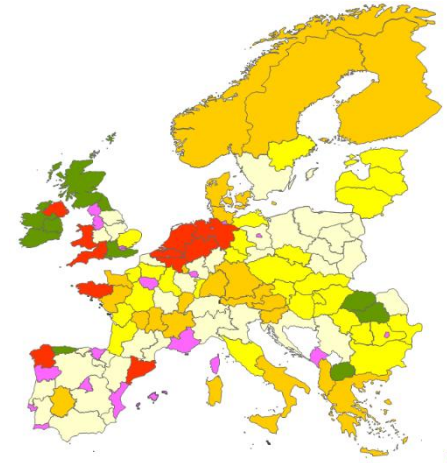
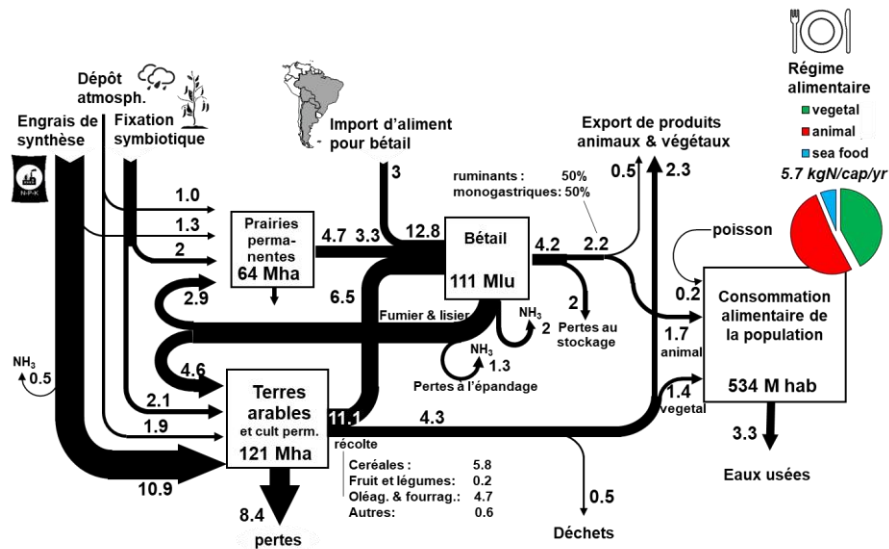


Une série de webinaires Inrae : Evaluation des propriétés émergentes des systèmes de polyculture-élevage agroécologiques



Le 16 juin 2026 :

Autonomie, dépendance et spécialisation fonctionnelle des systèmes agro-alimentaires territoriaux (SAAT): l'approche GRAFS



Josette Garnier et Gilles Billen
UMR Metis, CNRS-SU, Paris



Plan de l'exposé

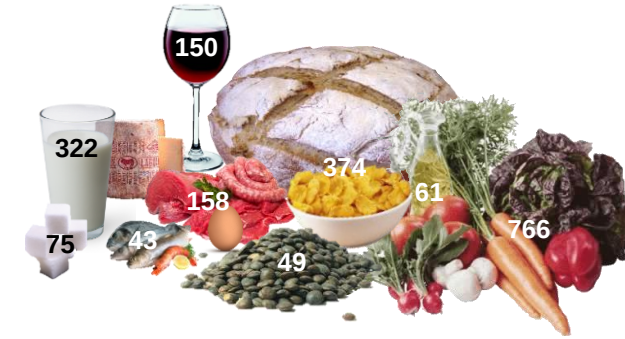
- 1.** L'approche territoriale GRAFS et métriques associées
2. L'exploration de scénarios et comparaison à une référence

L'azote comme métrique commune

Pour 3 raisons:

1. L'azote des protéines est le constituant essentiel de la nourriture

Avec un besoin universel de ~3.6 kgN/pers/an



2. L'azote est l'élément limitant principal de la production agricole

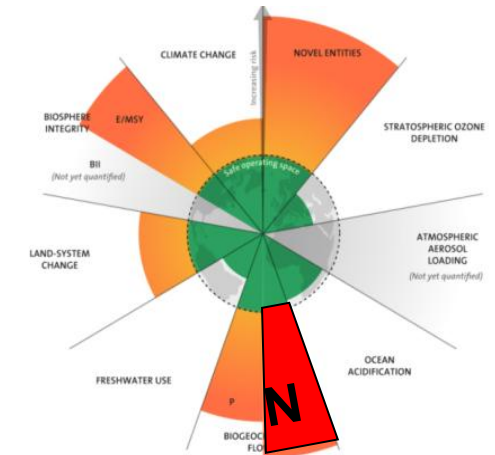
Les apports d'N au sol déterminent le rendement dans la plupart des systèmes agricoles



3. Les pertes d'azote vers l'environnement (hydriques ou gazeuses) causent des perturbations majeures du fonctionnement des écosystèmes et dépassent les limites planétaires



Eutrophisation, contamination eau potable, pollution atmosphérique, émission de N_2O ...

