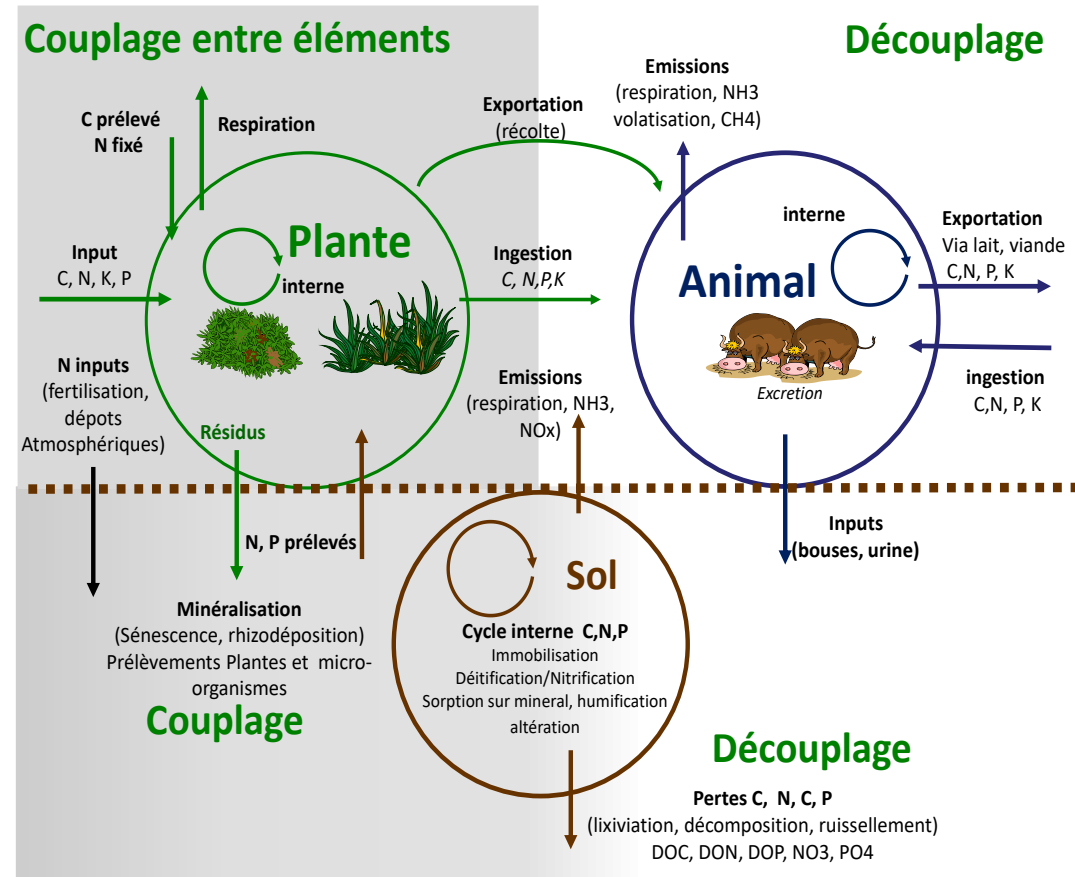


Recherche de synergies entre culture et élevage pour le bouclage des cycles

Thomas NESME et Sylvain PELLERIN
(UMR ISPA)
Juin 2023

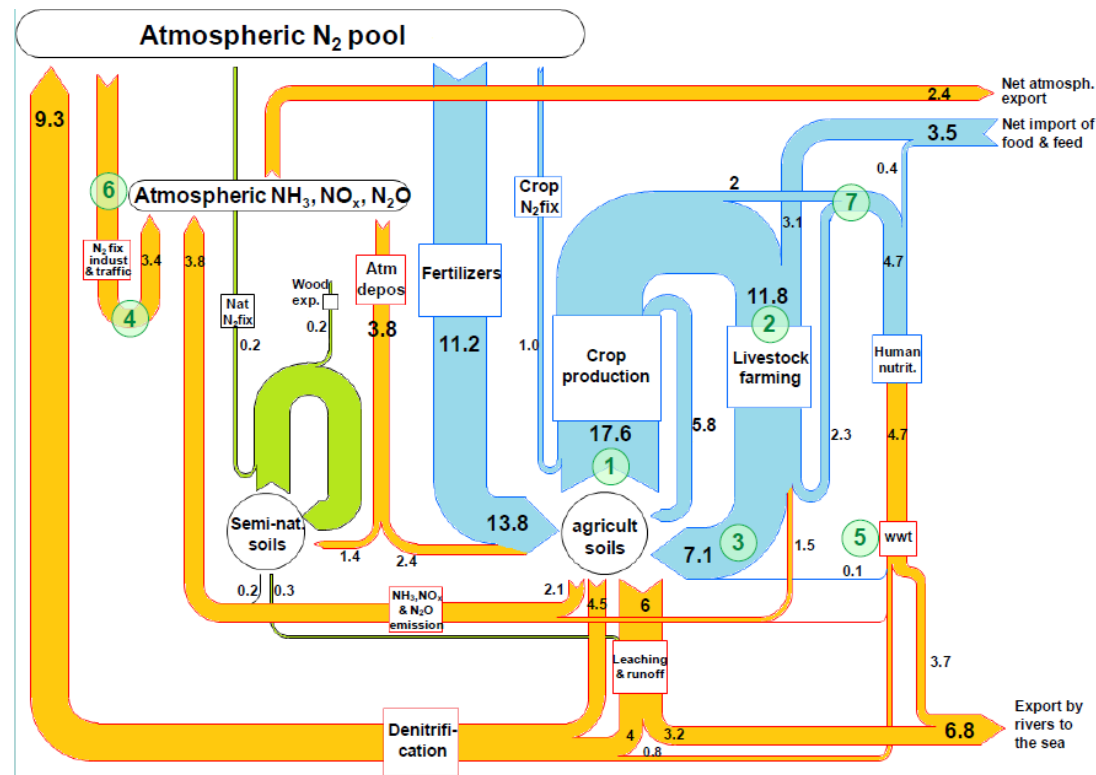
Dans les agrosystèmes les cycles CNP sont étroitement dépendants

- Des flux entre compartiments (sols, végétaux, animaux)
- Des phases de couplage et de découplage entre éléments
- Des émissions de composés polluants vers l'eau (NO_3^- , phosphates, C organique dissous) et l'air (CO_2 , CH_4 , N_2O , NH_3)



L'élevage contribue à l'utilisation de ressources N et P, du fait des surfaces dédiées à la production de son alimentation

- En Europe, 67% de l'azote prélevé par les végétaux est consommé par les animaux (European Nitrogen Assessment)



