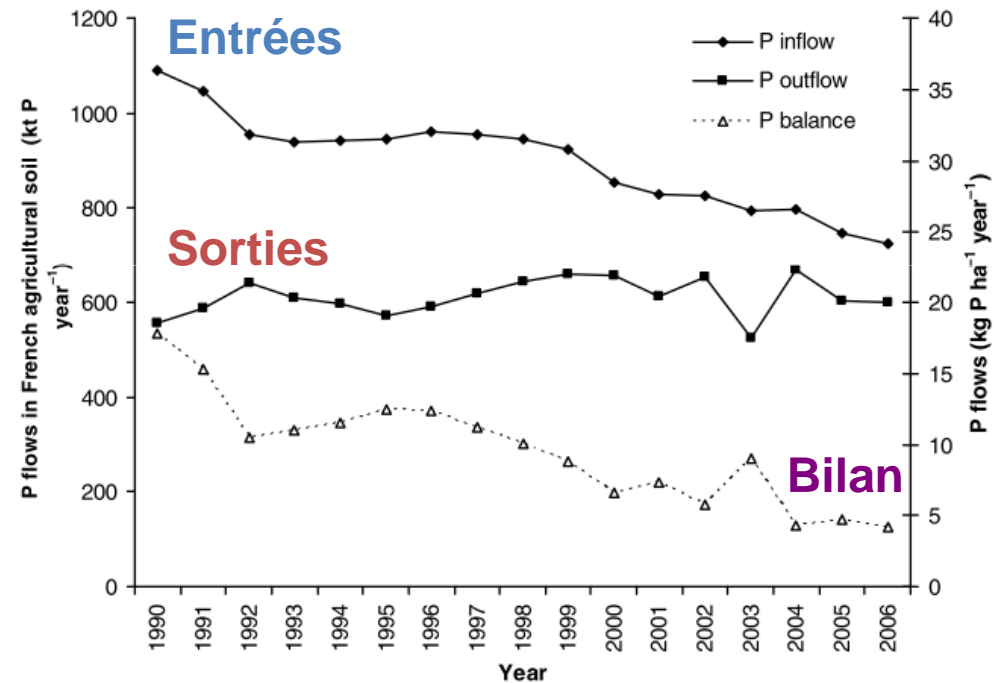
778 kt P/an:

- ◆ 40% en déjections
- ◆ 37% en engrais
- ◆ 14% en résidus de culture
- ◆ 7% recyclage de déchets urbains
- ◆ 2% autres (semences, dépôts)

👉 **Sorties** de P: 622 kt P/an

- ◆ 91% prélèvement par les cultures
- ◆ 9% ruissellement/lessivage

👉 **Bilan** positif de **+4 kg P/ha/an**, en forte baisse depuis 15 ans



4. L'efficacité d'utilisation du P au sein de la chaîne alimentaire reste faible

L'efficacité d'utilisation du P globale peut-être définie comme:

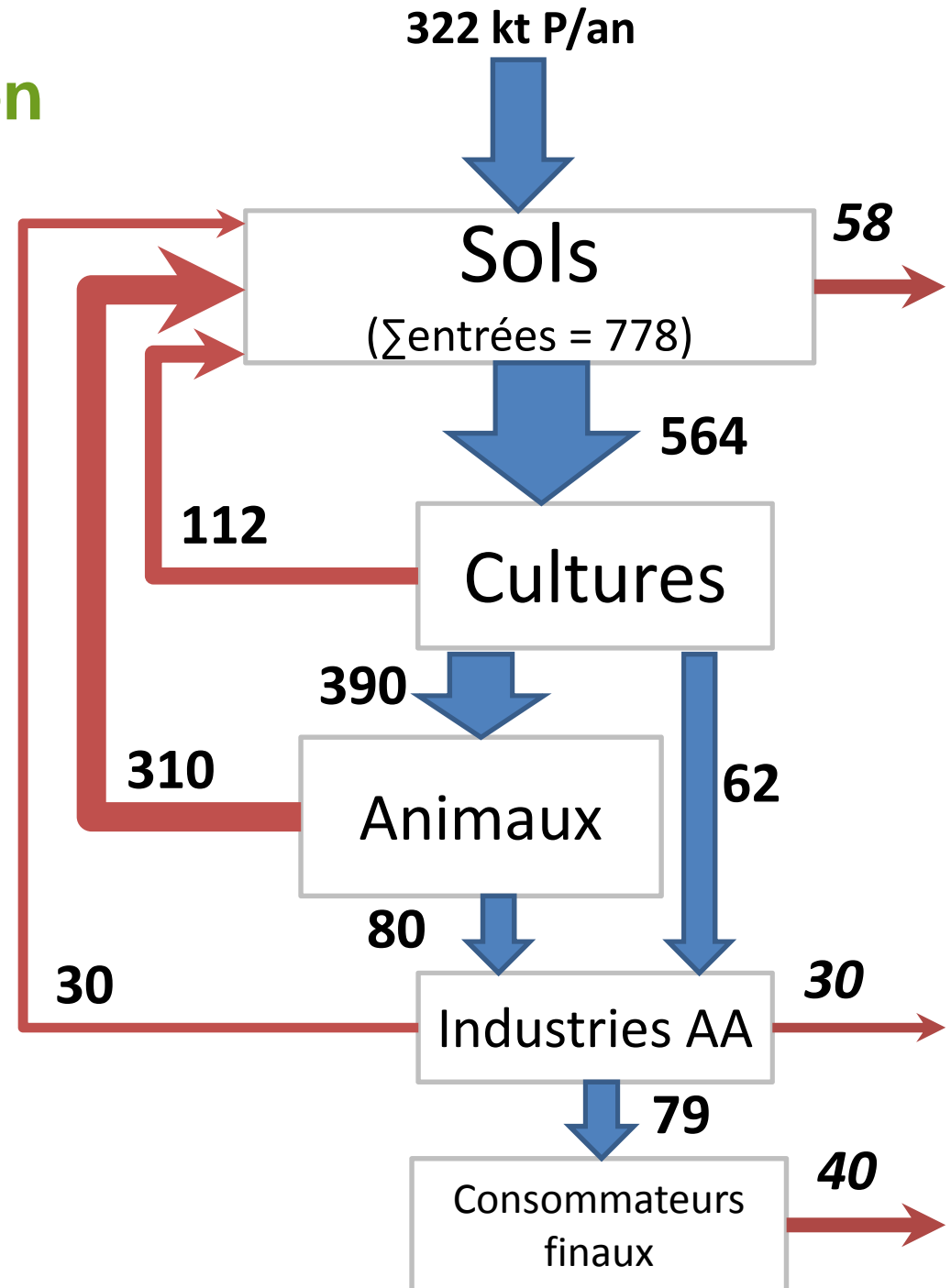
$$\frac{\text{P des produits alimentaires consommés}}{\sum \text{P entrant dans les sols agricoles}}$$