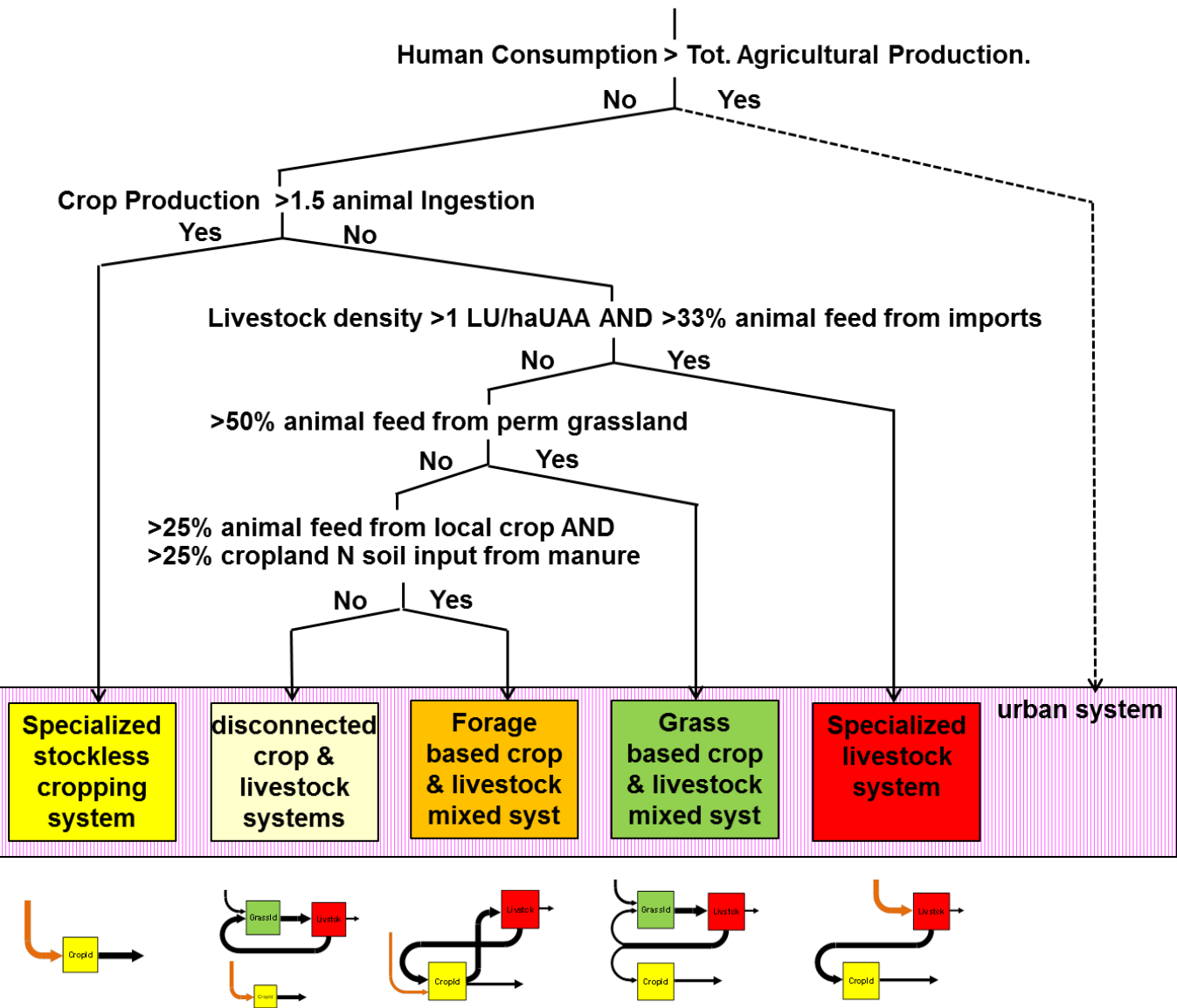


La démarche GRAFS (Generalized Representation of Agro-Food Systems)

Un cadre générique pour décrire les systèmes agro-alimentaires territoriaux

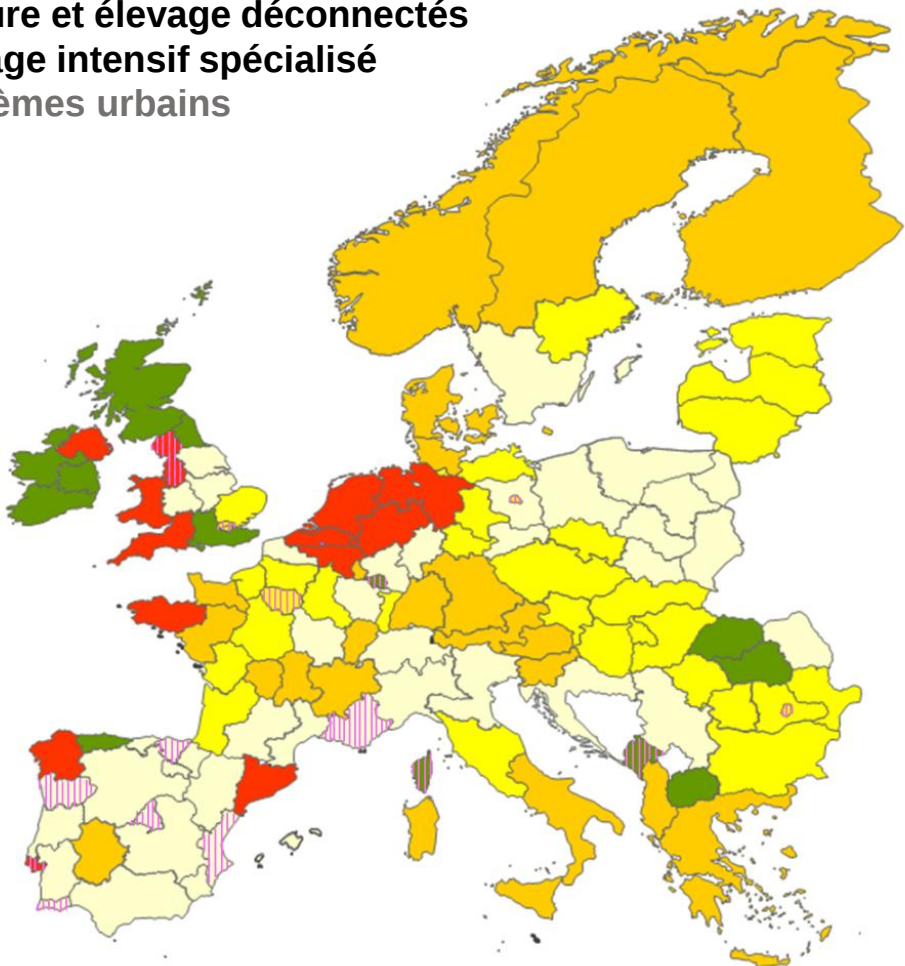
Typologie fonctionnelle des SAAT

Un arbre de décision...



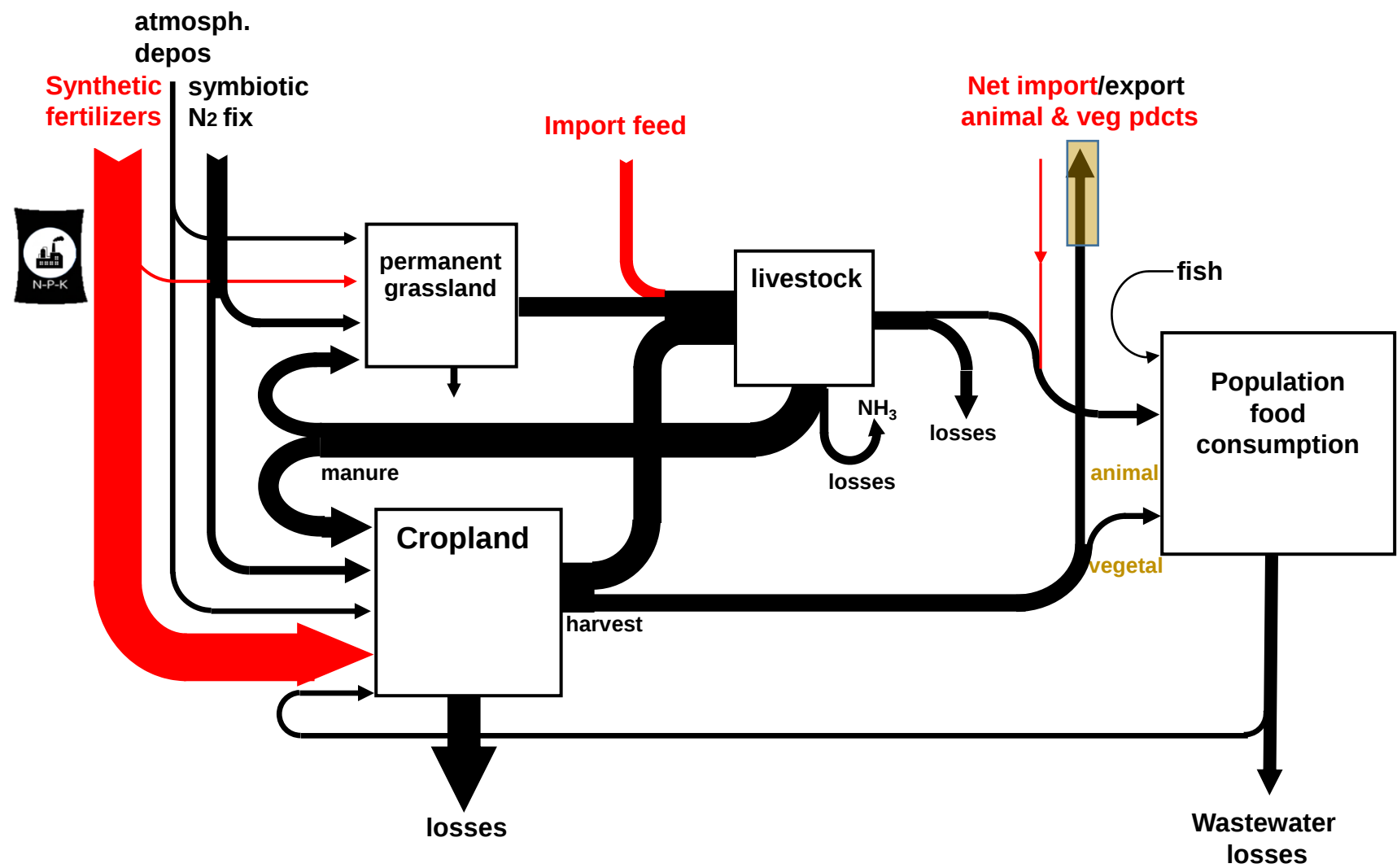
...révélant les spécialisation territoriales

