



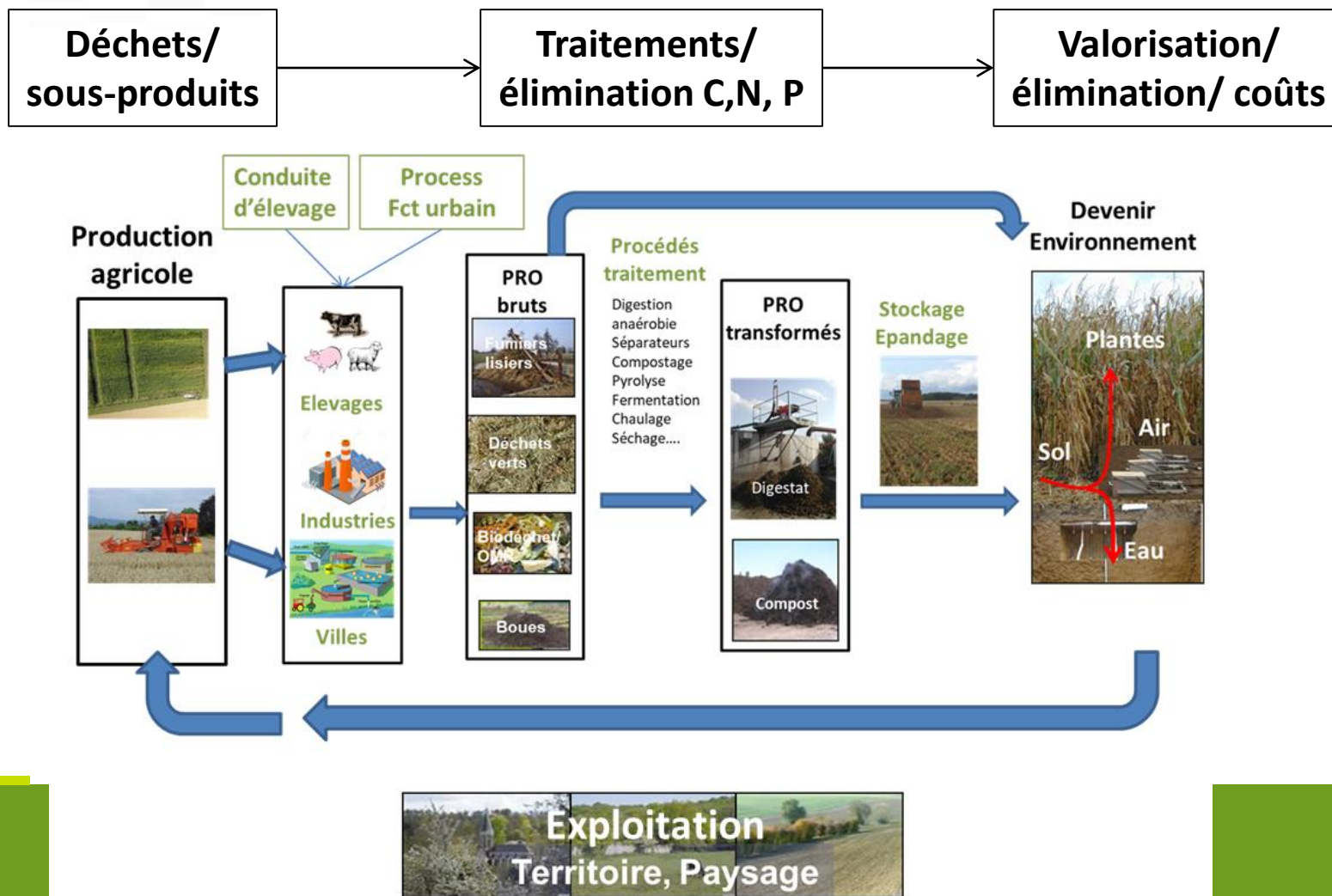
Intérêts et limites de la substitution des engrais par la fertilisation organique

Sabine HOUOT (INRA - ECOSYS)



Le recyclage agricole des produits organiques (PRO)

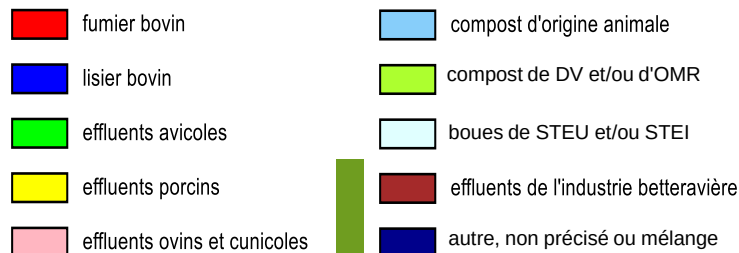
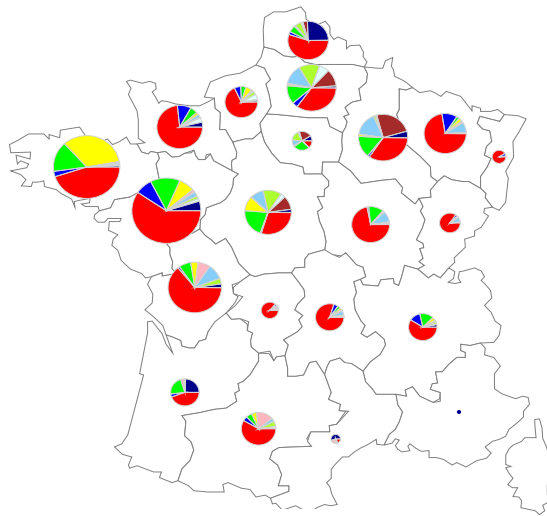
- ❖ Essentiellement agricoles: 94% d'effluents d'élevage
- ❖ 36% du N, 55% du P et 92% du K apportés en fertilisation (Unifa, 2016)
- ❖ Filières de valorisation/élimination



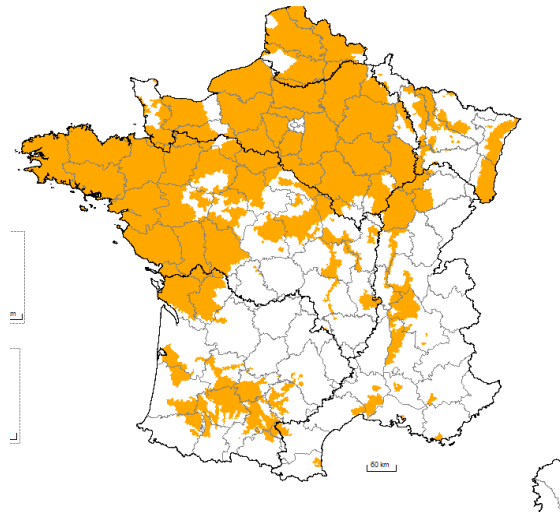
Hétérogénéité spatiale du recyclage en France

- Une **hétérogénéité spatiale** des épandages de PRO en France liée à la distribution de l'élevage; hétérogénéité également à des échelles locales
- **Impacts environnementaux**: excédents structurels → lixiviation de NO_3 , volatilisation NH_3 , excès de P...
- Interactions systèmes de production x sensibilité des milieux x impacts

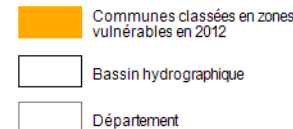
Epandage de PRO en grandes cultures



Carte des zones vulnérables

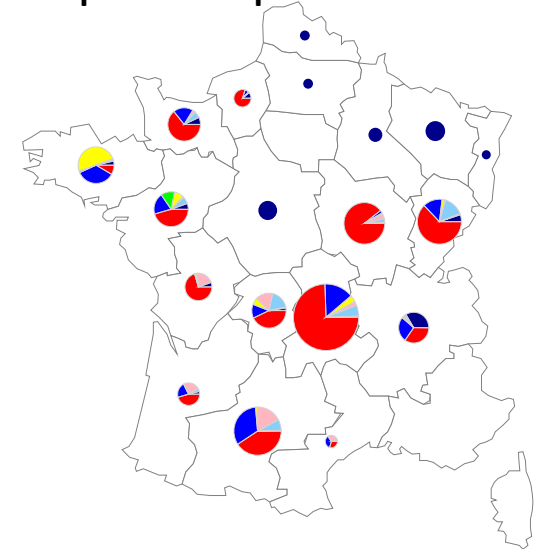


Légende



(Source : Agreste – Enquête Pratiques culturales grandes cultures et prairies 2011)