Il contribue aussi aux émissions de polluants vers les eaux et l'atmosphère

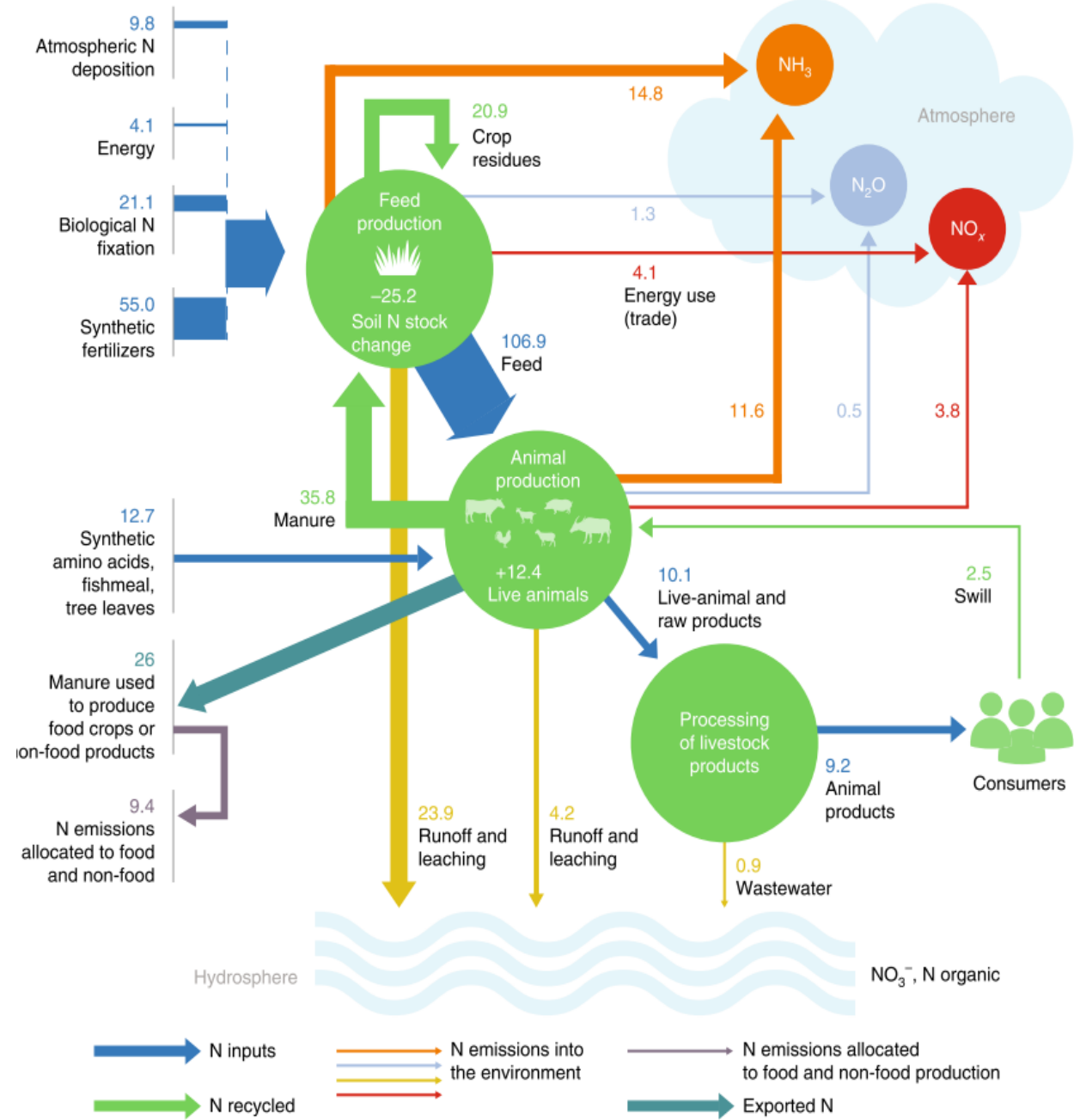
- **directement (CH₄ entérique; N₂O, CH₄ et NH₃ liés aux effluents)**
- **et indirectement via les surfaces dédiées à la production d'aliments (N₂O)**



	Sans les surfaces dédiées	Avec les surfaces dédiées
Nitrates vers les eaux (NO ₃ ⁻)	25-30%	50%
Emissions d'ammoniac (NH ₃)	80%	90%
Emissions de protoxyde d'azote (N ₂ O)	35-40%	70%

Contribution de l'élevage aux émissions de NO₃⁻, NH₃, N₂O en France (INRA, 2012)

- Il en résulte de fortes émissions vers l'environnement associées à l'élevage, contribuant aux émissions anthropiques mondiales à hauteur de
 - 60% pour le NH3
 - 39% pour le NO3
 - 32% pour le N2O
 - 23% pour les NOx
- 68% de ces émissions sont dues à la production d'aliments et au stockage des effluents
- 2/3 de ces émissions sont localisées en Asie



Pour autant, l'élevage contribue aussi au bouclage des cycles des éléments via la production d'effluents, utilisables comme engrais, en substitution aux engrais de synthèse

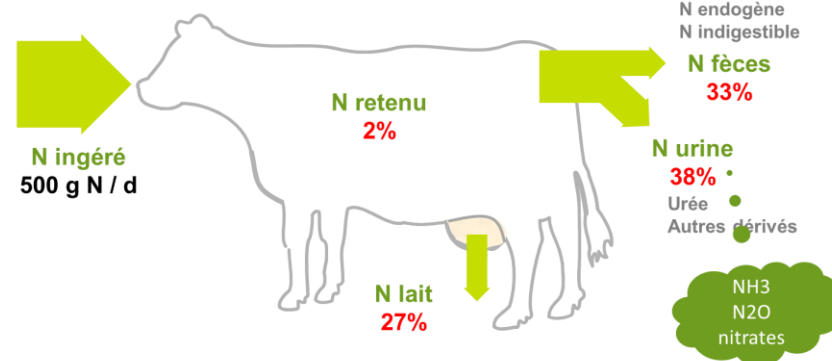
En France les apports de N, P, K par les produits organiques, incluant les restitutions au pâturage, représentent

- 39% des apports de N
- 70% des apports de P
- 82% des apports de K



Utilisation de l'azote par la vache laitière

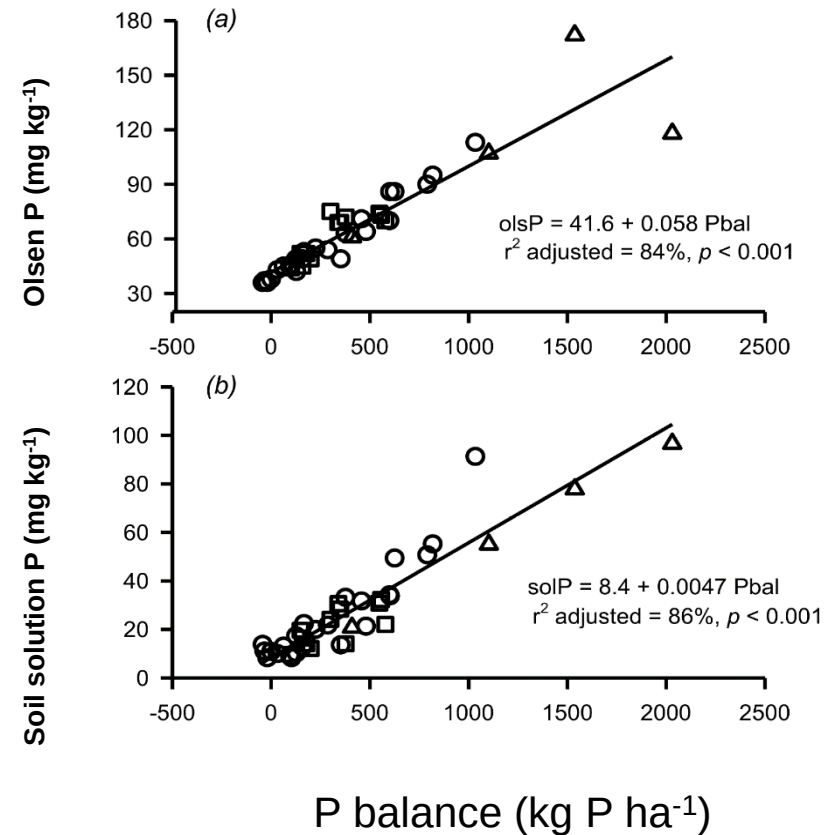
Vache produisant 26kg de lait, en ingérant 19 kgMS à 16% MAT



Spek et al. 2013; Dijkstra et al. 2013



Les essais au champ montrent que les produits organiques sont aussi efficaces, à moyen terme, que les engrais minéraux pour l'entretien de la fertilité P des sols



○	Fumier de volailles
□	Superphosphate (TSP)
△	Fumier de volailles + TSP

Bémols

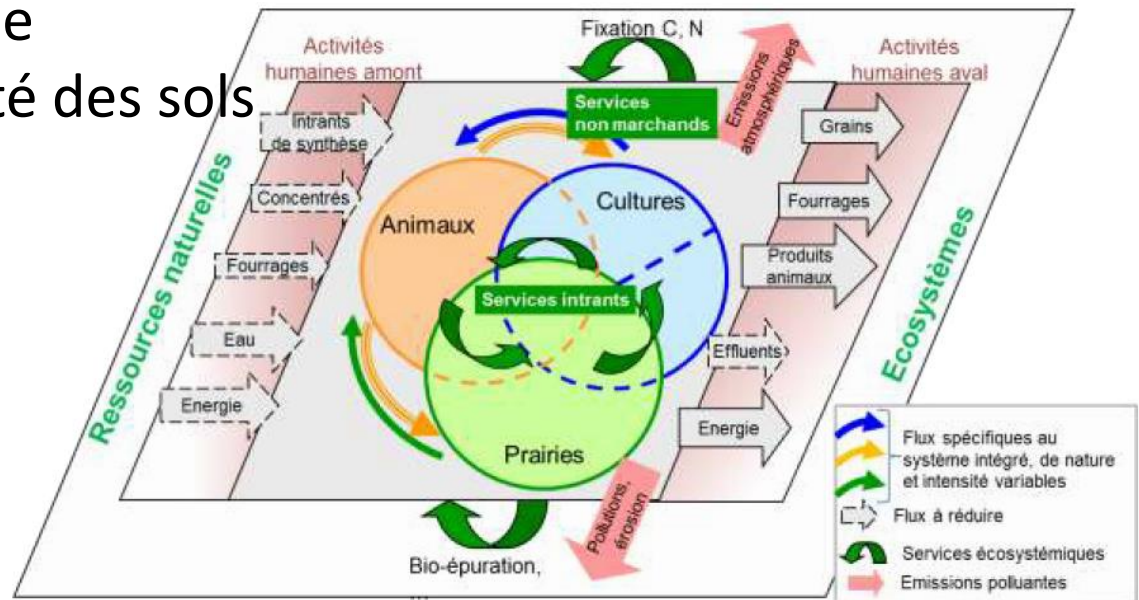
- Asynchronie libération de N et besoins des cultures
- Déséquilibre des rapports N/P des effluents et des cultures