- Polyculture élevage herbagère
- Polyculture-élevage fourragère
- Grandes cultures spécialisées
- Culture et élevage déconnectés
- Elevage intensif spécialisé
- Systèmes urbains



Indicateurs fonctionnels

1. Dépendance aux importations: Quantité d'azote importée commercialement (nourriture, feed, engrais) pour mettre à disposition 1 kgN de nourriture humaine

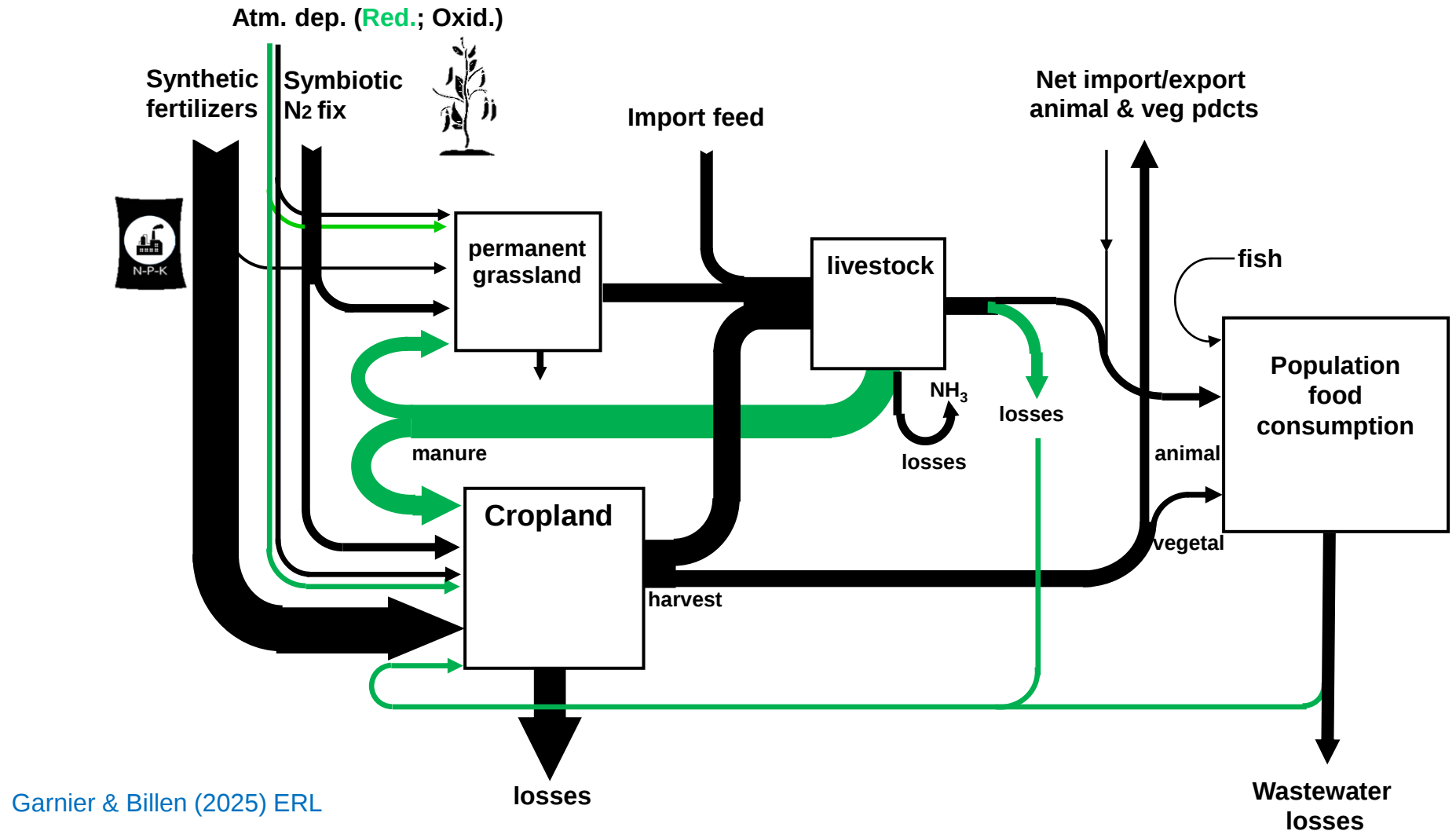
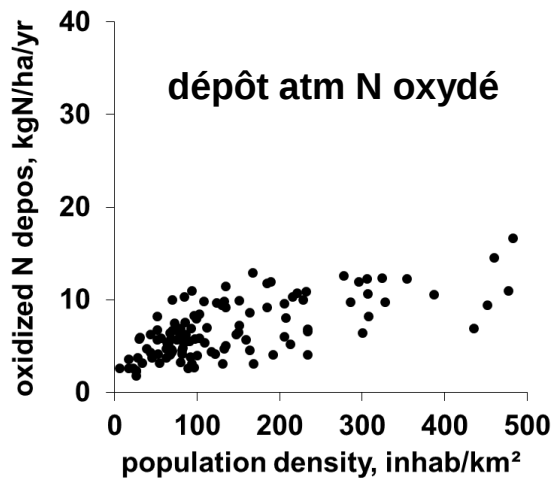
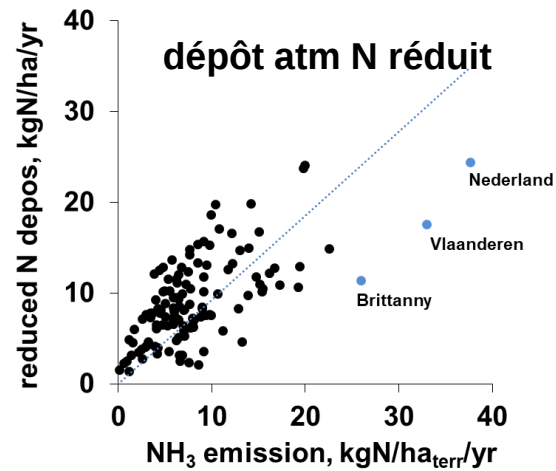


$$\sum (\text{Synt F; Imp Feed; Net imp An.Veg} > 0) / \sum (\text{Food ingest.; Food exp.})$$

Indicateurs fonctionnels

2. Circularité: Part de l'azote recyclé dans les apports totaux (recyclés et *nouveaux*) d'azote au système.

Le dépôt atmosphérique d'azote réduit est considéré comme recyclé!