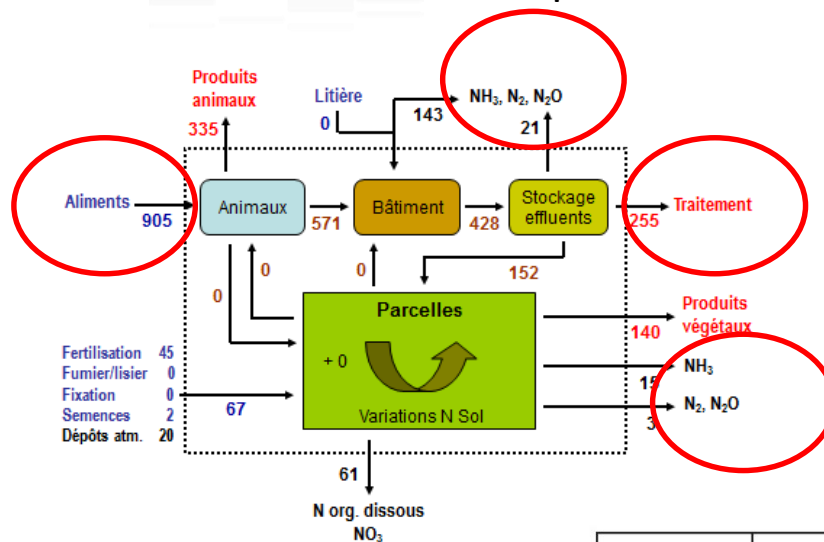
Epandage de PRO en prairies temporaires et permanentes



(Esco MAFOR, 2014)

Impacts environnementaux associés au recyclage

- **Exploitation: système ouvert** avec des pertes liées aux valeurs fertilisantes des PROs
- **Efficiace insuffisante** du N, pertes de P...



Ex des flux de N dans une exploitation porcine de l'Ouest de la France (kgN/ha an)

(Esco N, 2012)

(Esco MAFOR, 2014)

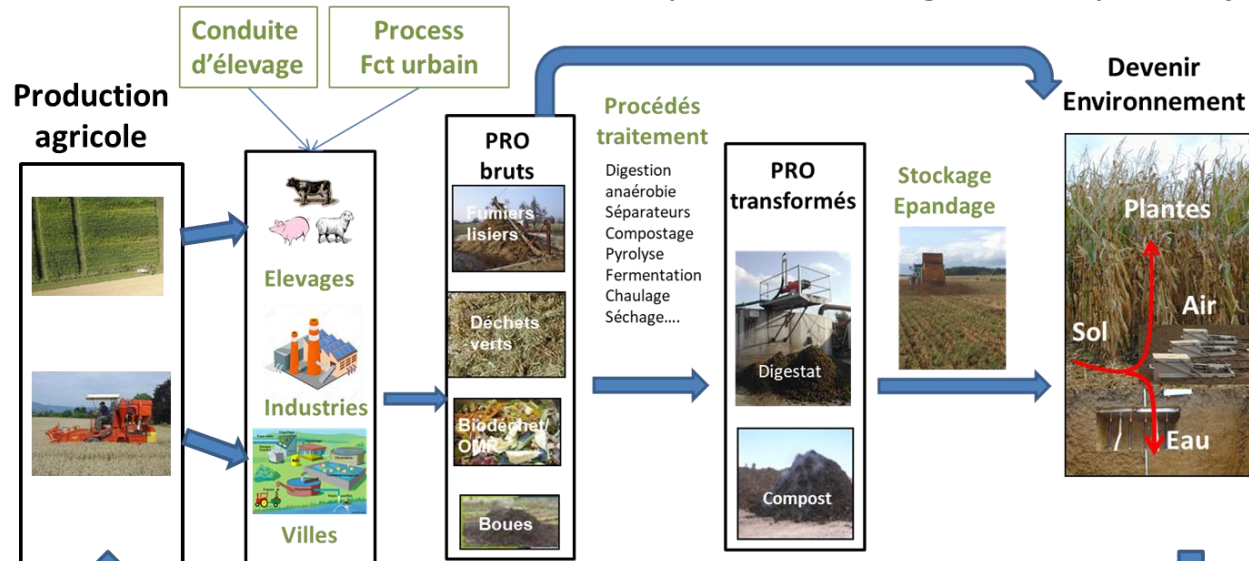
- **Contaminants** biologiques et chimiques → quel devenir dans l'environnement ? Comment garantir l'innocuité des apports ?
- **Impacts sur qualité de l'air :** NH₃, COV, N₂O, CH₄...

PRO	Types de contaminants		
	Agents biologiques	ETM	CTO
Effluents d'élevage	Pathogènes associés aux matières fécales	Cuivre, zinc	Molécules pharmaceutiques (antibiotiques, hormones)
Boues d'épuration urbaines	Bactéries résistantes aux antibiotiques	Cuivre, zinc, autres ETM	Large spectre dont molécules pharmaceutiques
Composts urbains	Pathogènes associés aux végétaux ou aux résidus de cuisine	Large spectre	Résidus de pesticides
Cendres	Absence	Large spectre selon la nature du combustible	Large spectre (résidus de pesticides si déchets verts)
Sédiments	Bactéries résistantes aux antibiotiques ?	Large spectre	HAP produits lors de l'incinération

Des contraintes au développement du recyclage

Bouclage des cycles biogéochimiques des éléments: contraintes

- **Techniques** → Difficulté de gestion de la fertilisation à partir de PRO (N, P, K, MO), surfaces disponibles
- **Réglementaires** → Directives NO₃ et plans d'épandage, Fertilisation raisonnée, réglementation P, Normalisation, décret boue, réglementation NH₃ en bâtiment...
- **Sociétales** → Problèmes de voisinage: odeurs, implantation des unités de traitement
- **Economiques** → Filière de commercialisation des productions agricoles ayant reçu les PRO



Autres acteurs



Exploitation
Territoire, Paysage



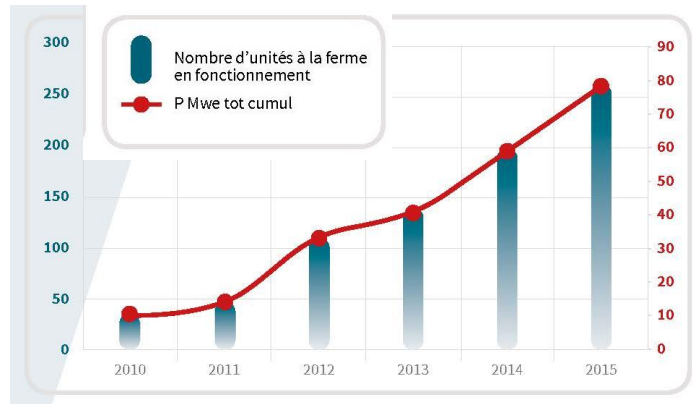
Agriculteurs



Evolution du contexte

1. Développement de la méthanisation

- Plan EMAA 2013 (Energie, méthanisation autonomie azote):
 - Gestion de N et des effluents d'élevage → substitution des engrais
 - Production d'énergie → autonomie des exploitations
- Plan EMAA: objectif 1000 méthaniseurs à la ferme à échéance de 2020



(ADEME, 2017)

- Développement très largement agricole
- Evolution réglementaire pour faciliter la valorisation des digestats agricoles
- Post-traitements pour faciliter valorisation, transport (séparation de phase, compostage...)