Elle ne tient pas compte des importations et exportations des produits alimentaires

En France : efficacité d'utilisation du P globale = 10% (79/778)

L'efficacité d'utilisation globale du P

- 👉 La faible efficacité estimée ne tient pas compte des nombreux recyclages se produisant le long de la chaîne
- 👉 Elle n'intègre pas non plus les pertes chez les consommateurs finaux (50% des entrées)

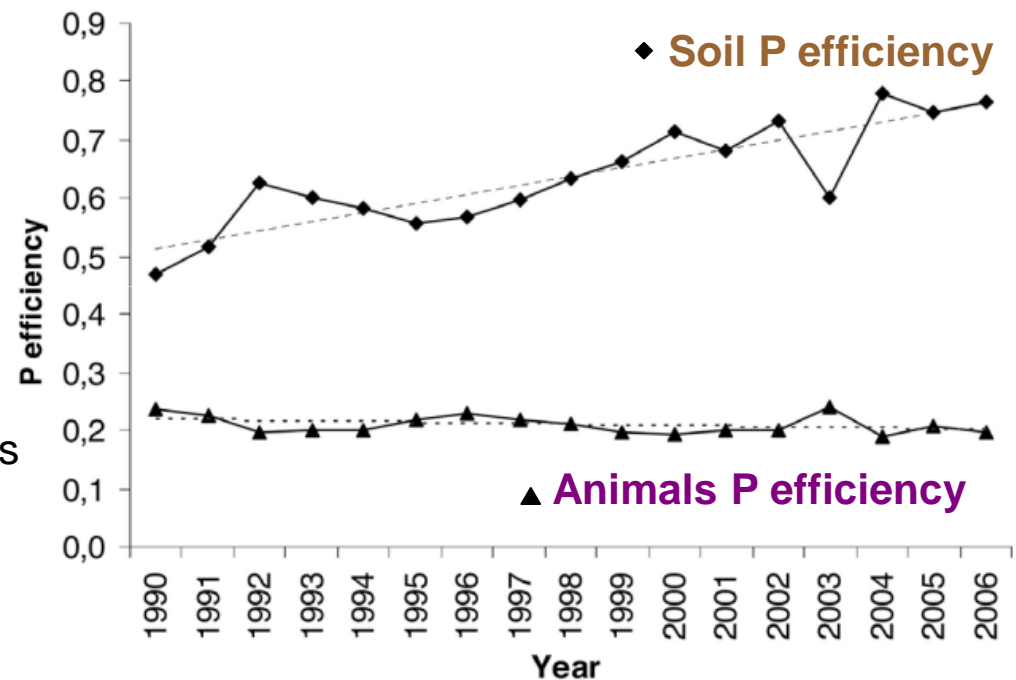


D'importantes différences d'efficacité d'utilisation du P selon les secteurs

👉 L'efficacité de l'agriculture

progresses globalement :

- ♦ Forte progression pour les cultures, associée à une forte réduction de l'usage d'engrais (-60% en 15 ans).
 $564/778=72\%$ en 2006
- ♦ Pas de progression pour les élevages malgré des progrès en alimentation pris partiellement en compte ici.
 $80/390=20.5\%$ en 2006