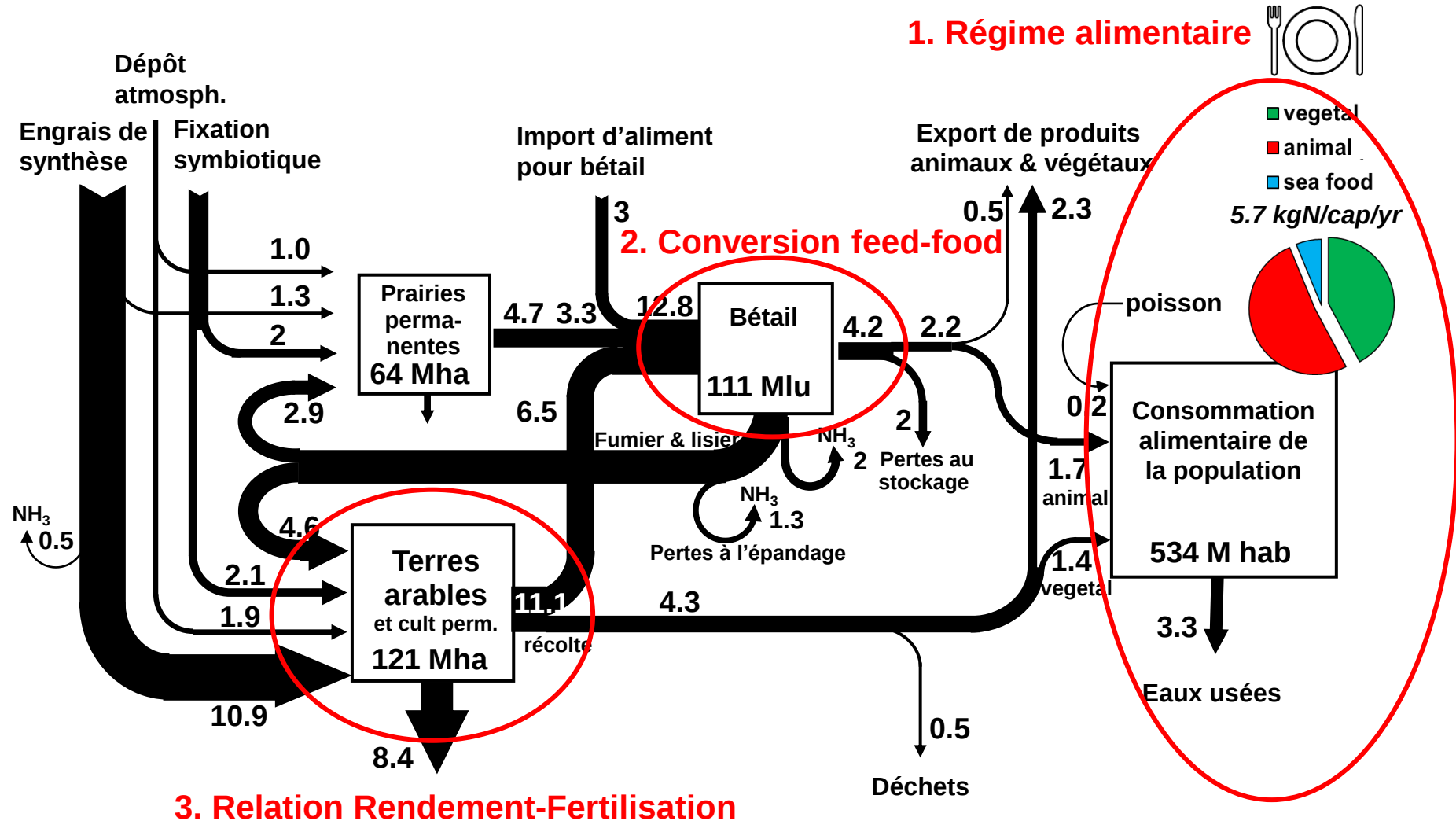


$$\sum (\text{Manure Ani. \& Hum; red N dep.}) / \sum (\text{Tot Fert.*; Net Imp Feed \& Net Imp. Food} > 0) \quad 8$$

La démarche GRAFS

Un cadre de modélisation prédictive

une approche **mécaniste** (fondée sur les processus de base du fonctionnement des SAAT)
mais **parcimonieuse** à l'extrême (paramétrisation simple de quelques propriétés émergentes-clés).



2. La relation ingestion – production du bétail

Monogastriques

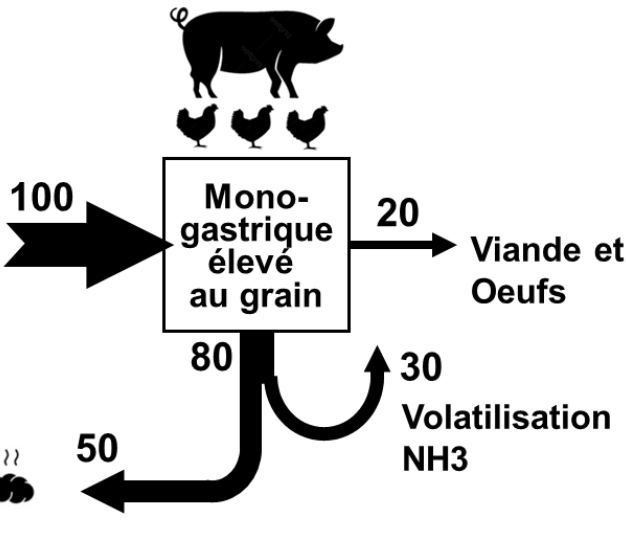
1UGB ~ 7 porcs, 100 volailles

Concurrence avec l'alimentation humaine

Céréales

cultures fourragères

Déchets et sous-Produits



Efficience de conversion (= production comestible / ingestion totale (en N))