(Shepherd and Withers, 1999)

Lorsqu'ils sont co-localisés avec des prairies, les systèmes d'élevage contribuent à concentrer et « déplacer » de la fertilité depuis les sols de prairies vers les sols de cultures



- Avec des risques de « miner » la fertilité des sols prairiaux

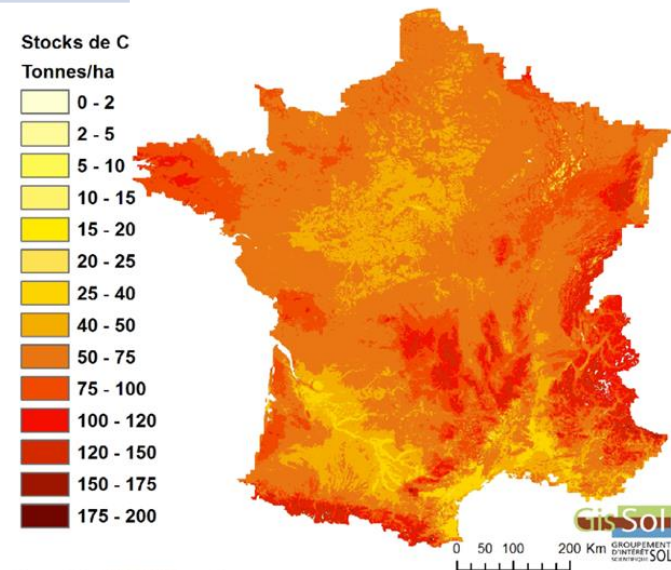


L'élevage permet aussi de valoriser/maintenir des surfaces en prairies permanentes, caractérisées par des stocks de C plus élevés qu'en grande culture

	min	moyenne	médiane	max	écart type
Stock de C organique sous prairie permanente (t/ha)	18,1	84,6	78,3	309	35.0
Stock de C organique sous grande culture (t/ha)	9,92	51,6	47,9	137	16.2
Stock de C organique sous forêts (t/ha)	6.87	81.0	73.4	230	35.4

INRA, 2019

INRA, GIS SOL

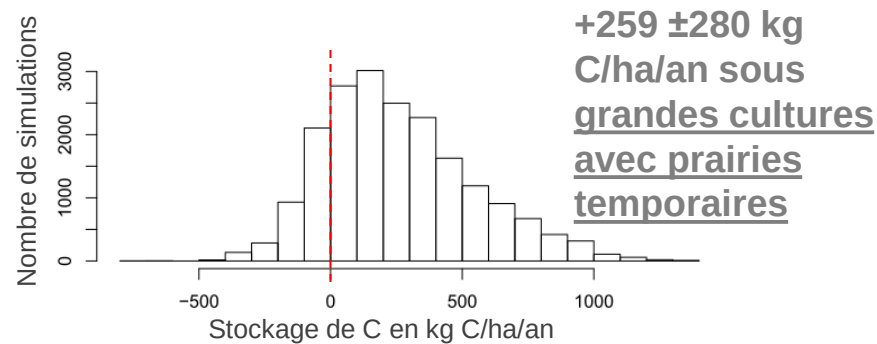
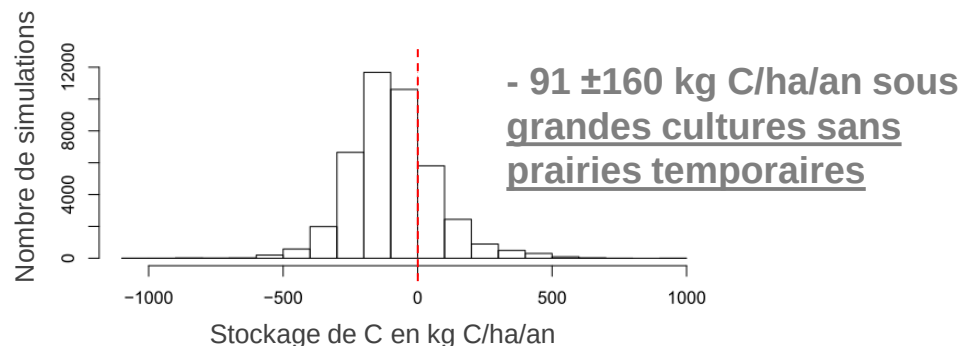
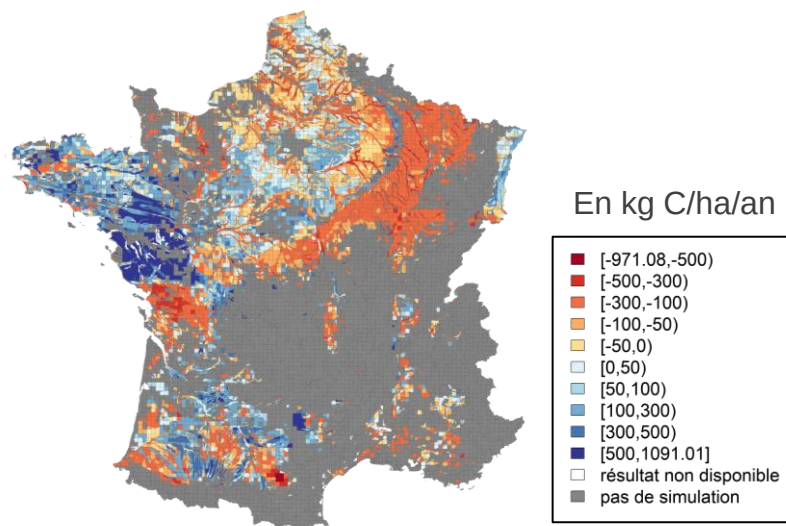


Source: Gis Sol, IGCS-RMQS, Inra 2017.

L'élevage permet aussi d'introduire de la diversité dans les successions de culture (ex prairies temporaires), avec des effets favorables sur

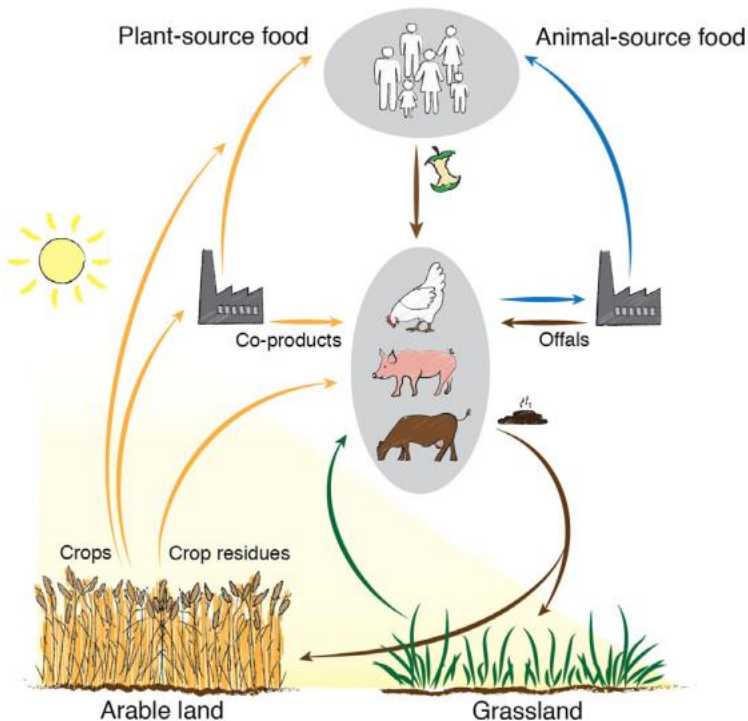
- les stocks de C des sols,
- les entrées d'azote par fixation symbiotique,
- les fuites de NO₃,
- la maîtrise des bioagresseurs

Carte du stockage de carbone annuel dans les terres arables (simulations STICS)