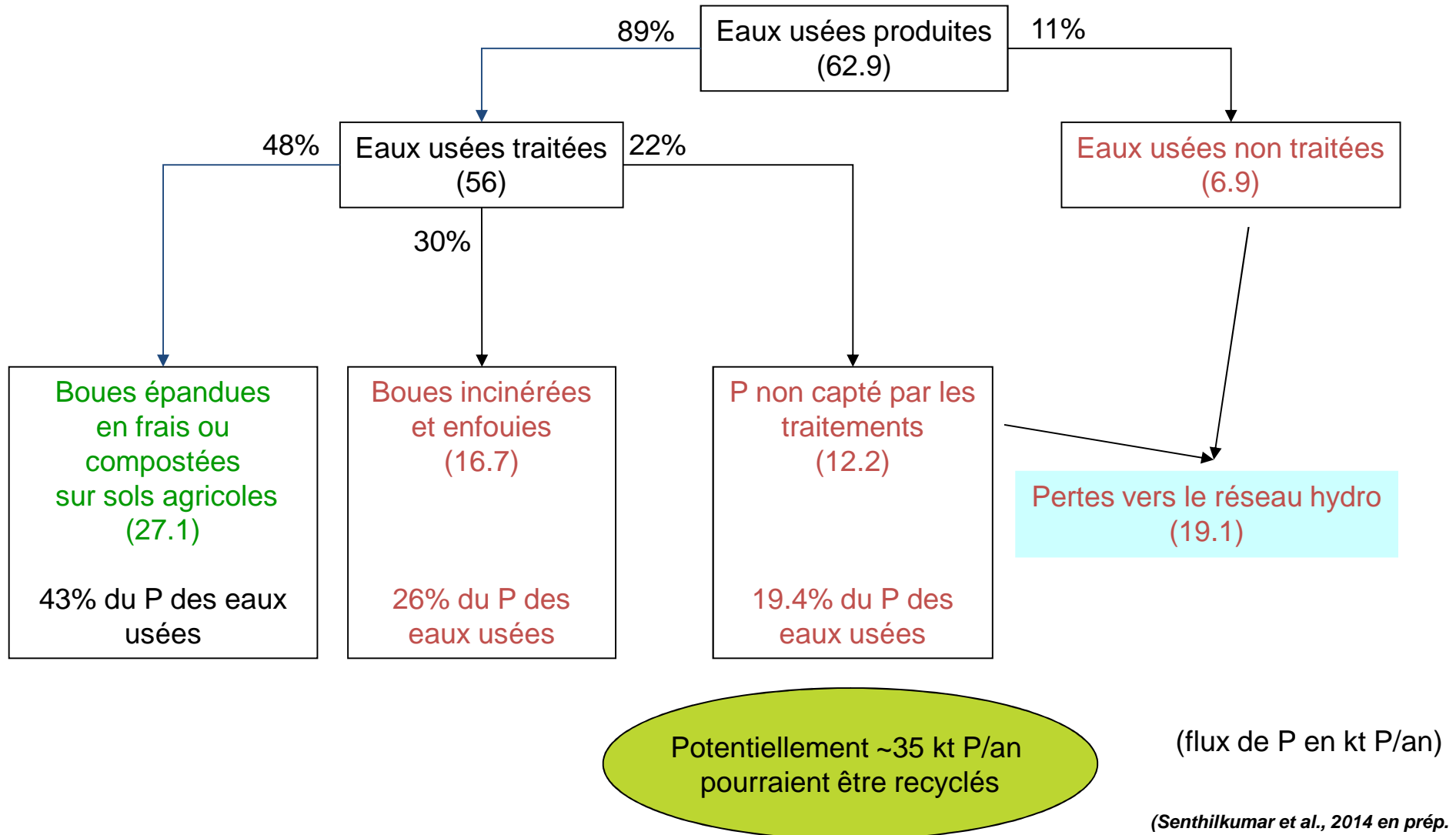
D'importantes différences d'efficacité d'utilisation du P selon les secteurs

👉 Les efficacités de recyclage du P sont variables suivant les catégories de déchets

Waste category	P generated (kt P /yr)	P recycled (% of P generated)		Current P recycling efficiency (%)
		To agricultural soils	To food and feed processing	
Food processing waste	28.0	40.7%	33.9%	74.6%
Household wastewater	62.9	43.1%	0%	43.1%
Municipal waste	43.8	43.2%	4.2%	46.3%