15 - 30 %

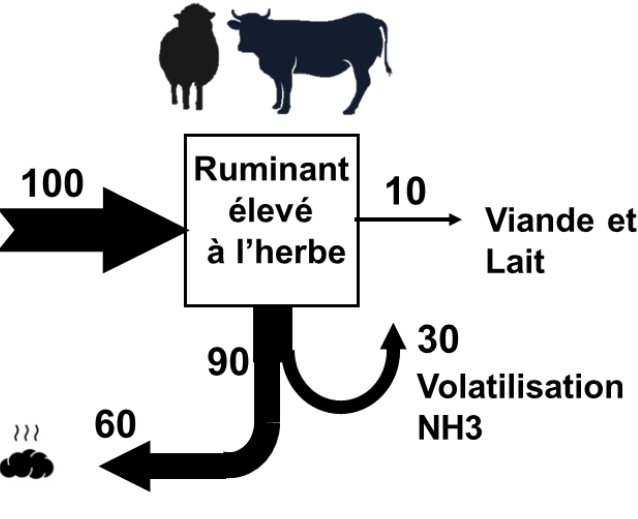
Calibrée sur les systèmes existants

Ruminants

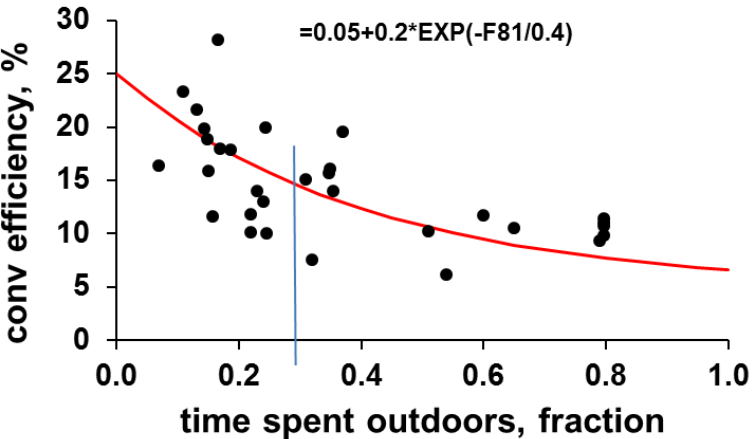
1UGB ~ 1 vache, 6 moutons

Pas de concurrence avec l'alimentation humaine

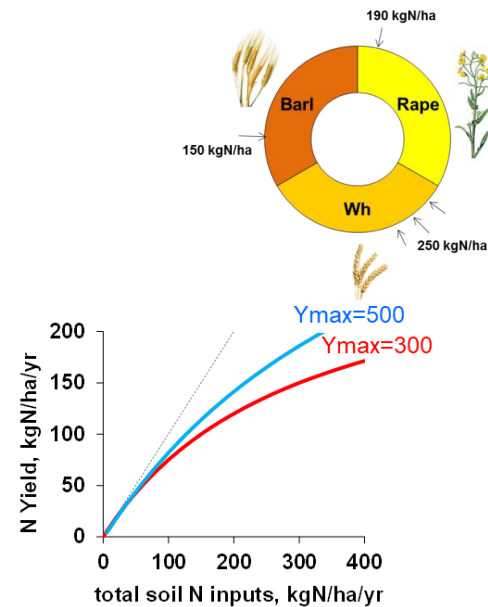
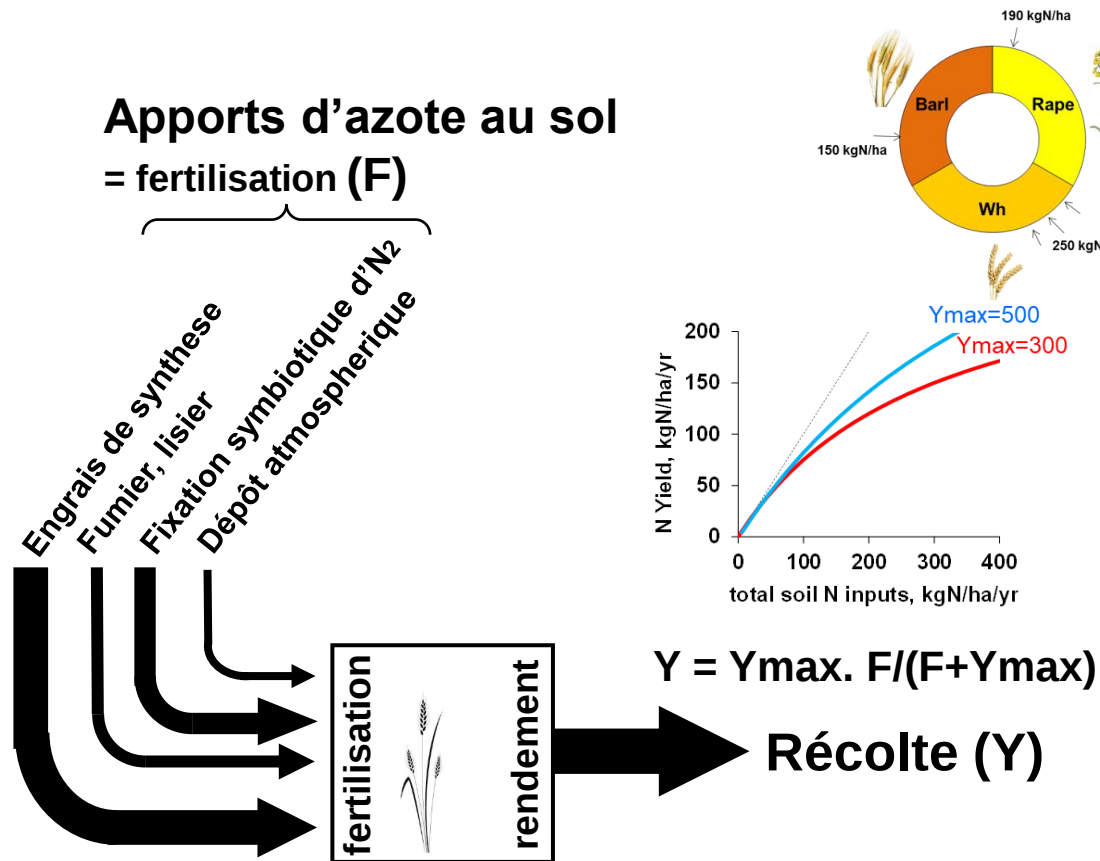
Herbe et légumineuses fourragères (céréales)



5 - 20%



3. Relation rendement- fertilisation (intégrée sur l'ensemble du cycle de rotation)

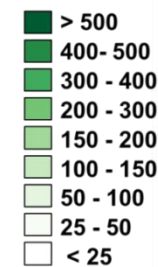


$$Y = Y_{max} \cdot F / (F + Y_{max})$$

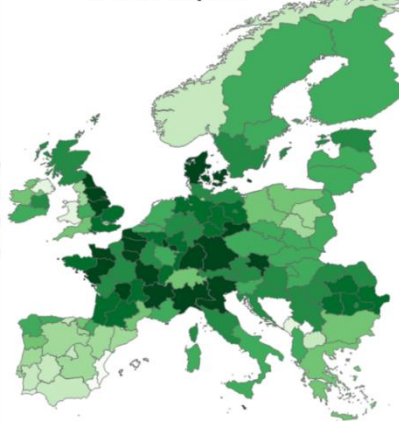
Récolte (Y)

2014-2019

Y_{max} ,
kgN/ha/yr



arable cropland



Rendement moyen sur la rotation

Yield, kgN/ha/yr

200
150
100
50
0

0 50 100 150 200 250 300

Ninputs, kgN/ha/yr

Apports moyens annuels d'N sur la rotation

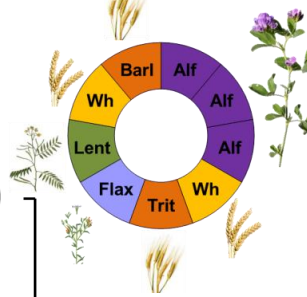
Diverses rotations dans un même contexte pédo-climatique ont le même potentiel de fertilité (Y_{max})

L'Agriculture Biologique n'est pas intrinsèquement moins productive !

Le contexte pédo-climatique de chaque région peut être caractérisé par son potentiel de fertilité (Y_{max})

Petites terres de Bourgogne

Anglade et al. (2015, 2017)



1:1

Y_{max} (kgN/ha/yr) =
350
300
250

Monoculture de luzerne
Agricult Conserv.

Agricult Conv (Colza, Blé, Orge)

Agriculture Biologique (Cér, Luz, Pois...)