Evolution du contexte

2. Loi de transition énergétique pour la croissance verte et plan de réduction et valorisation des déchets (2016)

- Baisse de 10% des déchets ménagers entre 2010 et 2020; réduction de 50% des déchets mis en décharge en 2025; meilleure valorisation des ressources urbaines (Biodéchets, cantines, Gros producteurs)
- Valorisation matière de 55% en 2020
- Développement de l'économie circulaire
- Energie renouvelable (32% consommation totale, 40% électricité en 2030)

3. Initiative 4 pour 1000 (2015)

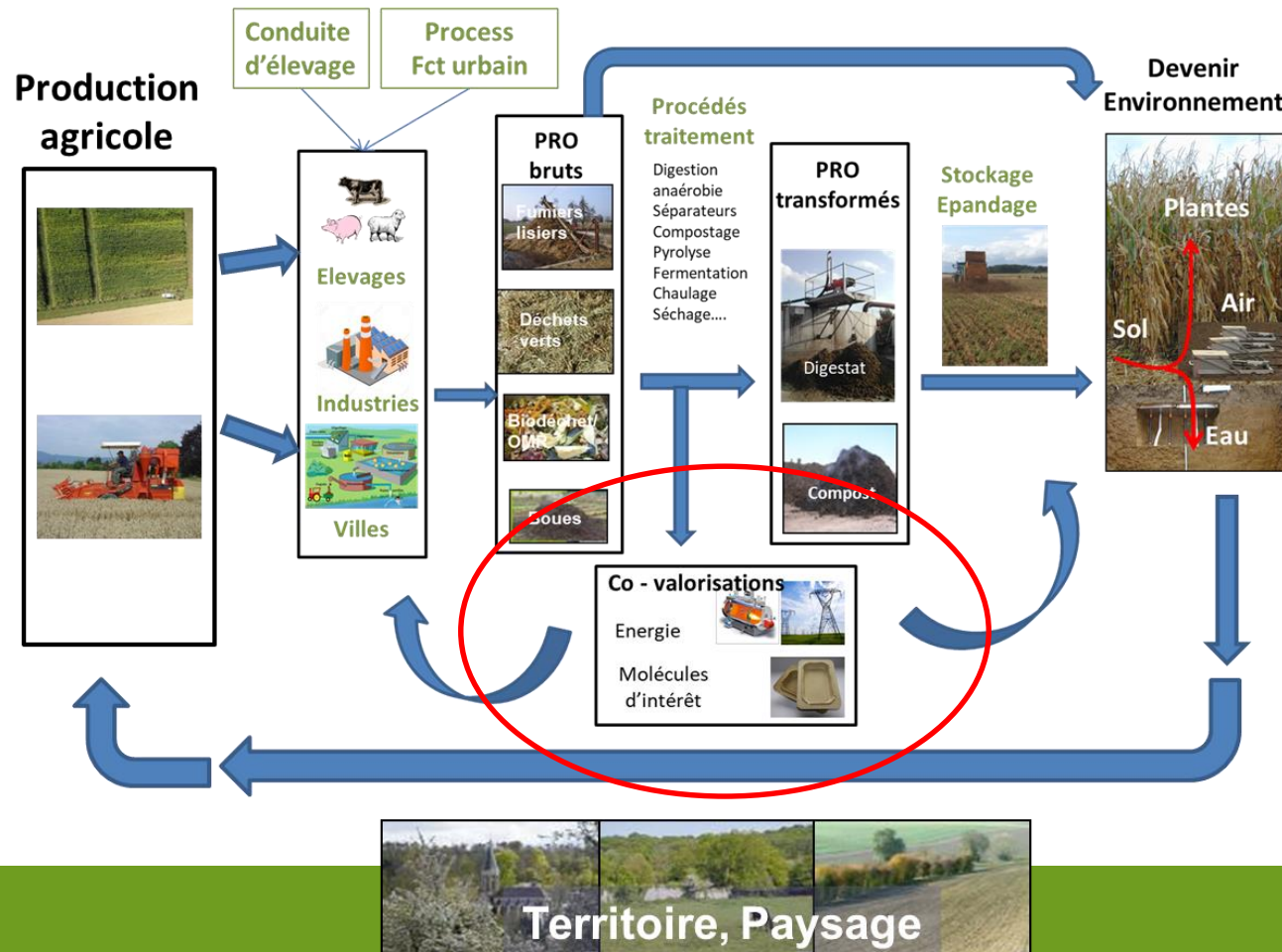
- Augmentation des stocks de C dans les sols et 4‰ par an pourrait compenser les émissions de GES d'origine anthropique
- Quelles potentialités liées aux apports de PRO?
- Crédits Carbone?

4. Développement de la bioéconomie

- Extraction de molécules d'intérêt avant épandage
- Formulation d'engrais/amendements à partir des ressources organiques

Evolution du recyclage agricole des PRO

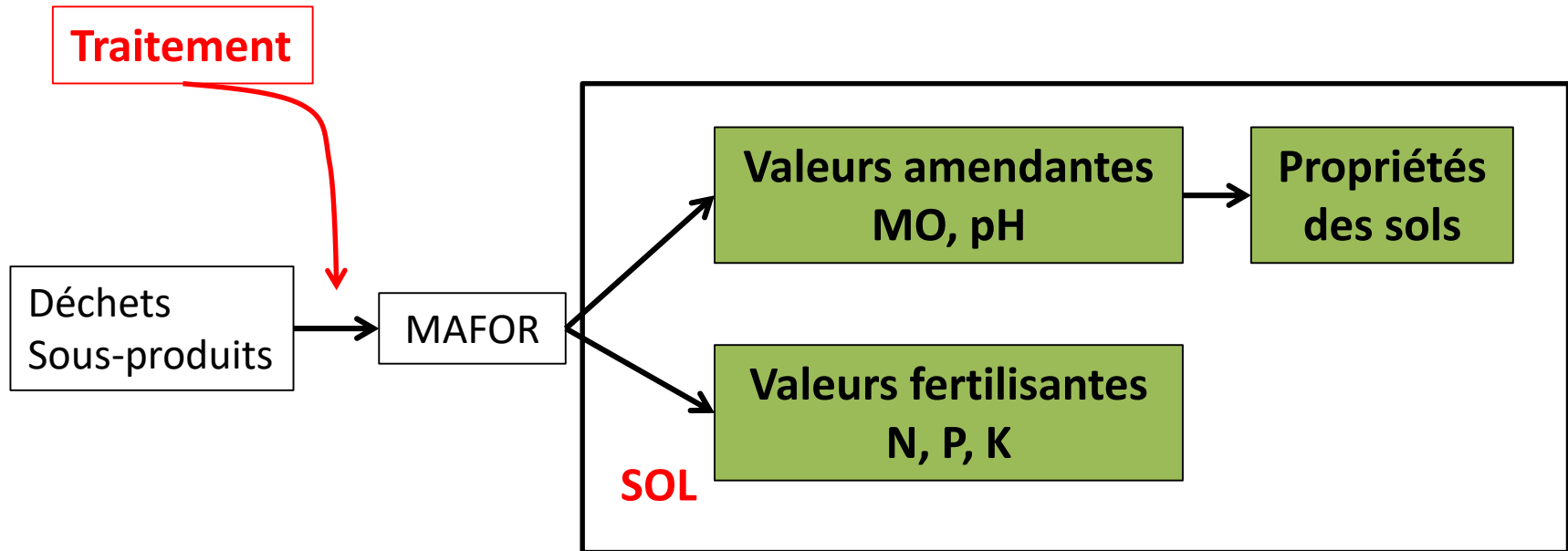
- Des filières diversifiées au sein d'un territoire: valorisation énergétique, matière, retour au sol
- Des échanges entre territoires → développement de « formules », marchés de filières