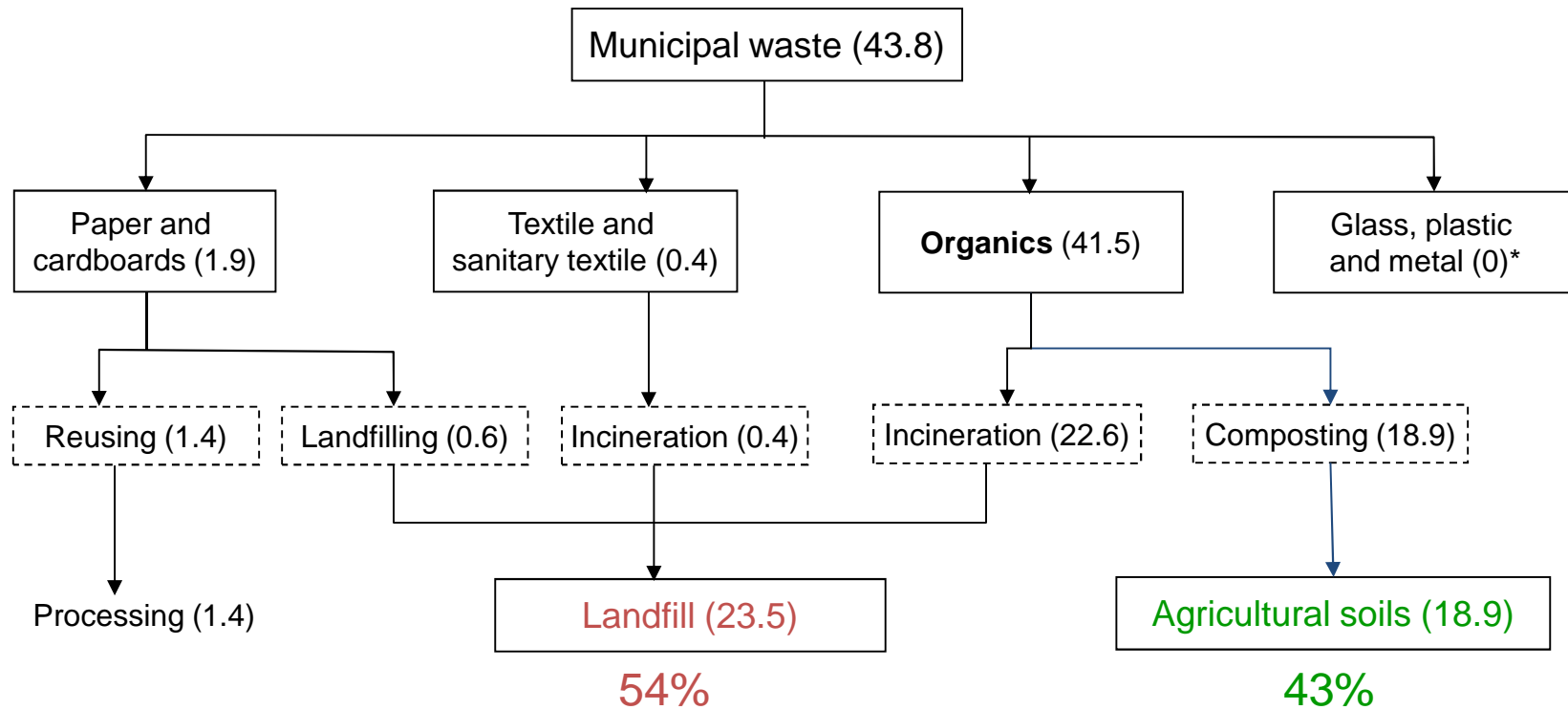
D'importantes différences d'efficacité d'utilisation du P selon les secteurs

Efficiences de recyclage du P des eaux usées (ex: 2002-2006)



D'importantes différences d'efficience d'utilisation du P selon les secteurs

Cas des déchets municipaux



Potentiellement ~23.5 kt P/an pourraient être recyclés

(flux de P en kt P/an)

En conséquence, les pertes environnementales restent fortes

☞ Les pertes vers l'environnement (vers le réseau hydrographique, mise en décharge/enfouissement) représentent 150 kt P/an, soit l'équivalent de 52% des engrais épandus (286 kt P/an)!