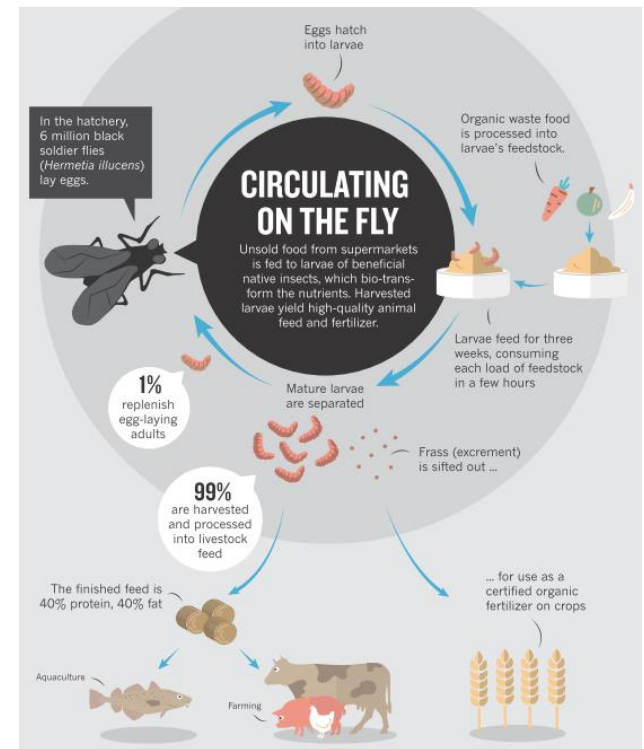


Enfin, les élevages contribuent à valoriser des biomasses et biodéchets, contribuant à entretenir une forme de circularité dans les systèmes alimentaires

- **Valorisation directe ou indirecte**
- **Plutôt valable dans les systèmes peu industrialisés**
- **Avec des enjeux sanitaires (cas du RU en 2001) et des expériences intéressantes au Japon et Corée**



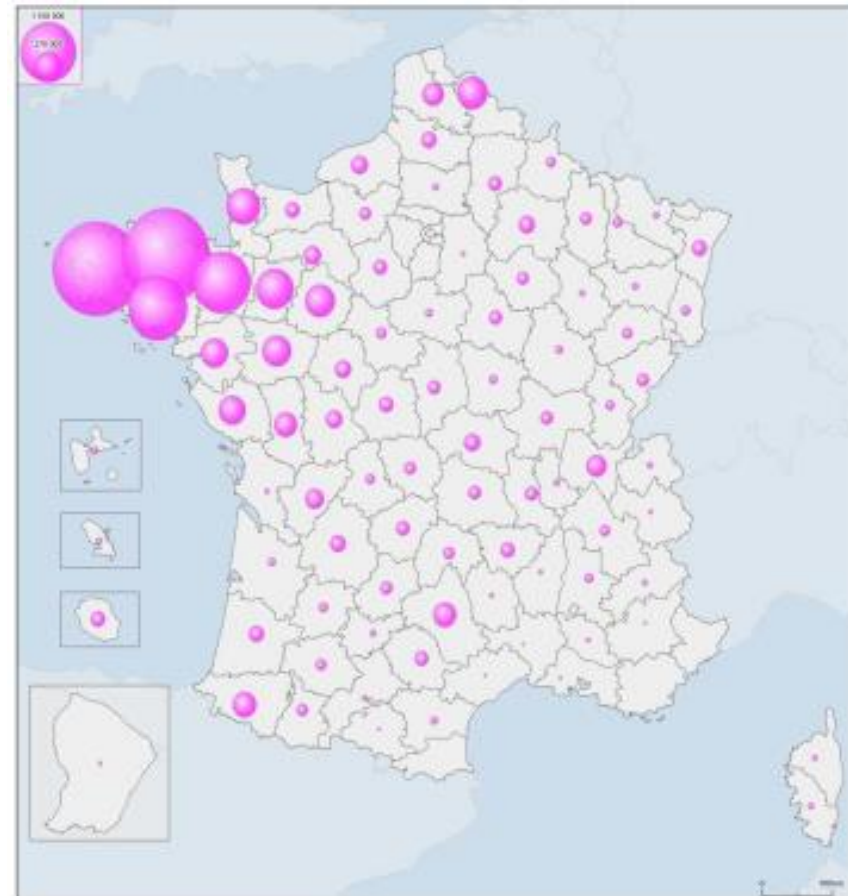
(van Zanten et al., 2018)



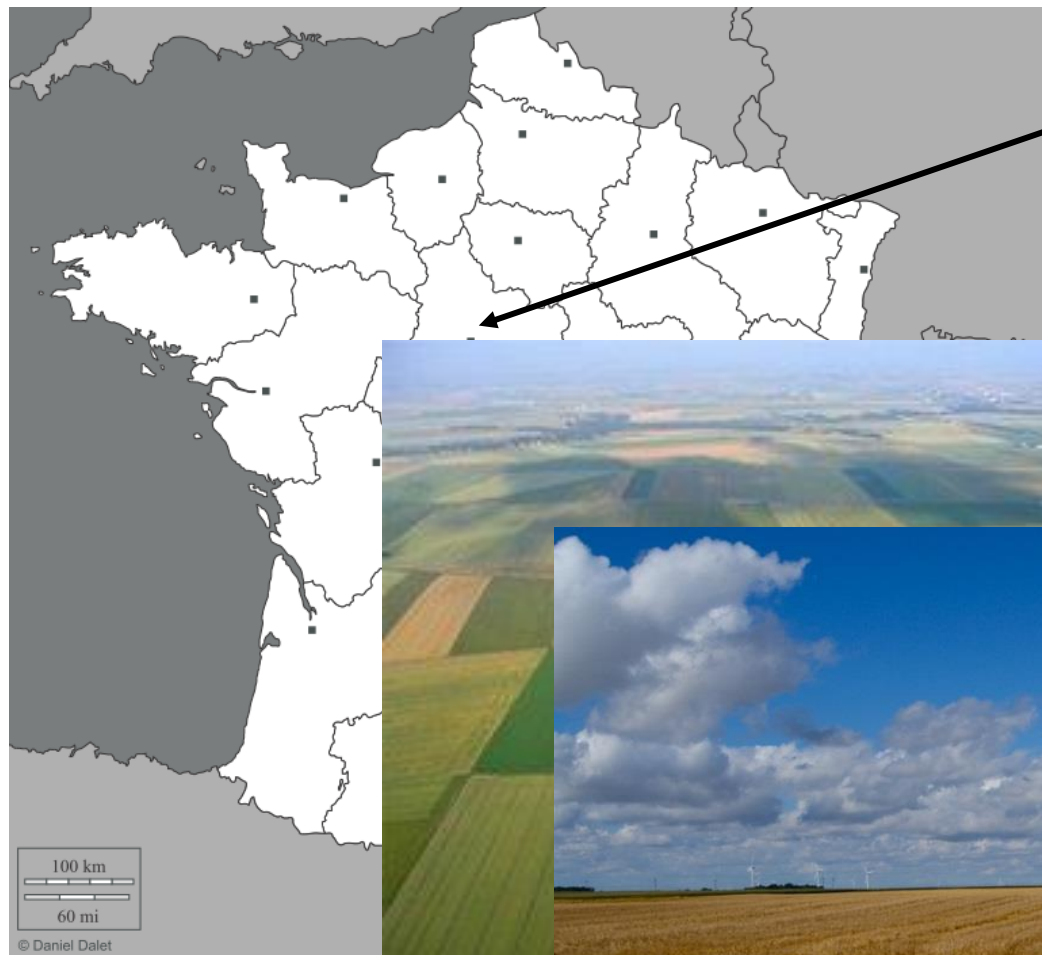
(Kiser, 2016)

- L'évolution des systèmes agricoles au cours des dernières décennies a conduit les élevages à être
 - De plus en plus spécialisés
 - Et ségrégés des systèmes de production végétale
- Cela aboutit à
 - Des excédents d'éléments minéraux issus des effluents animaux dans les régions d'élevage
 - Des déficits d'éléments minéraux qu'il faut combler par l'utilisation d'engrais minéraux dans les régions de cultures