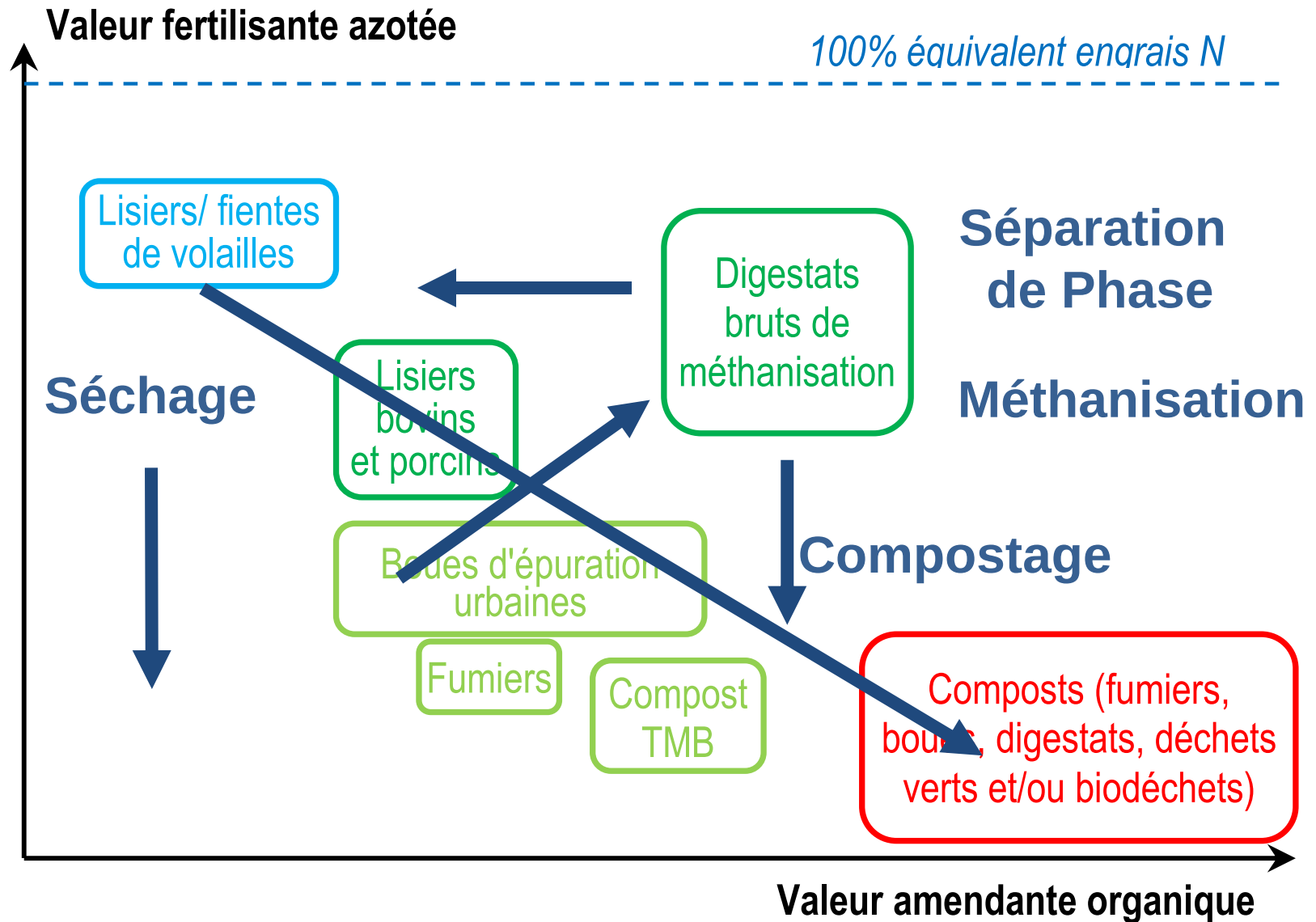
Quels enjeux aujourd'hui pour le recyclage des PRO?

1. **Avoir les bons outils pour piloter les apports:** amendements/engrais; CNPK
2. **Evaluer les effets à long terme:** réseau SOERE-PRO, sites de longue durée

Diversité des PRO: 2 grandes classes



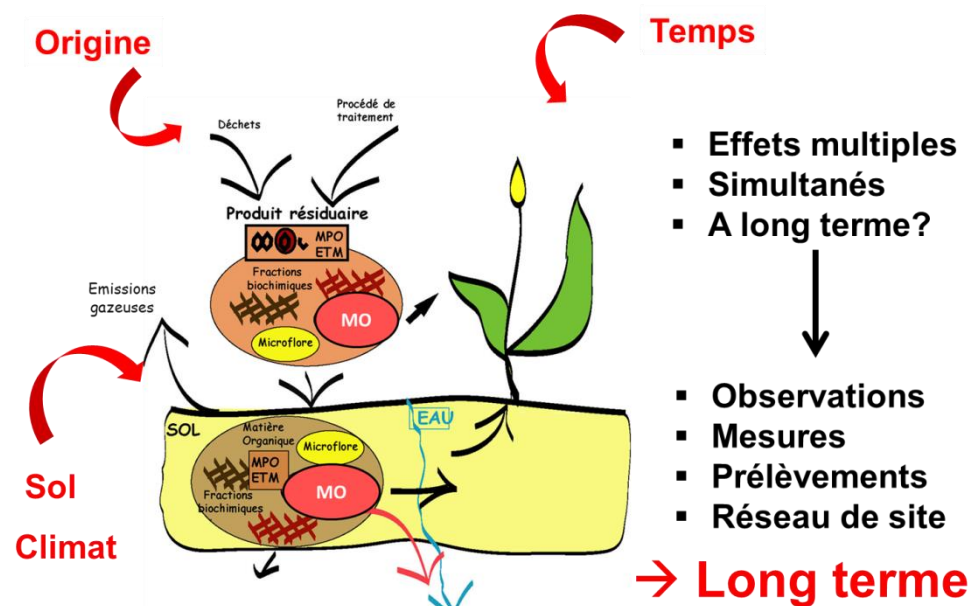
Lien entre valeur fertilisante azotée et amendante



Evaluer les effets à long terme: le SOERE-PRO

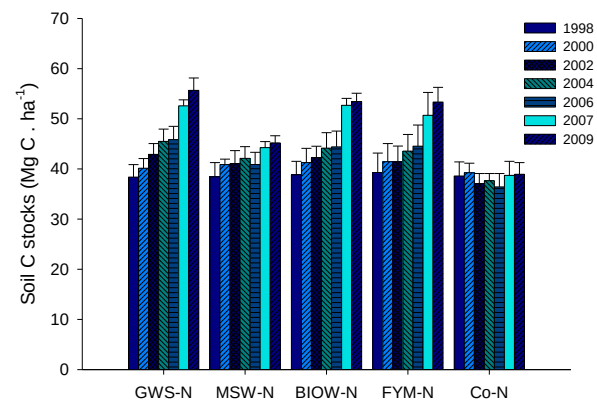


SOERE-PRO: système d'observations et d'expérimentations pour la recherche en Environnement sur les PRO

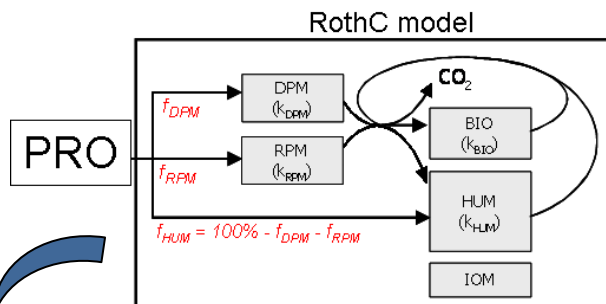


Efficacité variable des PRO: exemple du C

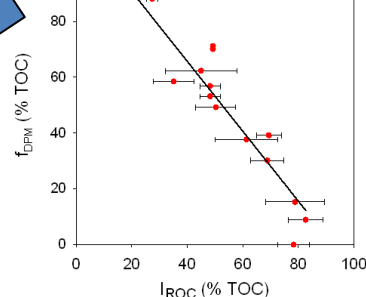
Mesures



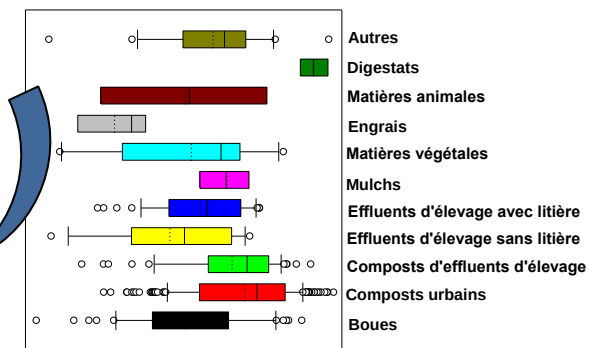
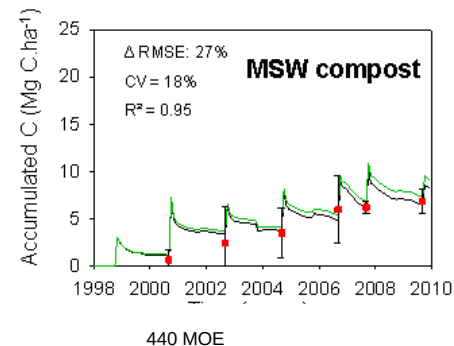
Peltre et al., 2012