☞ Elles représentent des sorties de P du système d'étude

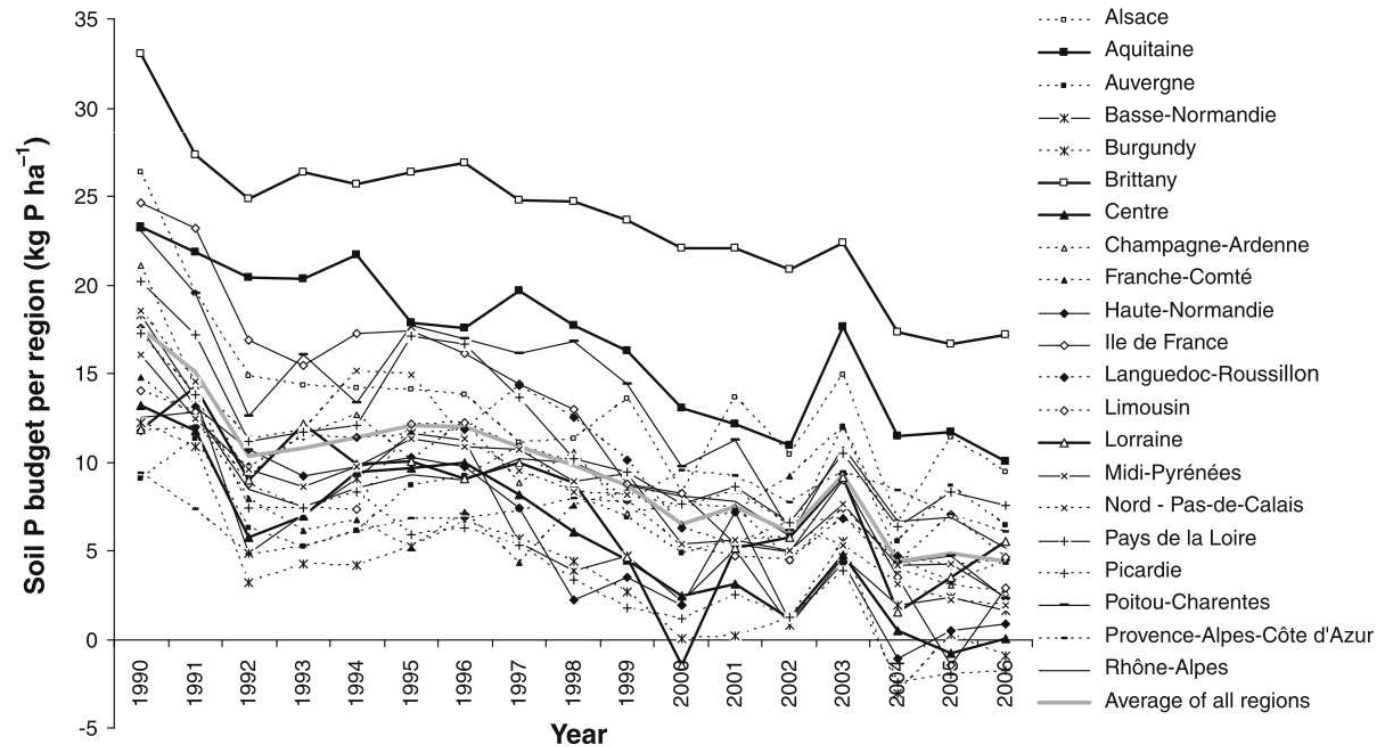
☞ A cela se rajoute la fonction de puits des sols (+156 kt P/an)

☞ Ces pertes environnementales se composent de

- ◆ 39% en provenance de **l'agriculture** (érosion 43 kt P, lessivage 15 kt P)
- ◆ 41% en provenance des **eaux usées** (16 kt P enfouies, 45 kt P rejetées en rivière)
- ◆ 20% en provenance des **déchets**

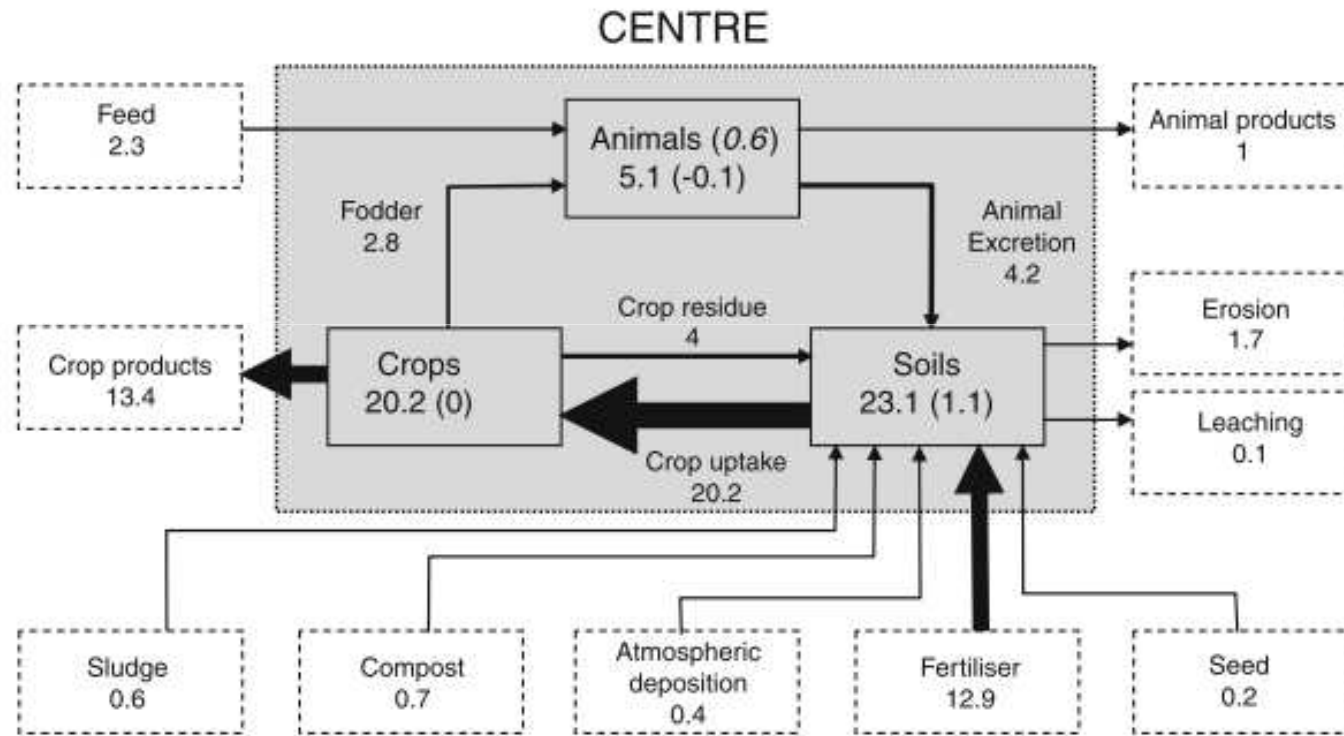
5. Le bilan national de P masque une importante variabilité interrégionale