Densité de porcs en France en 2010



Une approche comparative à l'échelle régionale

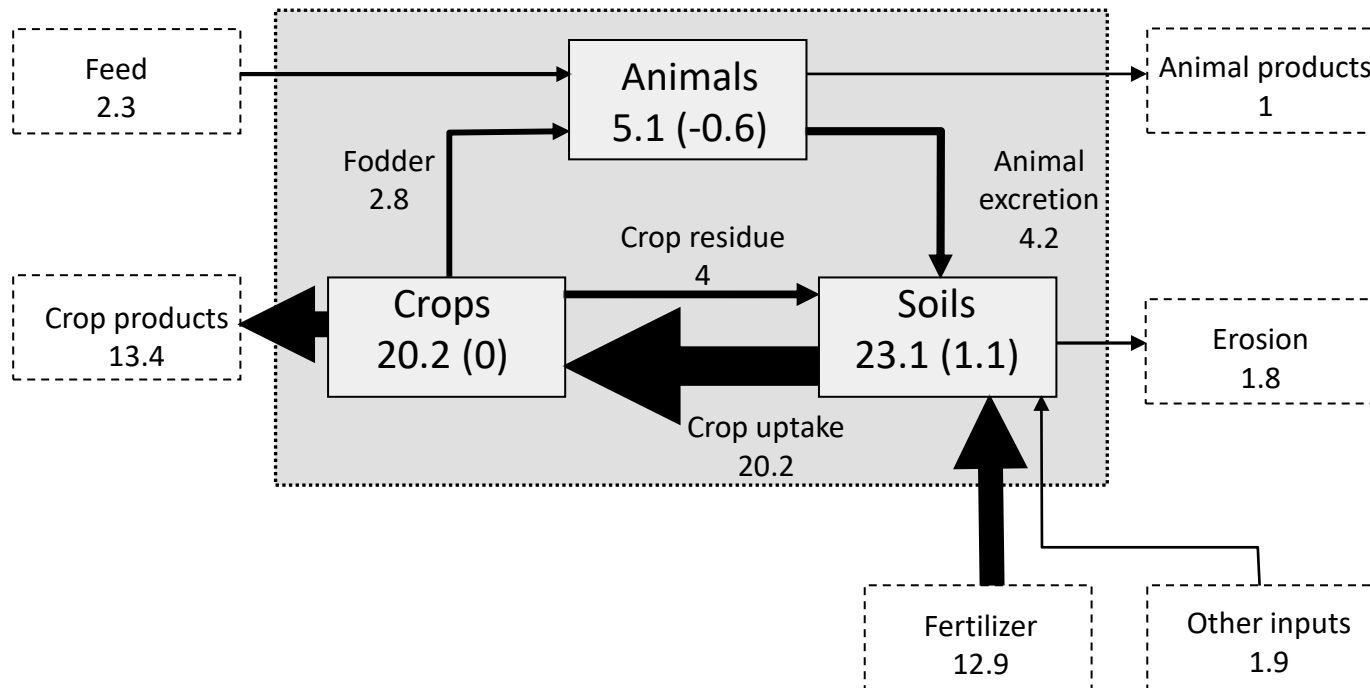


Région Centre

- Chargement animal : 0.3 UGB/ha
- Cultures : 65% de la SAU



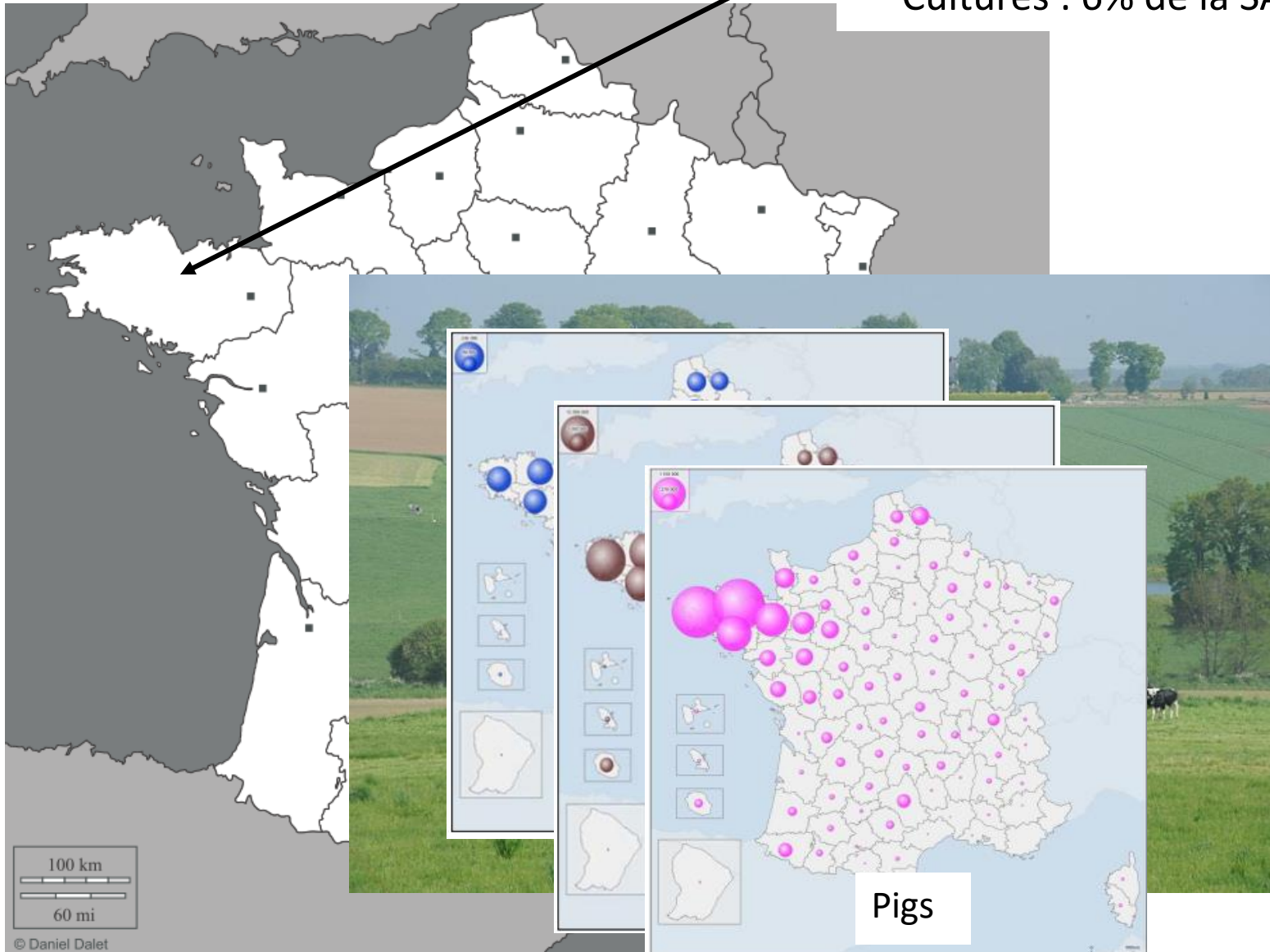
En kg P/ha/an



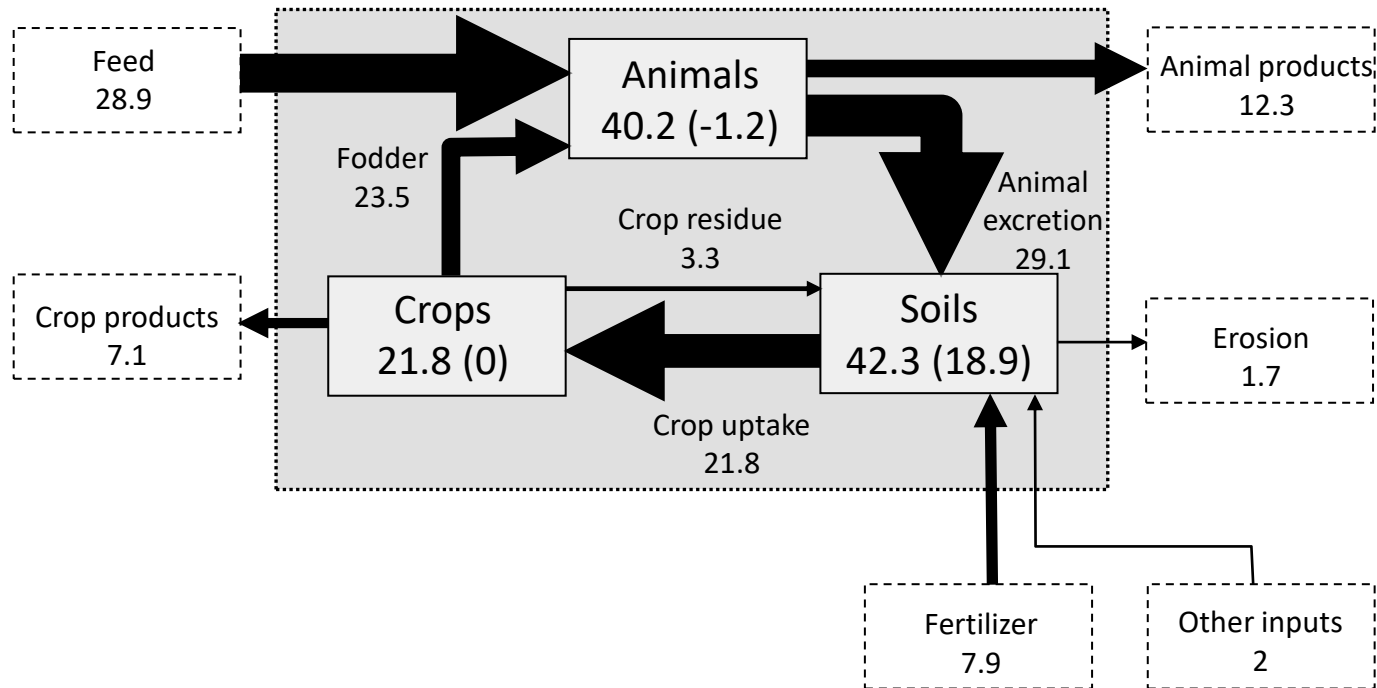
- Equilibre des entrées et sorties de P des sols (+1 kg P/ha/an)
- Recours important aux engrais minéraux (13 kg P/ha/an)