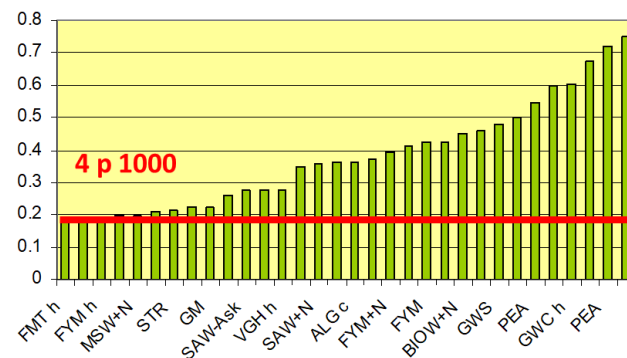
$$f_{DPM} = -1.25 * ISMO + 115.92$$



Base Typo,
ISMO



Stockage potentiel de C en T C . ha⁻¹ . an⁻¹ (20 ans)
Pour une application de 1 T C . ha⁻¹ . an⁻¹



Fumier frais



Tourbe,
Compost stabilisé

Potentialité de stockage

QualiAgro

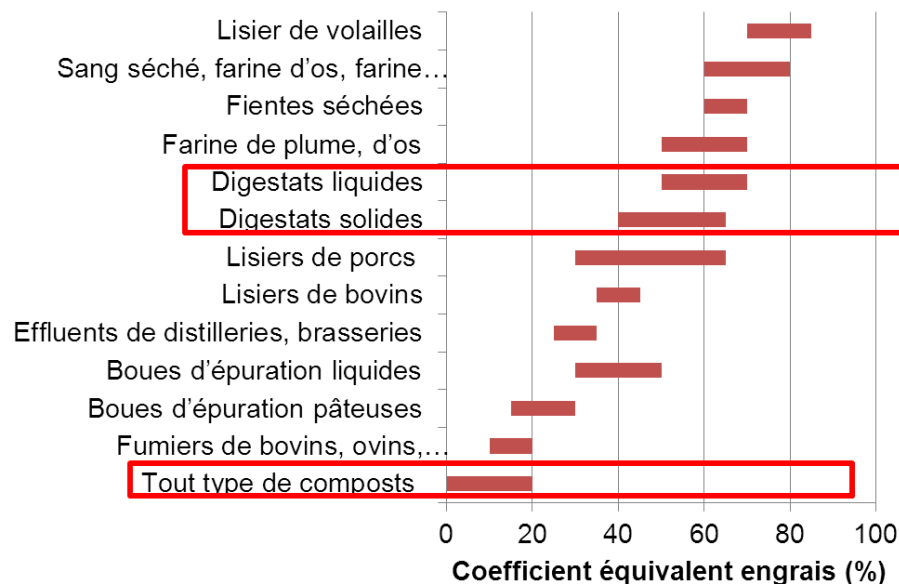


VEOLIA
ENVIRONNEMENT

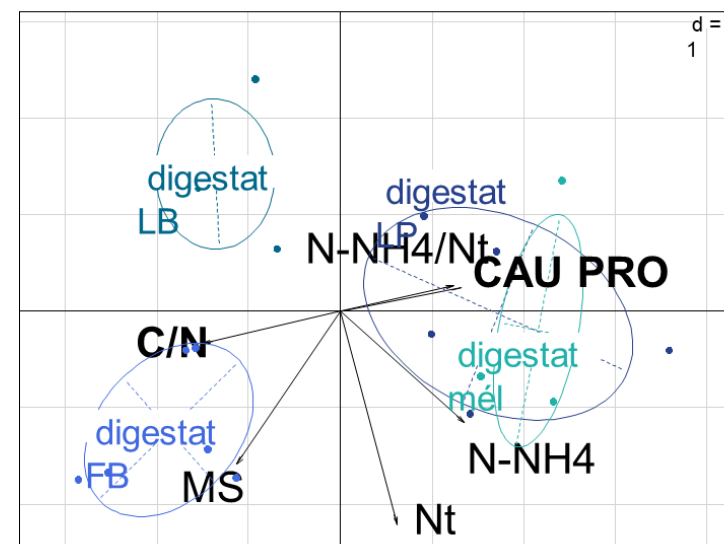
Efficacité variable des PRO: exemple du N

Valeur fertilisante azotée des PRO en référence aux engrais

(Gutser, 2005)



CAU des digestats



Decoopmann et al., 2017

Modélisation du CAU des digestats: **NH₄/Ntotal** et **C/N organique**

$$\text{CAU} = 0,137 + 0,007 \times \text{N-NH}_4/\text{N total} - 0,017 \times \text{C/N organique} \quad (R^2 = 0,56)$$

Quels enjeux aujourd'hui pour le recyclage des PRO?

1. Avoir les bons outils pour piloter les apports: amendements/engrais; CNPK
2. Evaluer les effets à long terme: réseau SOERE-PRO, sites de longue durée
3. Limiter les impacts environnementaux liés aux valeurs fertilisantes: NH_3 , N_2O
4. Contribuer à l'amélioration des propriétés du sol, à l'**atténuation des émissions de GES** : Activité biologique, rétention eau, Substitution des engrais, stockage C, méthanisation ...

Mais.... faire le bilan complet des flux et effets: Emissions N_2O accrues peuvent compenser le stockage de C Flux de contaminants....

Et prise en compte des filières complètes : ressources, traitement, épandage

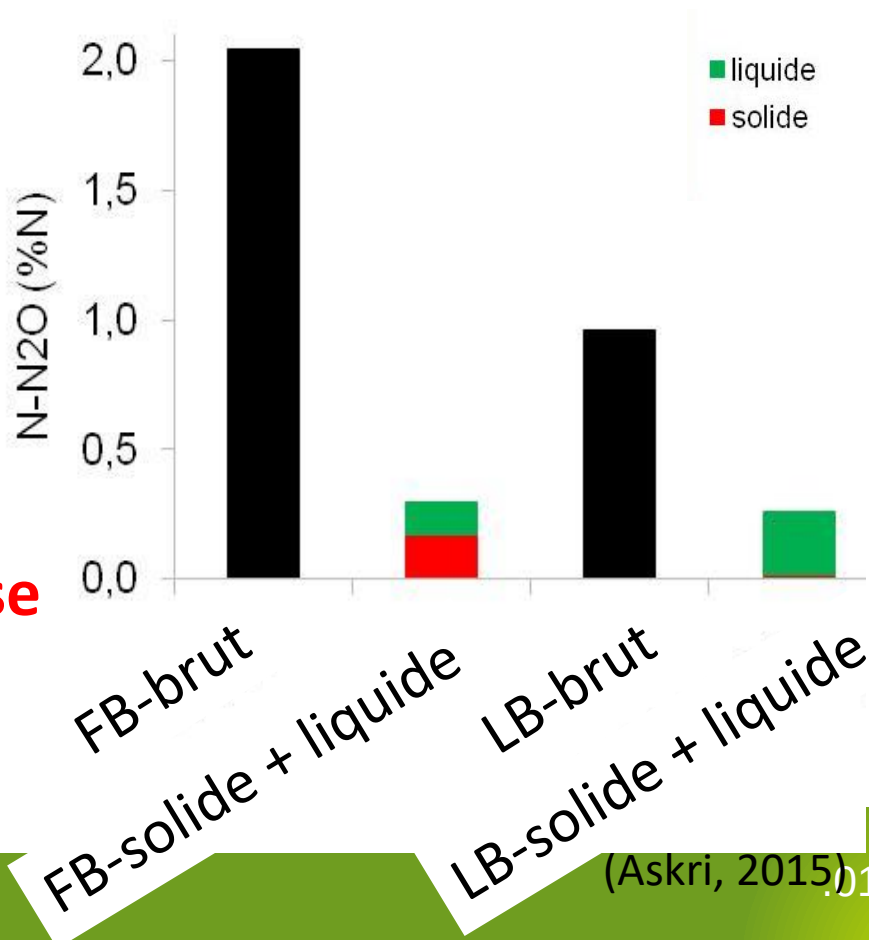
Limiter les impacts liés à la valeur agronomique des PRO: exemple des émissions N_2O