Agriculture 1950 (Trèfle, Blé, Avoine)

Plan de l'exposé

1. L'approche territoriale GRAFS et métriques associées

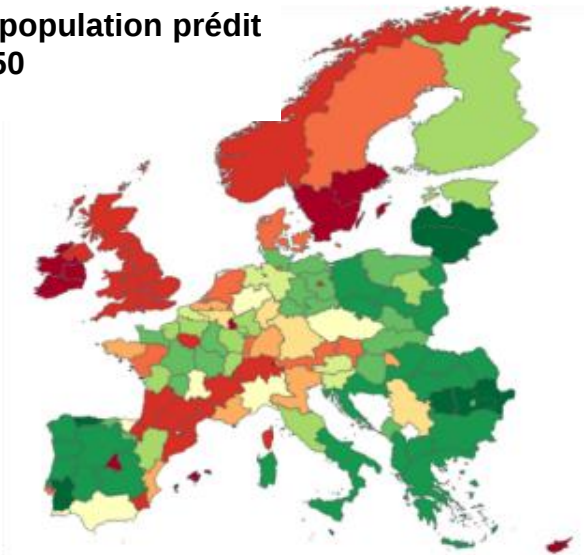
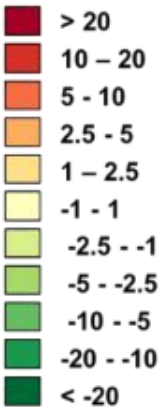
2. L'exploration de scénarios et comparaison à une référence

❑ Hypothèses pour la construction de deux scénarios choisis

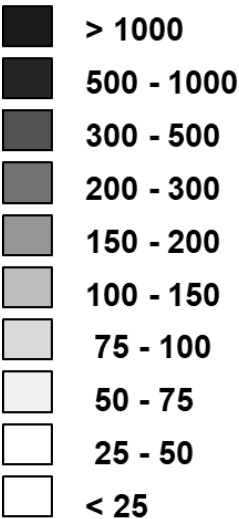
	REF: 2014-2019	Agro-Ecologie 2050 (AE)	Radicale Sobriété (RS)
Population des 127 territoires EU	534	538 <i>Changement par rapport à REF</i>	538 <i>Changement par rapport à REF</i>
Surface Agricole Utile (SAU)	186 Mha	186 Mha	157 Mha
Total	- 64.2 Mha	- 64.2 Mha	- 67.5 Mha
- Prairies	- 109.6 Mha	- 106.9 Mha	- 76.2 Mha
- cultures		- 3.5 Mha	- 13.3 Mha
- maraîchage			
Forêt	219.3 Mha	219.3 Mha	260.0 Mha + 20.4 Mha of ensauvagement

Evolution et distribution de la population

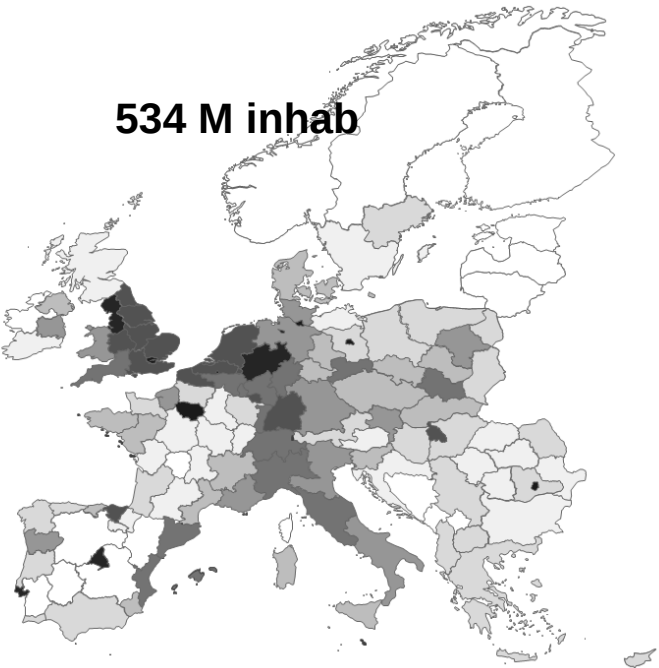
Changement de population prédit
entre 2019 et 2050
% par 30 ans