Région Bretagne

- Chargement animal : 2.1 UGB/ha
- Cultures : 6% de la SAU

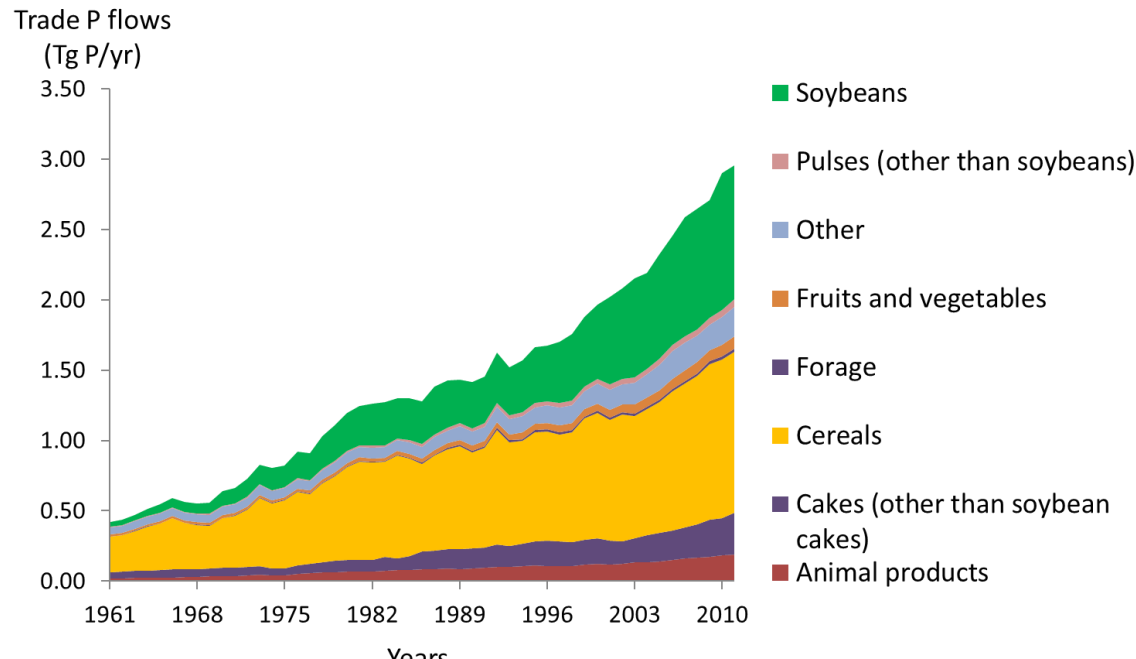


En kg P/ha/an



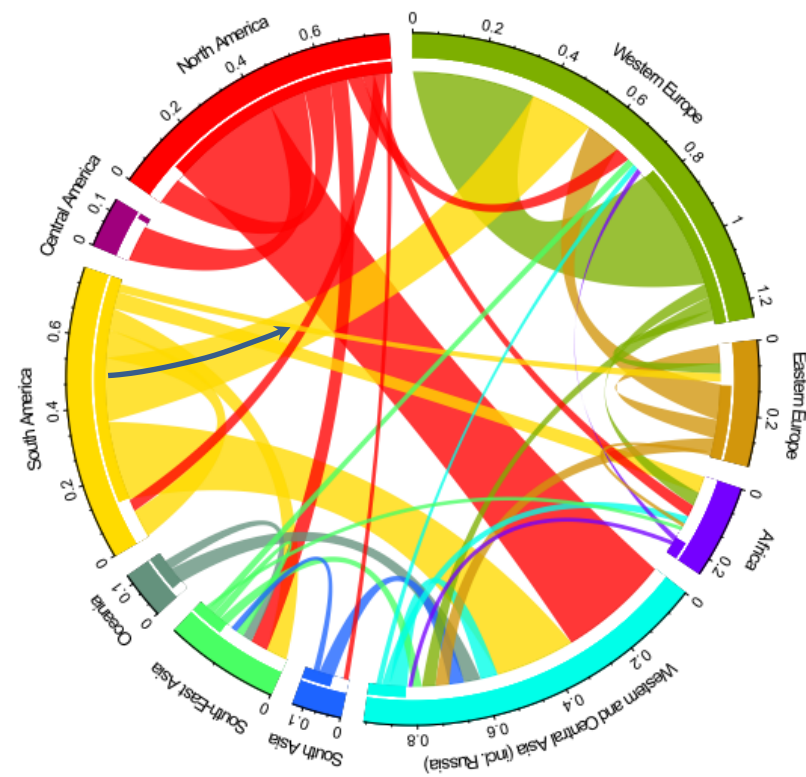
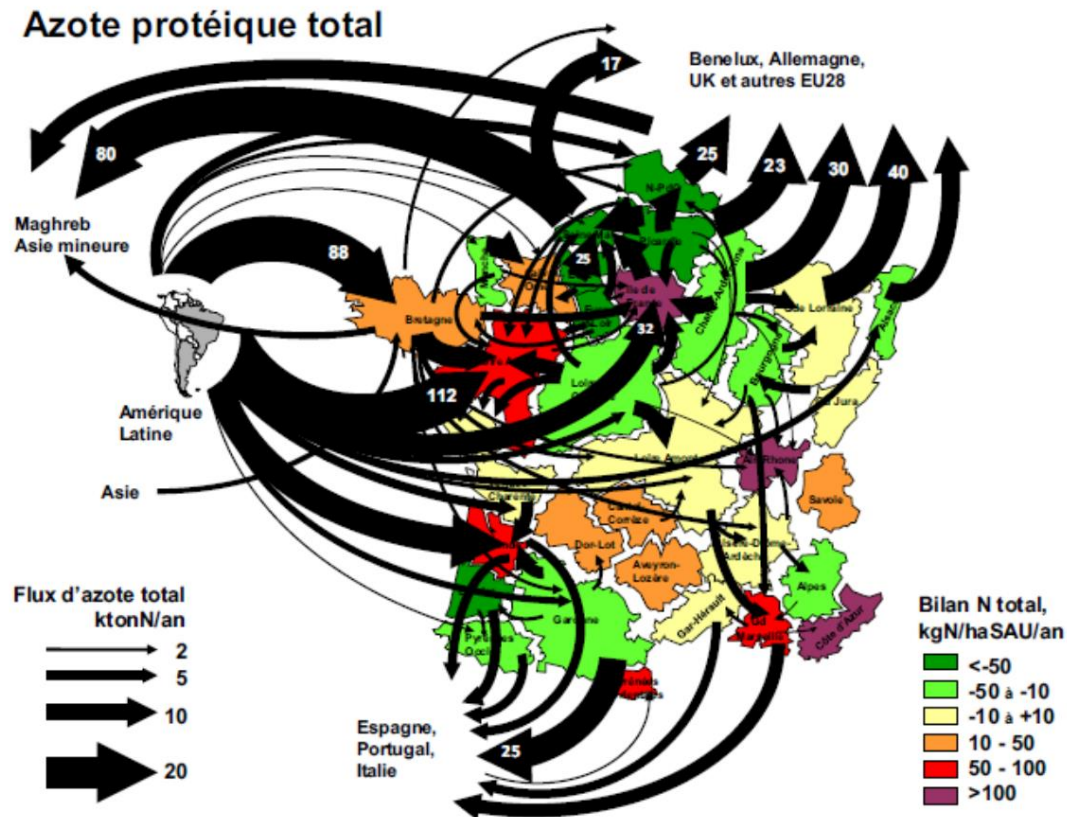
- Entrées de P des sols >> sorties → bilan très excédentaire (+ 19 kg P/ha/an)
- Importation massive de P via l'alimentation des animaux. Même sans engrais minéraux, des bilans de P des sols très excédentaires
- Faible efficacité du recyclage du P des effluents d'élevage