- Facteur d'émission (FE) : $N - N_2O$ émis / N tot apporté

2 digestats agricoles
(effluents d'élevage):

- ✓ Bruts : FE élevés
- ✓ Séparation de phase :
réduction des FE

Intérêt de la séparation de phase

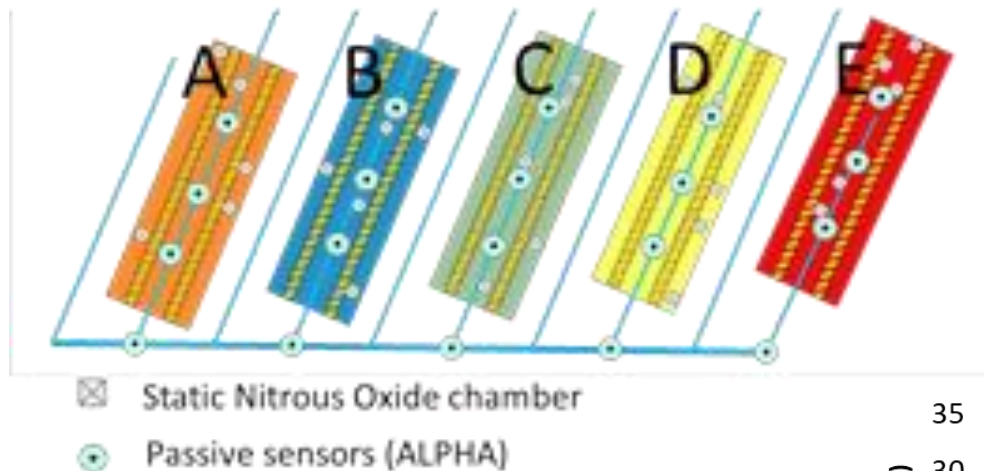


(Askri, 2015)

2016

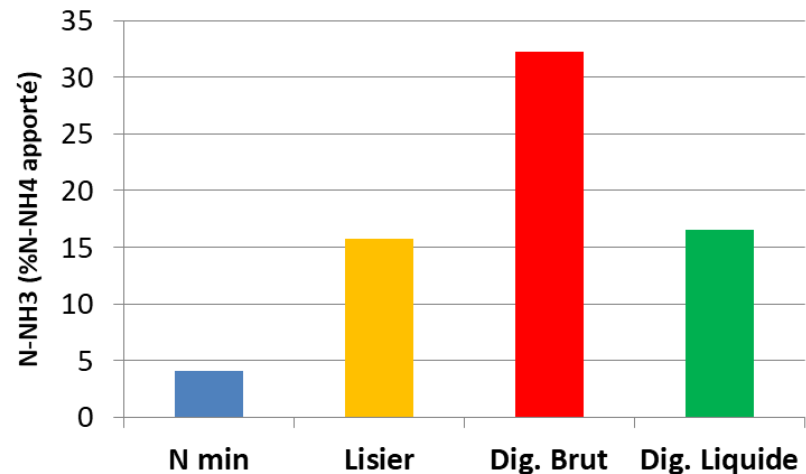
Limiter les impacts liés à la valeur agronomique des PRO: exemple de la volatilisation NH_3

- Essai au champ (**INRA Nouzilly**): comparaison de systèmes de fertilisation
- Suivi N valorisé dans les cultures, N-NH_3 volatilisé, N_2O émis, NO_3 lixivié



A: Lisier + Fumier
B: N minéral
C: Digestat liquide + digestat solide
D: témoin 0
E: Digestat brut

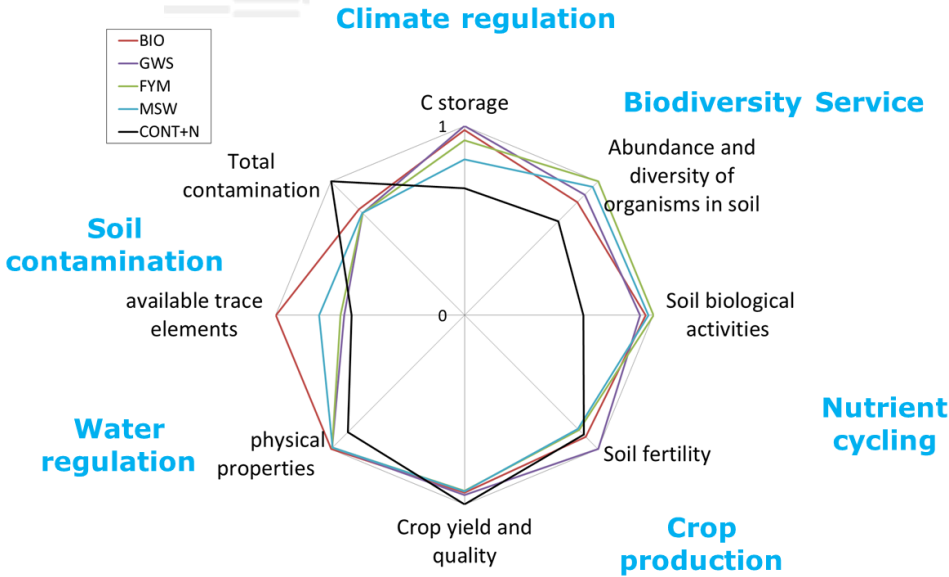
Intensité de la volatilisation de N-NH_3
→ Intérêt de la séparation de phase



Savoie et al., 2018

Evaluation globale de la pratique

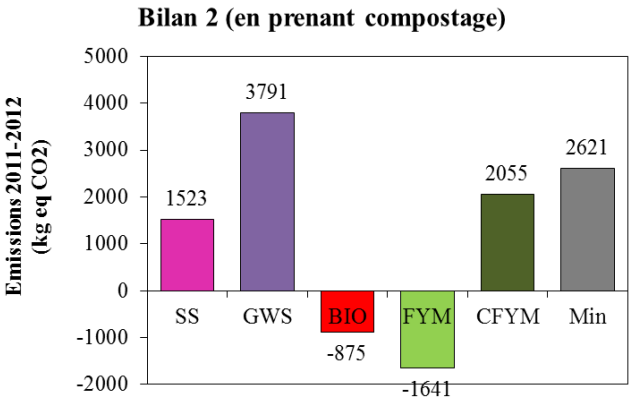
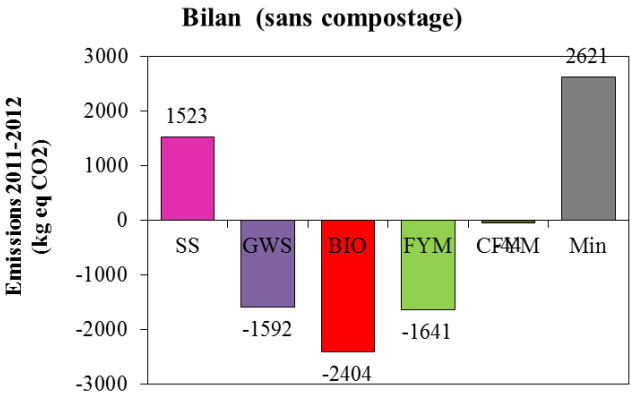
❖ Agrégation des effets → Indicateurs pluri-services



Obriot et al., 2016



❖ Nécessité de prendre en compte la filière → champ + procédé



Essai Colmar

Quels enjeux aujourd'hui pour le recyclage des PRO?