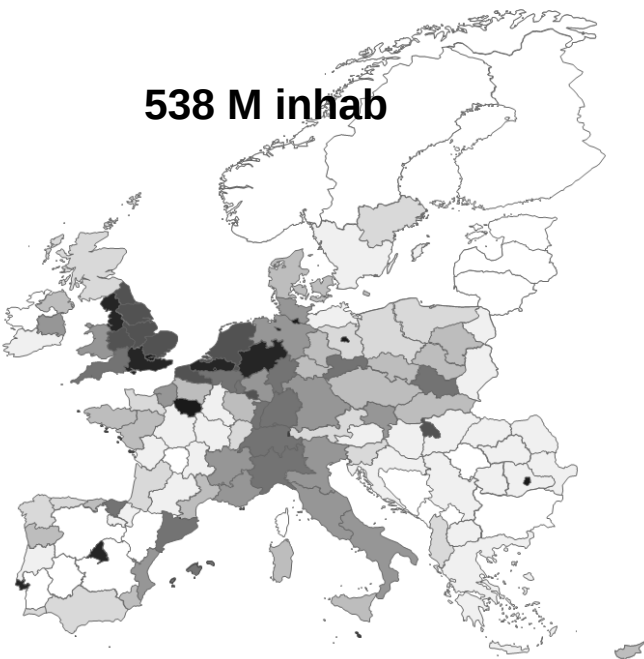
inhab/km²



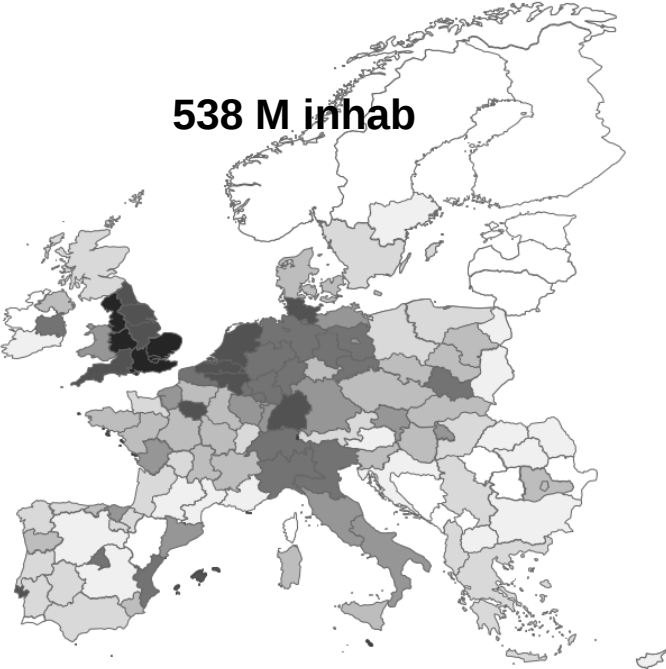
REF 2019



Agro-Ecology 2050

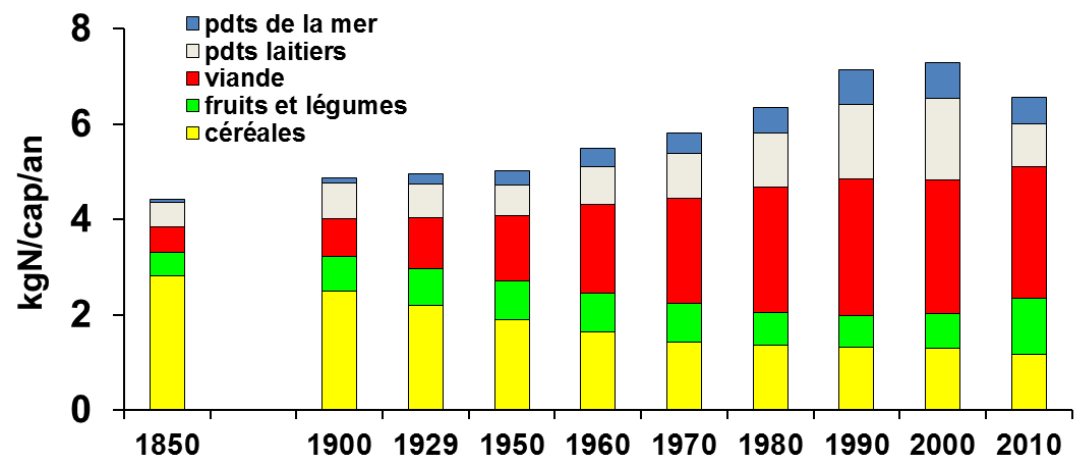


Radical Simplicity 2050

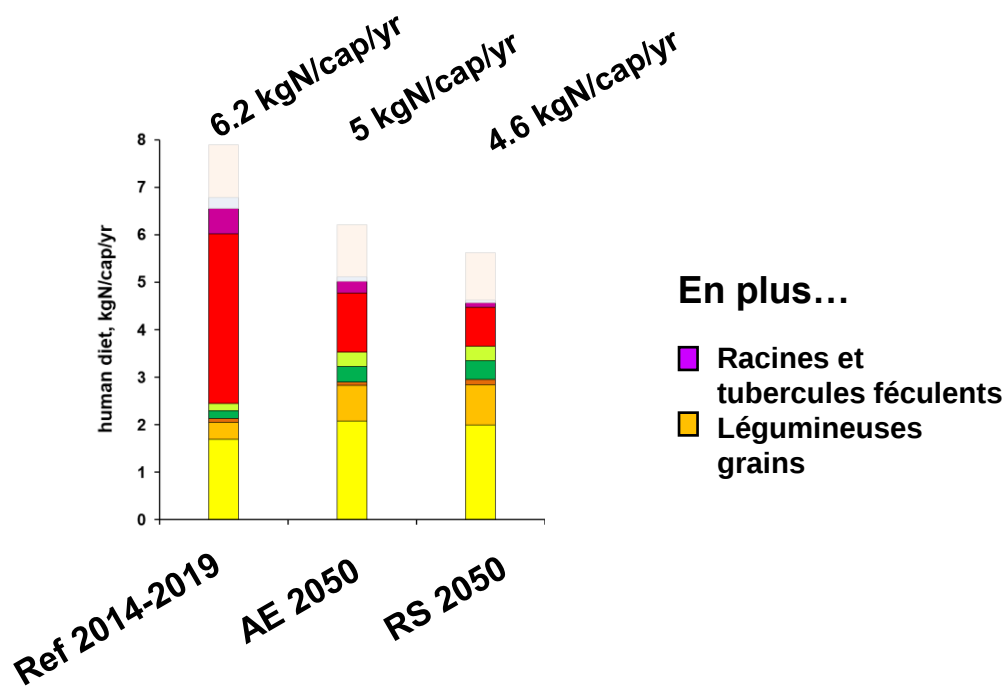


□ Repenser le régime alimentaire humain

□ Evolution à long terme du régime alimentaire



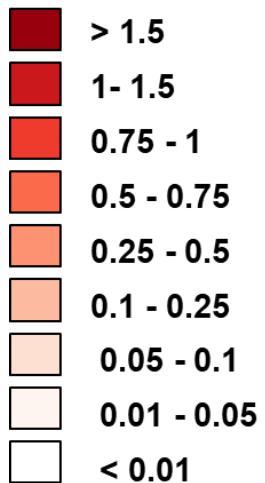
□ Les changements explorés



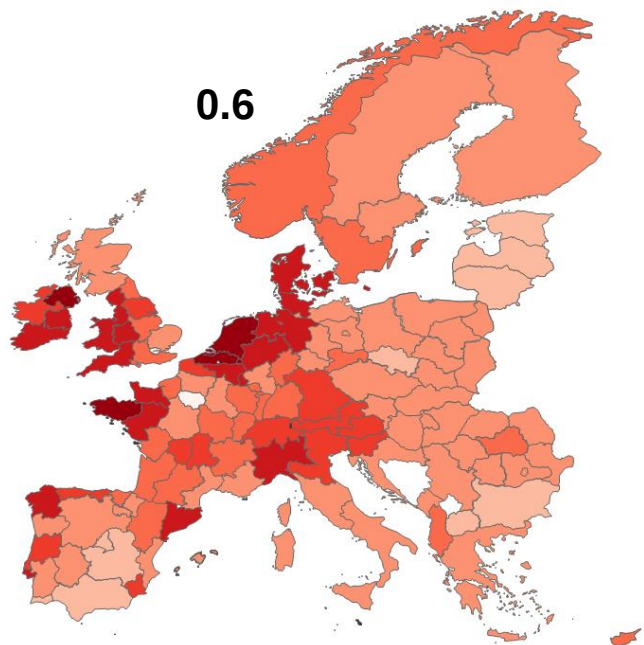
Eat-Lancet Commission
Un régime alimentaire sain et
soutenable pour la Planète
(Willet et al, 2019)