- La spécialisation et ségrégation des élevages a également conduit à intensifier les échanges internationaux de matières agricoles, facteur additionnel de non-bouclage des cycles des éléments
- À l'échelle mondiale, les flux de P associés aux commerce agricole sont passé de 0.4 Tg en 1961 à 3.0 Tg en 2011 (multiplication par 7)
- En 2011, 20% de la production agricole était échangée internationalement
- Ces échanges sont essentiellement tirés par les céréales et le soja



(Nesme et al., 2018)

Ces flux contribuent à
interconnecter des régions
très distantes



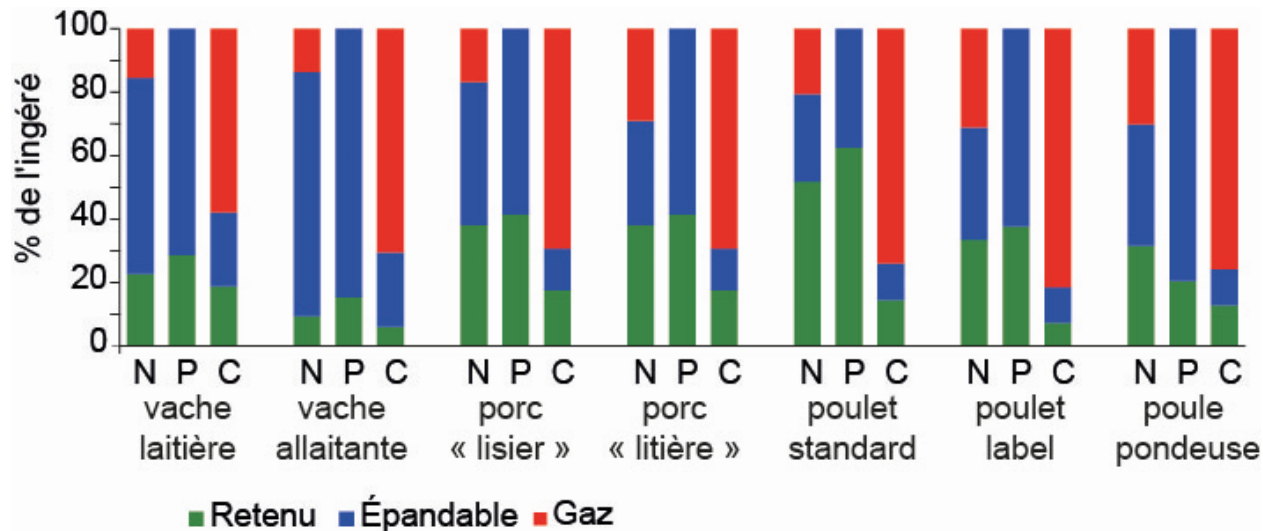
P flows among world regions
in 2011 (in Tg P/yr)

(Nesme et al., 2018)

Flux nets d'azote total contenu
dans les denrées agricoles entre
territoires français et le reste du
monde (Le Noé et al., 2016)

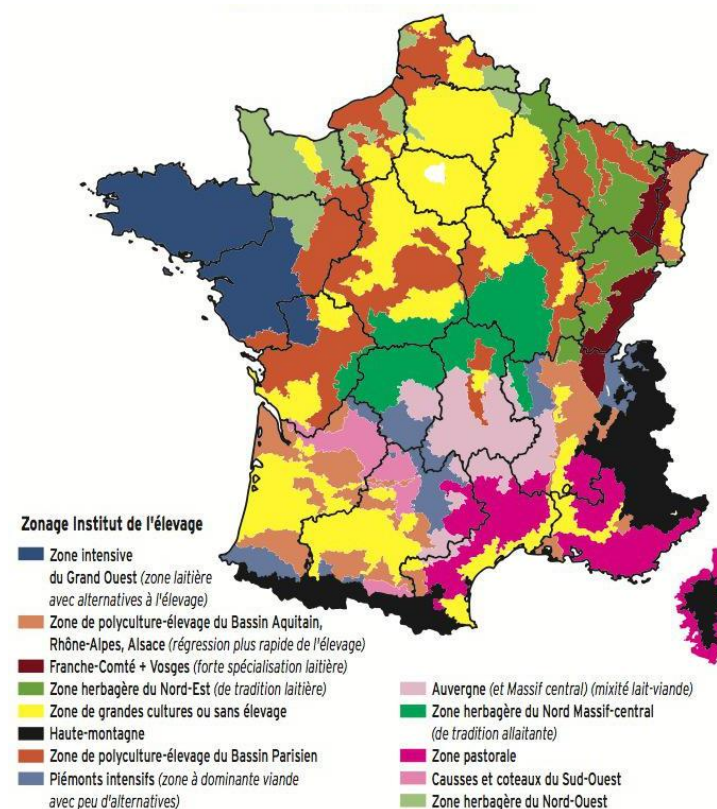
Quelles pistes d'action pour ré-
associer cultures et élevages ?

- L'efficacité d'utilisation des éléments minéraux par les animaux est faible.
- Des progrès importants ont été faits, par l'amélioration génétique, l'ajustement des rations (alimentation multiphasées, acides aminés de synthèse, phytases)
- De nouveaux progrès sont sans doute encore possibles, mais on s'approche d'un plafond



Efficiéce d'utilisation de l'azote (N), du phosphore (P) et du carbone (C) par différentes espèces et productions animales (d'après Corpen 1999, 2001, Giovanni et Dulphy 2008, ITAVI 2013, RMT 2016, Faverdin et al 2006, Rigolot et al 2008)

- Pour être efficient du point de vue de l'utilisation des éléments minéraux les systèmes d'élevage doivent donc être associés à des surfaces d'épandage
- Une déconcentration de l'élevage est souhaitable, mais la spécialisation et l'industrialisation des filières associées rendent peu probable un retour généralisé à des systèmes de polyculture élevage
- Il faut imaginer des formes de réassociation agriculture-élevage innovantes, y compris à des niveaux d'organisation supérieur à l'exploitation
- Leur mise en œuvre suppose le maintien d'une certaine diversité des systèmes de production au niveau territorial, notamment dans les régions « intermédiaires »



Pistes

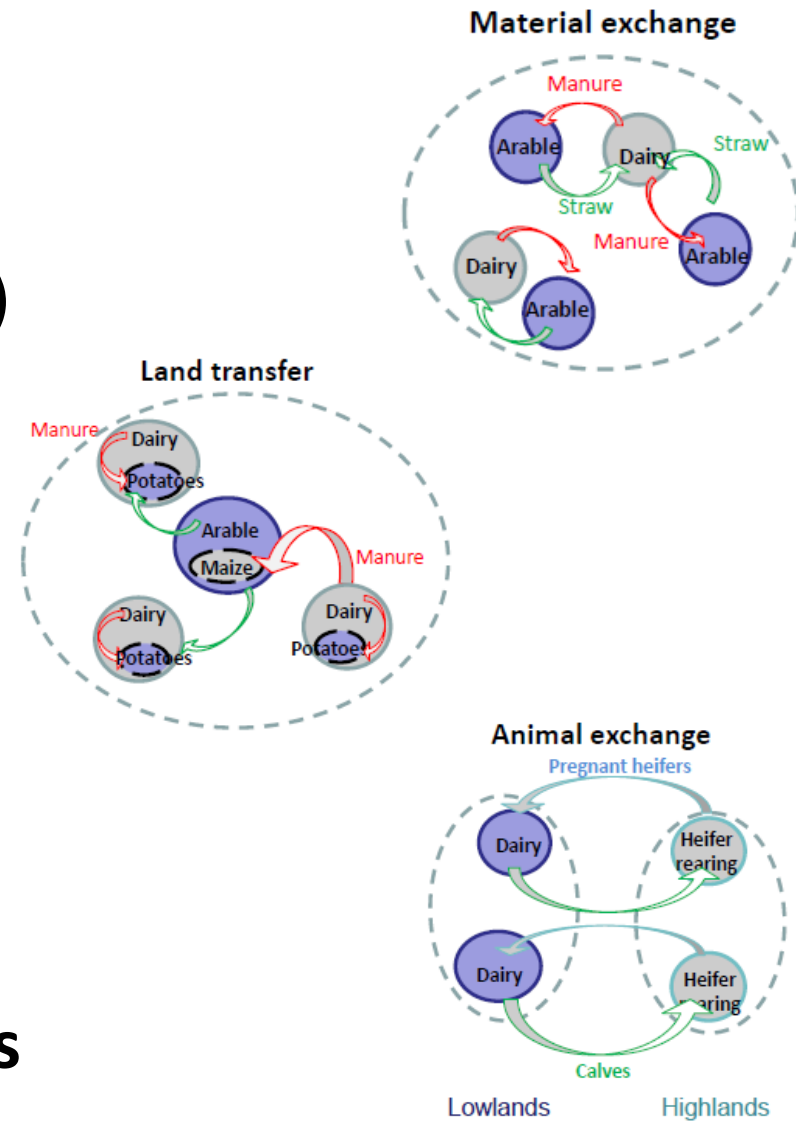
Relocalisation de la production végétale destinée à l'alimentation animale (protéagineux, légumineuses fourragères)