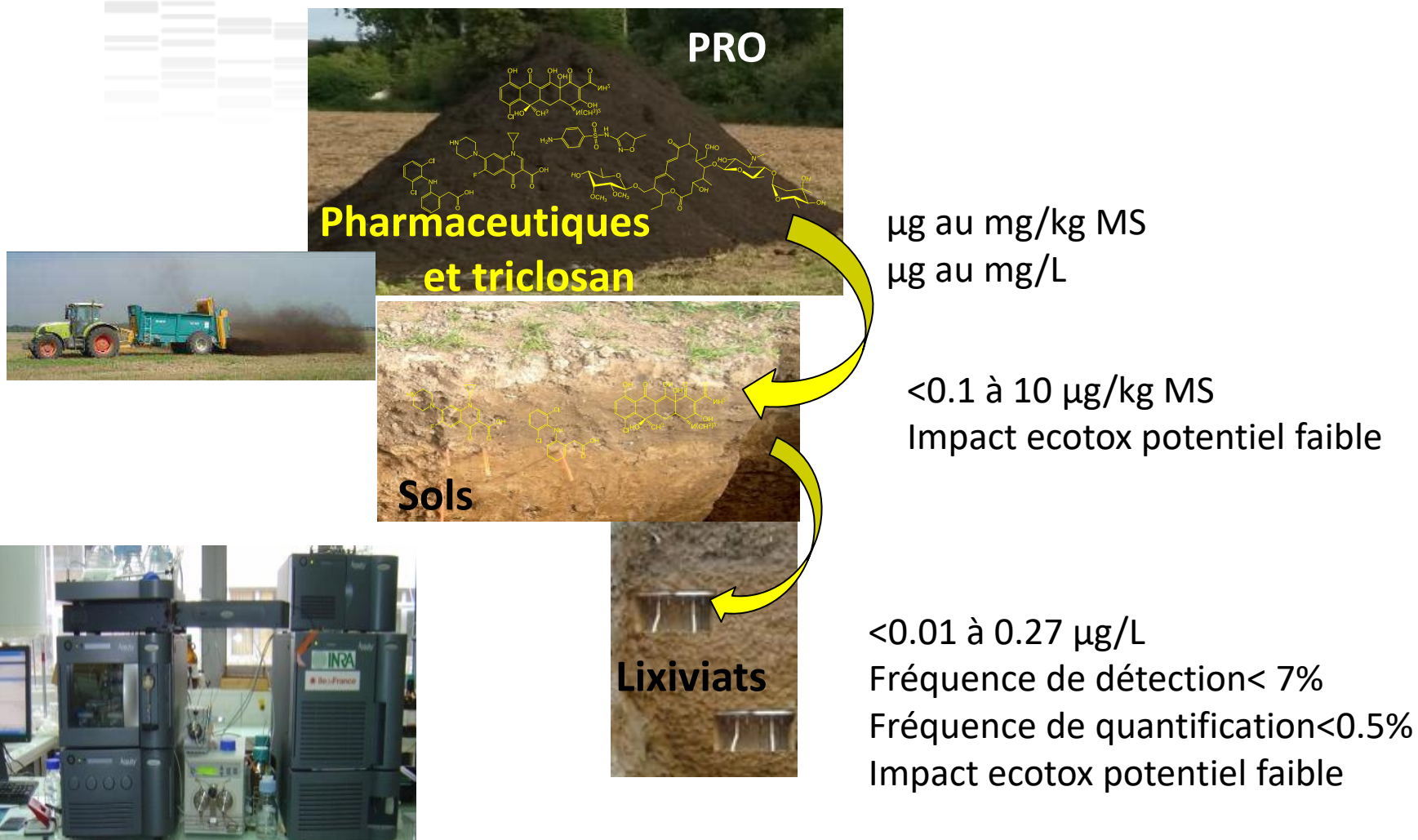
4. Contribuer à l'amélioration des propriétés du sol, à **l'atténuation des émissions de GES** : Activité biologique, rétention eau, Substitution des engrais, stockage C, méthanisation ...

Mais.... faire le bilan complet des flux et effets: Emissions N₂O accrues peuvent compenser le stockage de C Flux de contaminants....

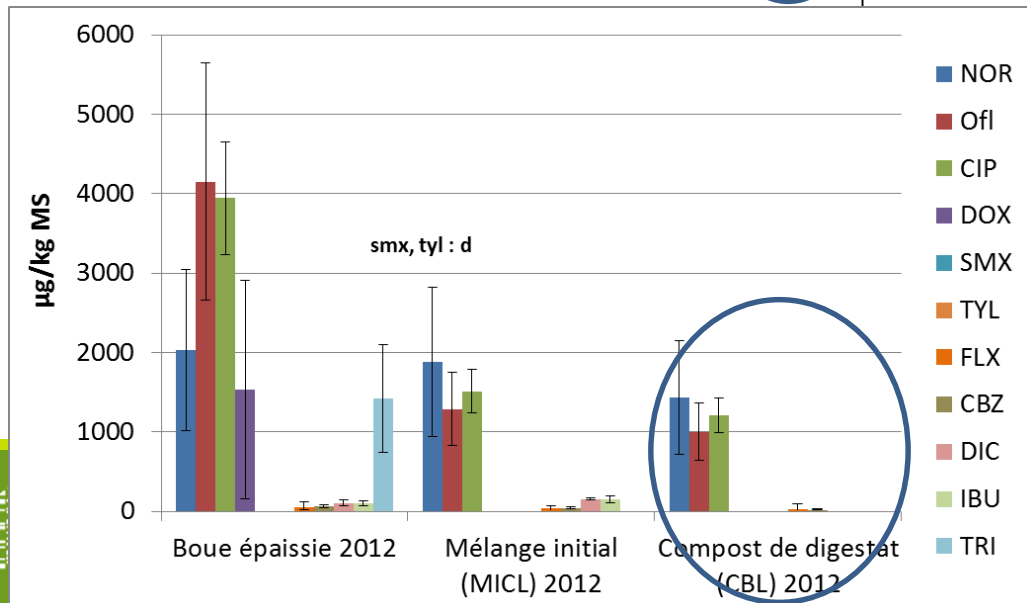
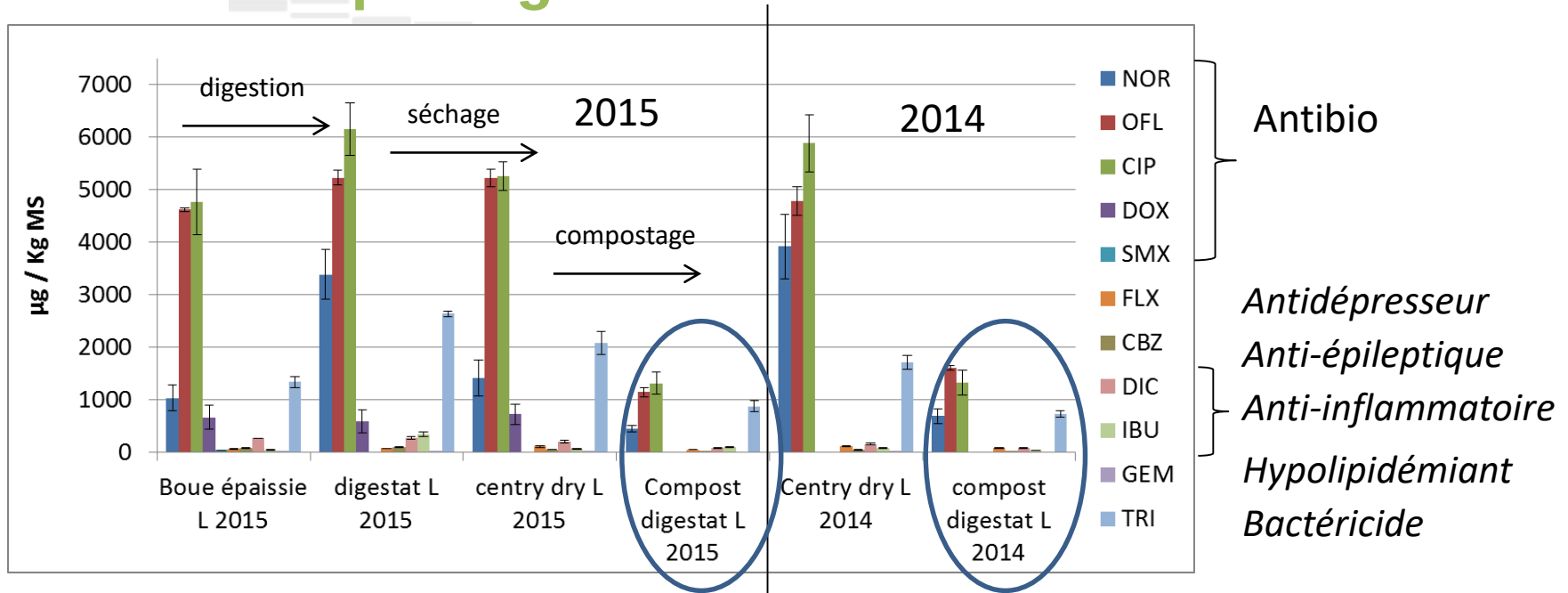
Prise en compte des filières complètes : ressources, traitement, épandage