- 👉 La variabilité s'exprime sur les bilans de P des sols comme sur les flux agricoles
- 👉 Elle est associée à d'importantes différences des caractéristiques régionales des systèmes de production



5. Le bilan national de P masque une importante variabilité interrégionale

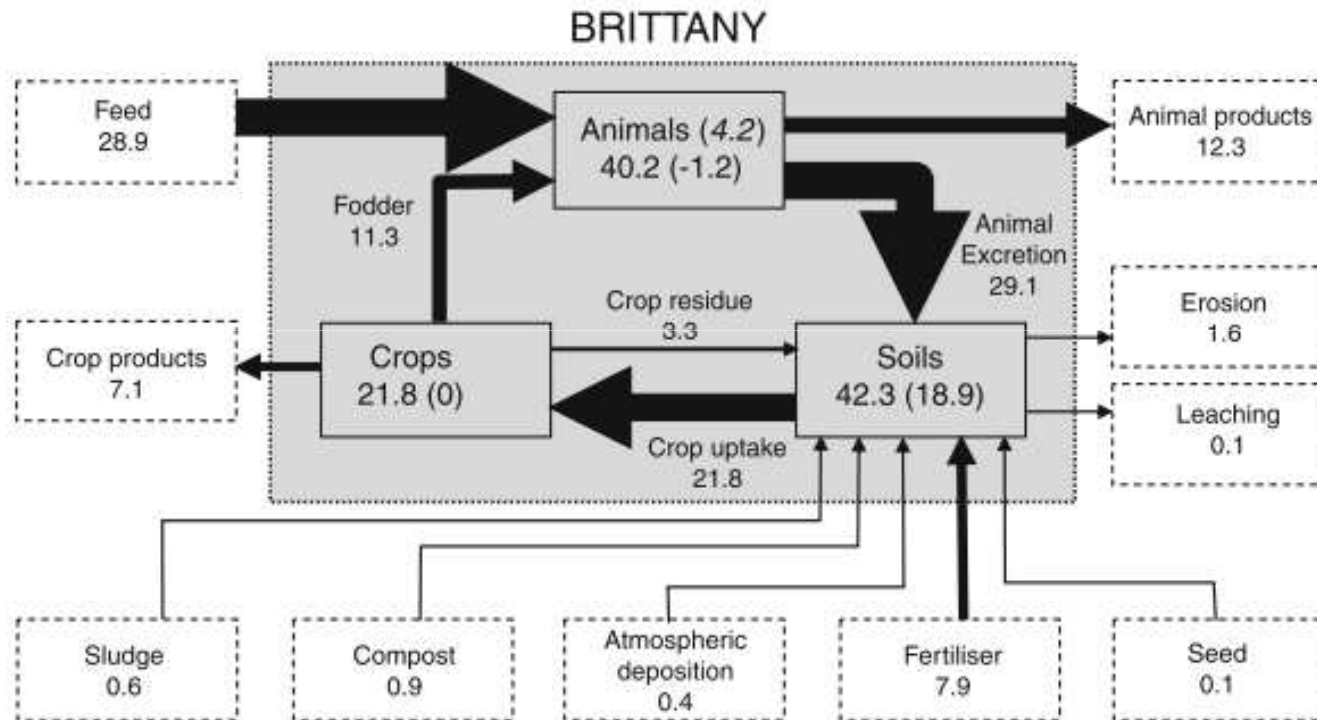
Dans les régions de grandes cultures (ex: la région Centre)



- ◆ Le bilan des sols tend à l'équilibre (+ 1kg P /ha/an)
- ◆ Les exportations reposent sur un recours massif aux engrais de synthèse

5. Le bilan national de P masque une importante variabilité interrégionale

Dans les régions d'élevage (ex: la région Bretagne)



- ◆ Le bilan des sols reste très positif (+ 19 kg P /ha/an)
- ◆ Les entrées de P: 20% engrais de synthèse + 74% aliments pour animaux
- ◆ Même sans utilisation d'engrais, le bilan des sols resterait positif

Conclusions

Synthèse des principaux résultats

1. L'agriculture, notamment l'élevage, ainsi que les importations/exportations jouent un rôle majeur dans le cycle du P à l'échelle nationale
2. Le bilan de P des sols reste positif en France
3. L'efficacité globale d'utilisation du P reste faible, mais varie selon les secteurs du cycle
4. Les pertes environnementales sont importantes, encore en majorité d'origine urbaine
5. Les différences régionales restent fortes, déterminées par les systèmes de production régionaux

Conséquences pratiques

- La France, via son agriculture, contribue à l'épuisement de la ressource en P
 - Consommation = 1.2% de la production mondiale d'engrais P en 2006
 - Population = 0.9% de la population mondiale
 - A cela se rajoute la consommation 'distale' d'engrais P générée par l'importation de concentrés pour nourrir les animaux
- Du point de vue de l'économie de la ressource en P, l'effort est plutôt à réaliser sur l'efficacité en agriculture (valorisation cultures/élevages).
 - Environ 59 kt P/an (21% des fertilisants P épandus) pourraient être économisés
 - Autant de réduction des pertes de P vers l'environnement
- Des voies de progrès nécessaires en aval de la chaîne alimentaire...