- **Pour bénéficier des services rendus par les légumineuses (fixation N, réduction émissions N_2O , diversification)**
- **Pour éviter l'importation d'azote et de phosphore à l'origine de bilans excédentaires dans les régions d'élevage**

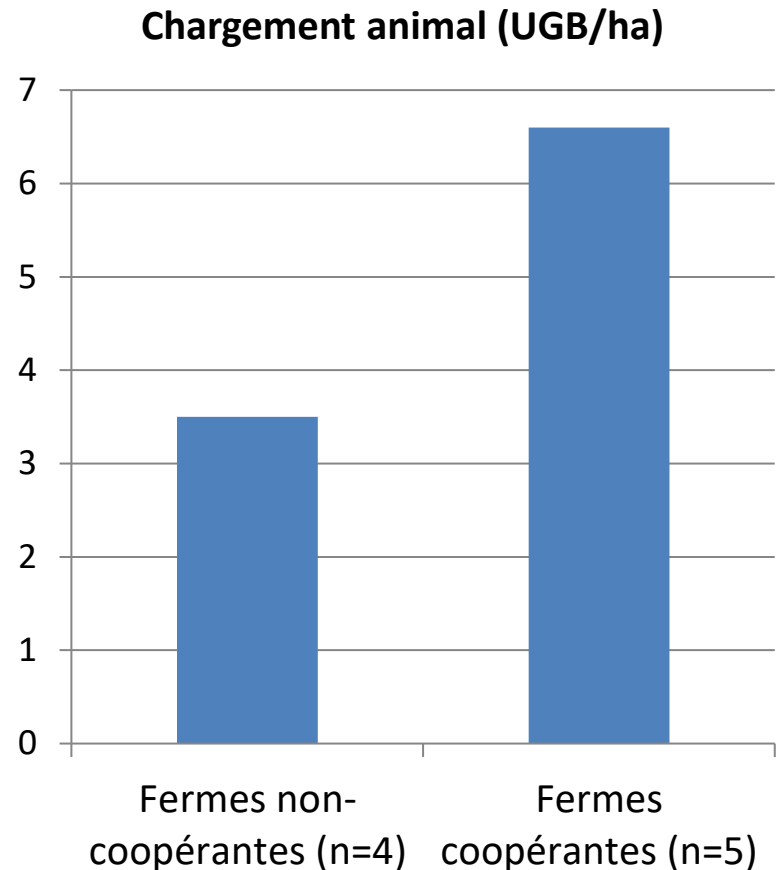


Pistes

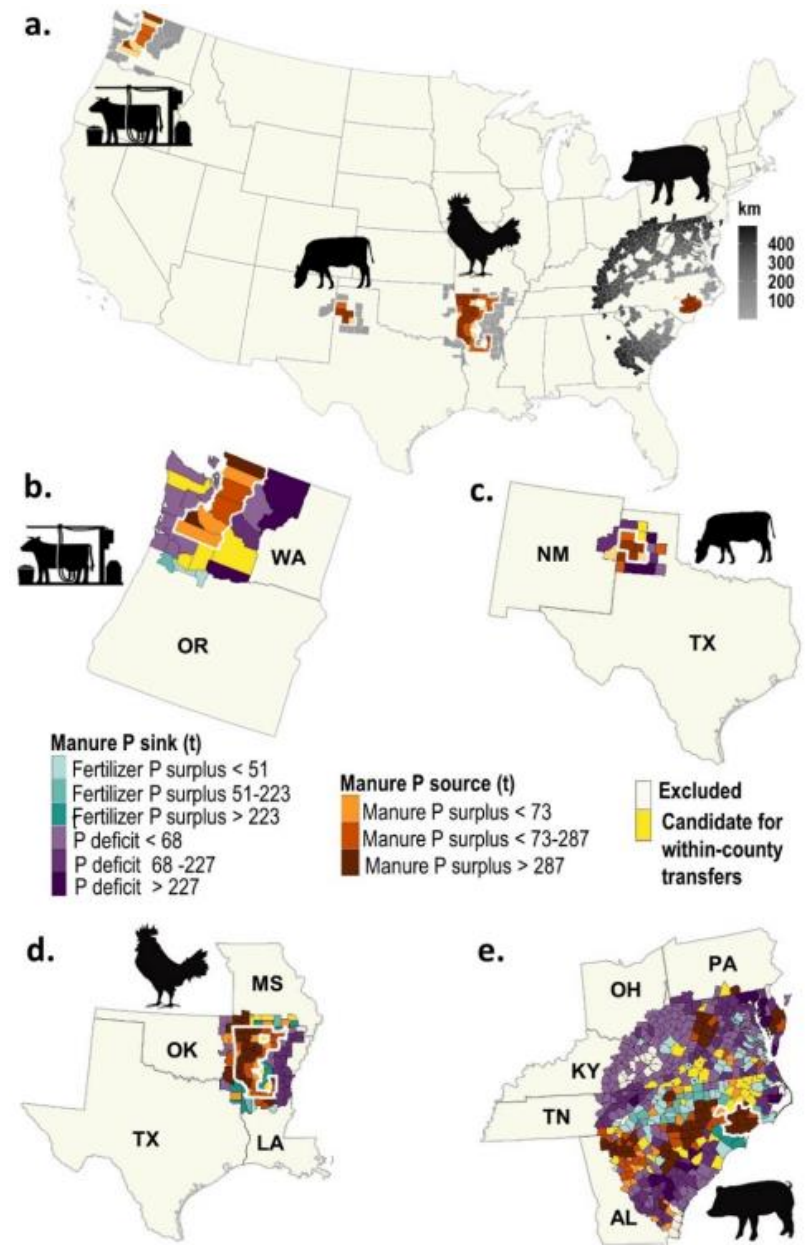
- **Échanges**
 - de matières (effluents, pailles,...)
 - de surfaces
 - d'animaux
- **entre exploitations ou territoires pour boucler les cycles à un niveau supra-exploitation**
- **Attention à l'effet rebond (surcroît d'intensification après mise en place des échanges)**



- L'intégration des cultures et des élevages entre fermes spécialisées devrait améliorer la gestion du N
 - Moindre surplus de N dans les fermes d'élevage
 - Moindre utilisation de N minéral dans les fermes de culture
- Les résultats montrent l'effet inverse
 - 393 kg N/ha surplus dans les fermes non-coopérantes
 - 531 kg N/ha surplus dans les fermes coopérantes
- La coopération permet l'accès à des nouvelles ressources (eg, en terres épandables), ce qui génère un effet rebond
- Les bénéfices associés à l'intégration ne sont obtenus que s'il y a un contrôle sur l'évolution des systèmes de production



- Vers la définition de ‘manuresheds’ ie ensemble de régions « puits » dont les cultures peuvent absorber le N ou le P en provenance des élevages intensifs ?
- Des distances parfois importantes entre régions « sources » et « puits »
- Des besoins de technologie douce ou plus avancées pour faciliter le transport des effluents
 - Séparation de phase
 - Concentration du P dans la phase solide
 - Cristallisation et précipitation du P
 - Production de struvite, de phosphate de calcium



En conclusion

- La ré-association cultures & élevage est de nature à améliorer le bouclage des cycles (stockage de C des sols, valorisation de la fixation de N₂, recyclage du P, atténuation du recours aux engrais de synthèse et des émissions de GES)
- Sa mise en œuvre demande à rester vigilant sur les effets (stœchiométrie N/P, ajustement aux besoins des cultures, bilan énergétique) et sur les conditions de réalisation (effets rebond)
- La ré-association cultures & élevage ne pourra pas être mise en œuvre à grande échelle sans une déconcentration et une déspecialisation des régions d'élevage, ce qui risque de se heurter à des verrouillages socio-techniques et politiques puissants
- Enfin, progresser significativement vers le bouclage des cycles et la neutralité carbone des systèmes agricoles demandera certainement de réduire (modérément) et reconcevoir (sérieusement) les effectifs et modalités alimentaires des animaux d'élevage

Merci pour votre attention !

thomas.nesme@inrae.fr