5. Assurer l'innocuité des filières : devenir/dissipation/dégradation des contaminants, dissémination de gènes de résistance aux antibiotiques, dissémination de pathogènes

Bilan des pharmaceutiques au champ



Dissipation de pharmaceutiques au cours d'une filière métha/compostage: boue



- Augmentation des concentrations pendant la méthanisation
- Dissipation pendant compostage (dilution co-substrat et criblage)

Quels enjeux aujourd'hui pour le recyclage des PRO?

4. Contribuer à l'amélioration des propriétés du sol, à l'**atténuation des émissions de GES** : Activité biologique, rétention eau, Substitution des engrais, stockage C, méthanisation ...

Mais... faire le bilan complet des flux et effets: Emissions N₂O accrues peuvent compenser le stockage de C Flux de contaminants....

Prise en compte des filières complètes : ressources, traitement, épandage

5. **Assurer l'innocuité des filières** : devenir/dissipation/dégradation des contaminants, dissémination de gènes de résistance aux antibiotiques, dissémination de pathogènes

6. **Alimentation des méthaniseurs (Effluents, CIVE, résidus, ...).** Préserver la **qualité des agrosystèmes**: (contaminants), stocks de C, biodiversité...



Effet de la méthanisation sur bilan du C

Thomsen et al. 2013



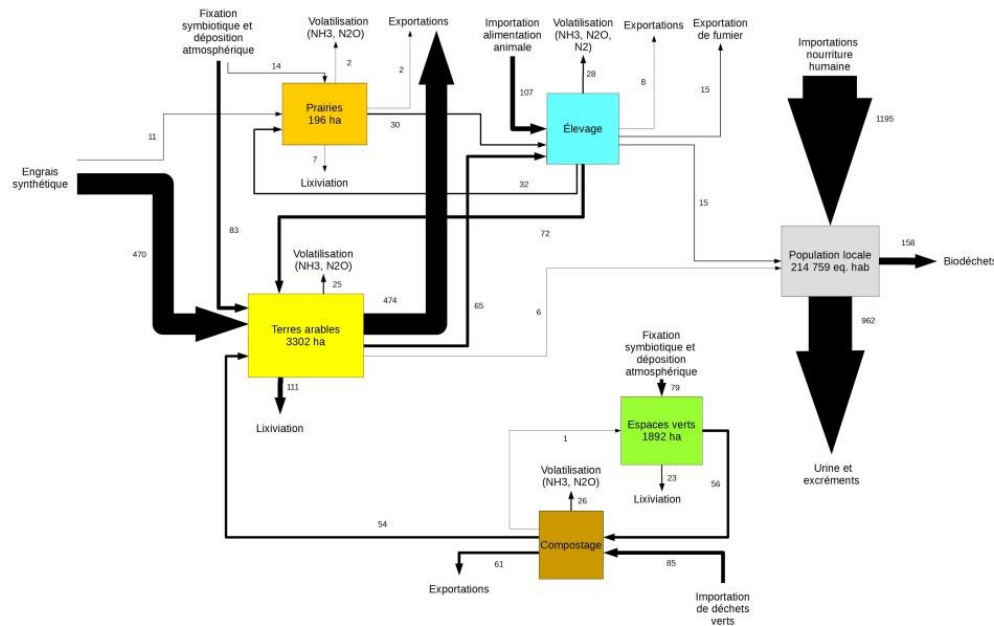
- Simulation AMG évolution C sol en cas de méthanisation à la ferme ou centralisée: pas d'effet sur les stocks de MO, mais simulation (Bodilis et al., 2015).
- Effet sur biomasse microbienne: léger effet dépressif en contexte allemand (Wentzel et al., 2015)

Quels enjeux aujourd'hui pour le recyclage des PRO?

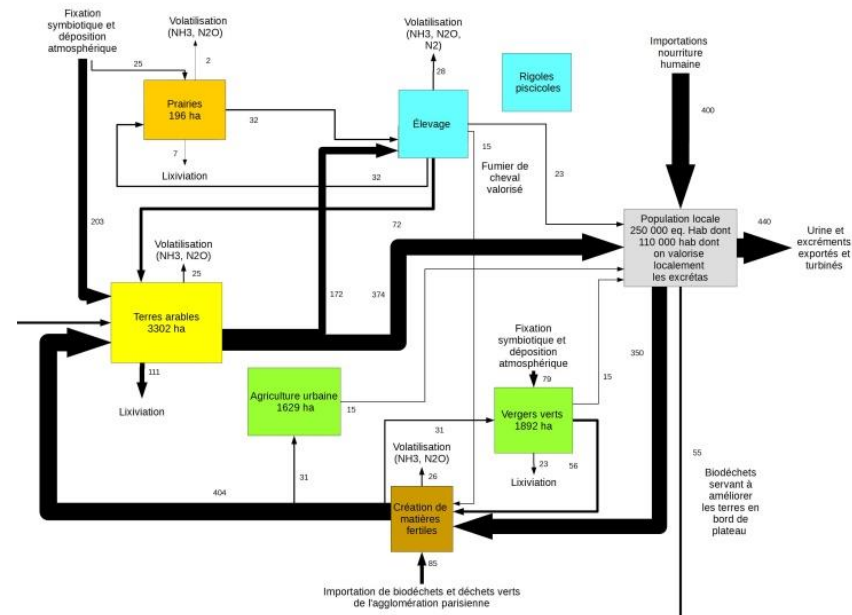
7. Capter des ressources mal valorisées (Urines, biodéchets...) → nouvelles filières. (4% du N émis dans les urines valorisés via les boues alors que N représente 140% des besoins des cultures en Ile de France (Esculier, 2018). Efficience du recyclage du P des déchets seulement de 50% (Senthikumar et al., 2014)

8. Boucler les cycles: exploitation → échelle territoriale. Développer des outils de gestion territoriale des ressources, de leur transformation et valorisation

Flux de N actuel (t/an) sur le plateau de Saclay



Scénario optimisé Flux de N (t/an)



Le mot de la fin....



Le recyclage des PRO:

- C'est nécessaire: bouclage des cycles
- A considérer comme un levier vers l'agroécologie
- Fait partie de la bioéconomie
- Garantir l'innocuité et développer les outils de pilotage au champ
- Considérer l'ensemble des flux, effets
- A réfléchir à l'échelle filière, au sein des territoires, avec l'ensemble des acteurs