Perspectives scientifiques

- Meilleure prise en compte de l'incertitude des données
- Analyse de l'articulation des échelles étudiées (exploitations, petites régions, pays, globale)
- Elaboration et test de scénarios alternatifs, à partir de modèles dynamiques de flux et stocks
- Besoin de considérer les formes de P des produits recyclés, notamment dans la sphère agricole, pour évaluer la part du P biodisponible et leur valeur fertilisante (cf exposé de C Morel)



Phosphorus in Soils and Plants

5th International Symposium
26-29 August 2014 - Le Corum -
Montpellier, France

PSP5 2014
Facing Phosphorus Scarcity



<http://PSP5-2014.cirad.fr>



PHOSPHORUS week 2014

Montpellier, the place to be



SPS 2014

Sustainable Phosphorus Summit

1-3 September 2014 - Le Corum - Montpellier, France



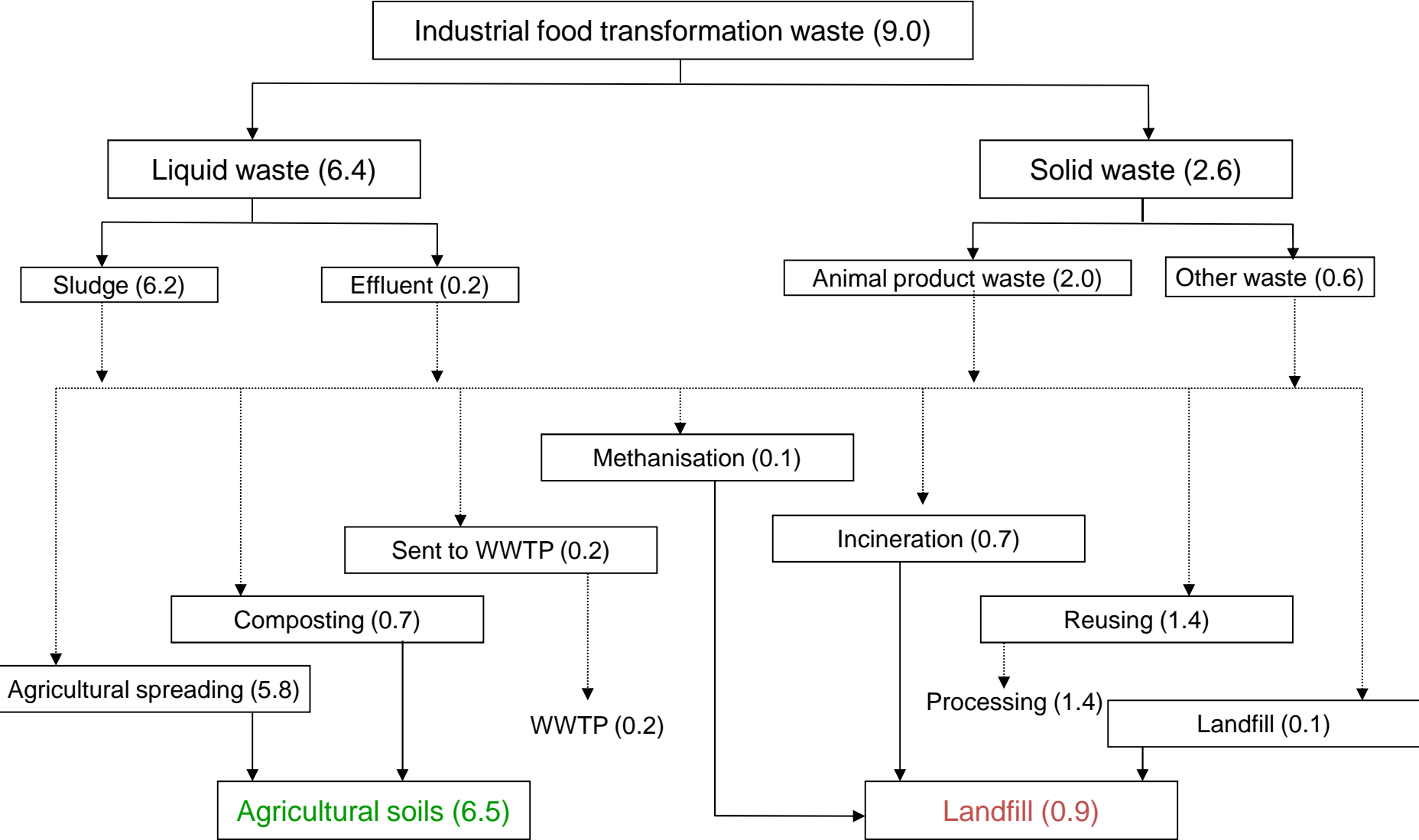
<http://SPS2014.cirad.fr>

**Merci de votre
attention**

Opportunités d'amélioration du recyclage du P des déchets

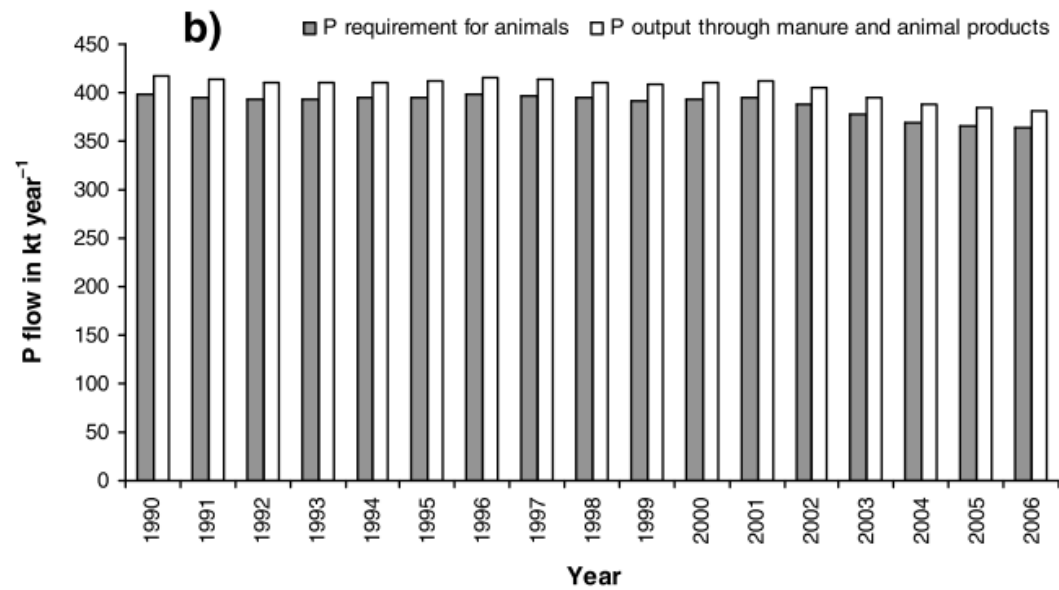
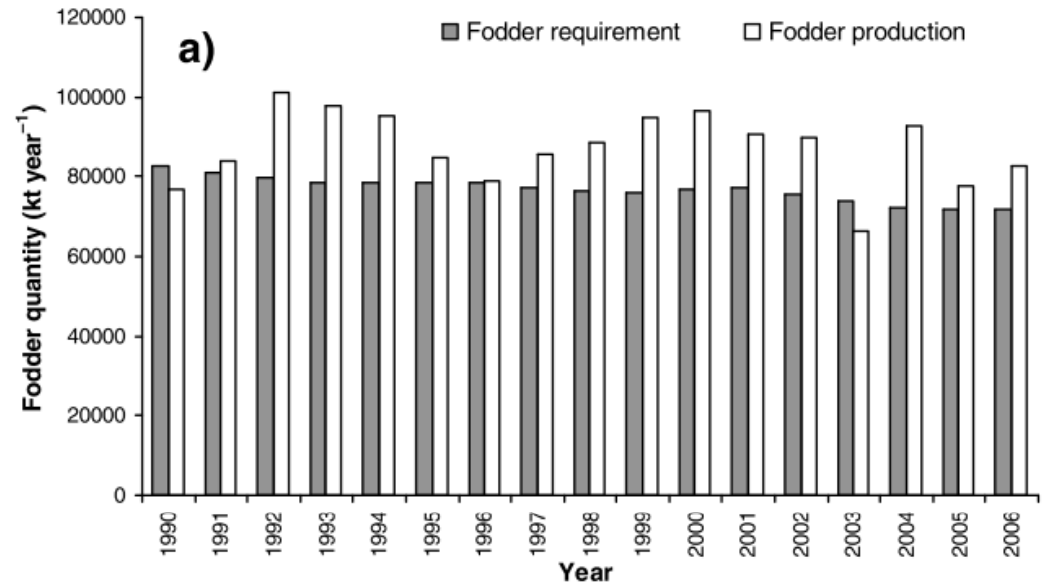
Waste category	Current P recycling efficiency (%)	Potential P recycling efficiency (%)	Gain in recycled P in kt P y ⁻¹	Comment
Food processing waste	74.6	74.6	0	Already high P recycling efficiency, difficult to increase for sanitary reasons
Household wastewater	43.1	97.3	34.1	Improved recycling through improved household connection to municipal WWTP (+6.9 kt P y ⁻¹), generalization of tertiary wastewater treatment (+10.5 kt P y ⁻¹) and full use of sludge on agricultural soils (+16.7 kt P y ⁻¹)
Municipal waste	46.3	100	25	Full P recovery and recycling through separate organic fraction collection
Total	50.7	94.6	59.1	

Cas des déchets de l'industrie alimentaire



(Senthilkumar et al., 2014 en révision)

Cross-checking



Cross-checking