Cheptel

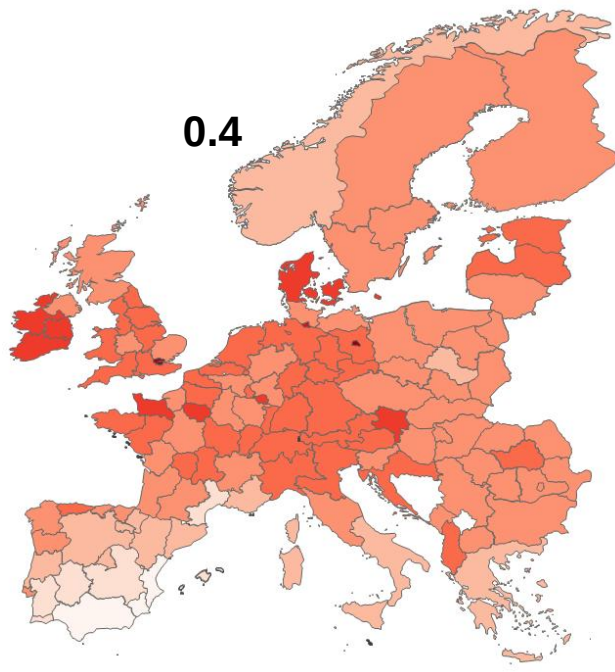
LU/haUAA



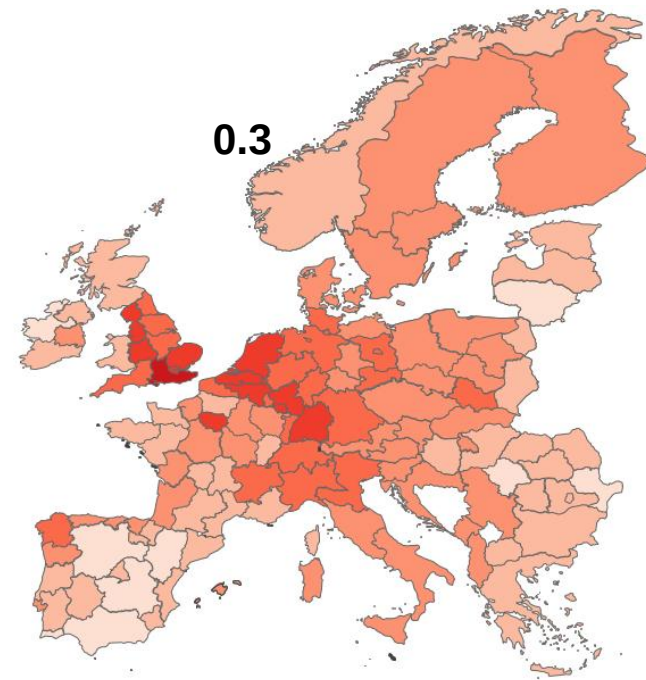
REF 2019



Agro-Ecology 2050

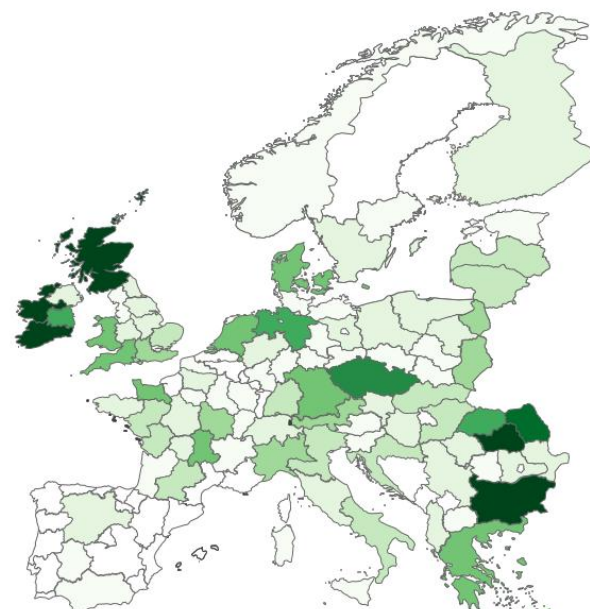
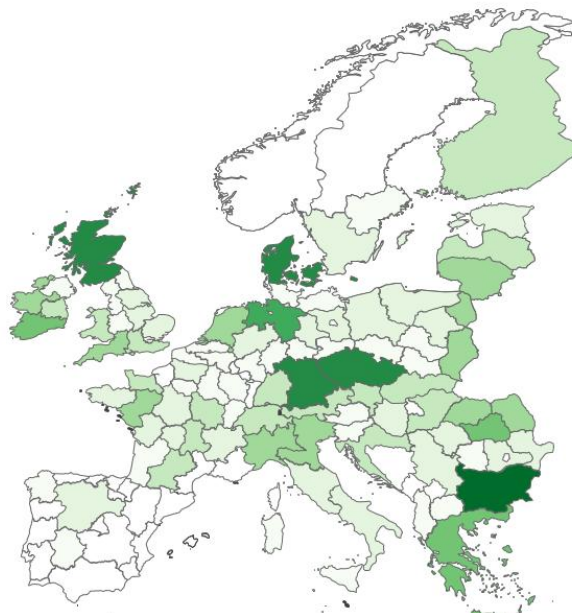
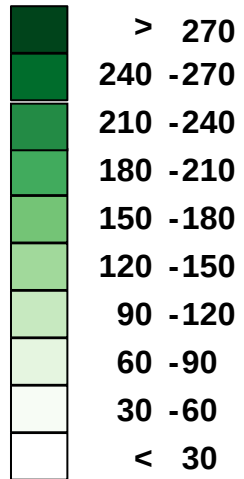


Radical Simplicity 2050



Fixation symbiotique

GgN/yr



□ Restoration de la biodiversité

Pour le scénario de radical simplicité, 12 millions d'hectares cultivés en grande culture sont laissées à l'ensauvagement

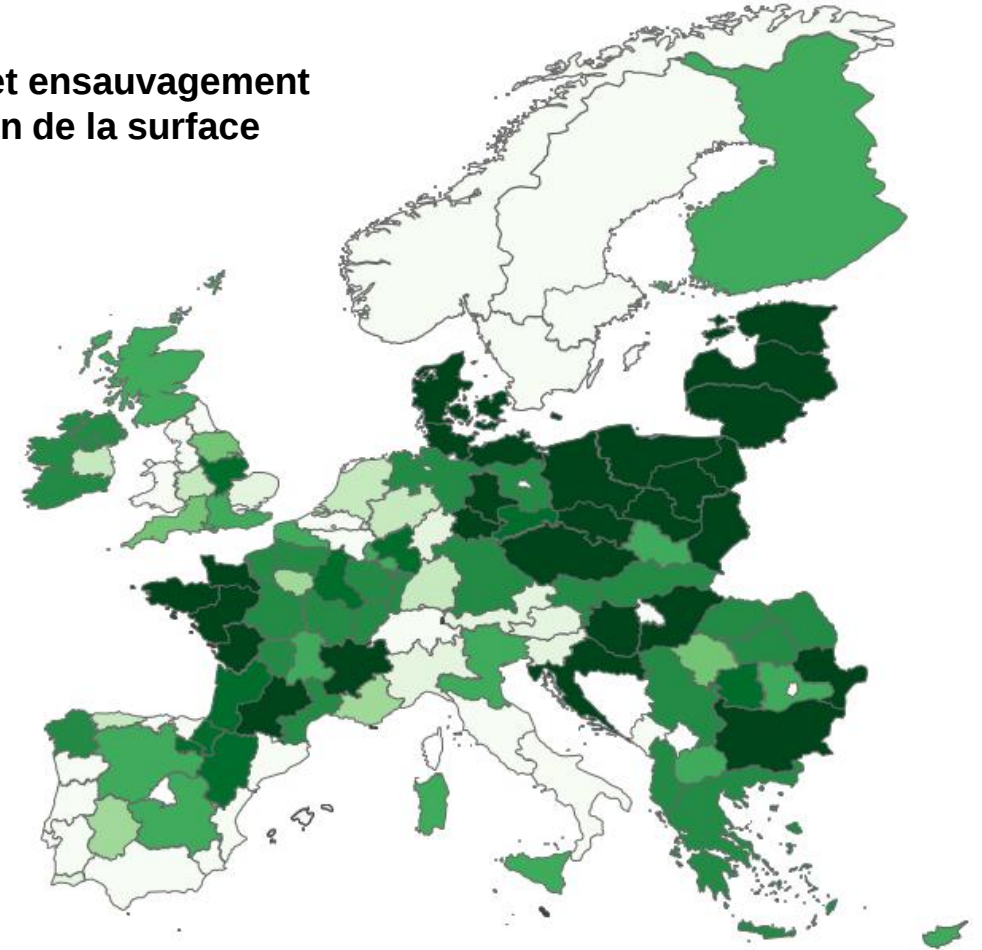
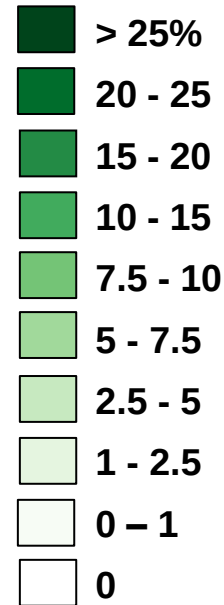
- ✓ Ce scénario est donc nécessairement plus favorable à la biodiversité que le REF, mais aussi que celui de l'AE (l'augmentation de la biodiversité liée à la diversité des rotations et l'absence d'intrants chimiques)
- ✓ La biodiversité contribue à la résilience des écosystèmes

NB: pour la situation de référence

- *Utilisation de pesticides, engrais de synthèse*
- *Pertes des habitats (zones ripariennes, haies, etc.)*
- *Homogenisation des paysages (rotations courtes).*

Radical Simplicity 2050

Reforestation et ensauvagement
% augmentation de la surface

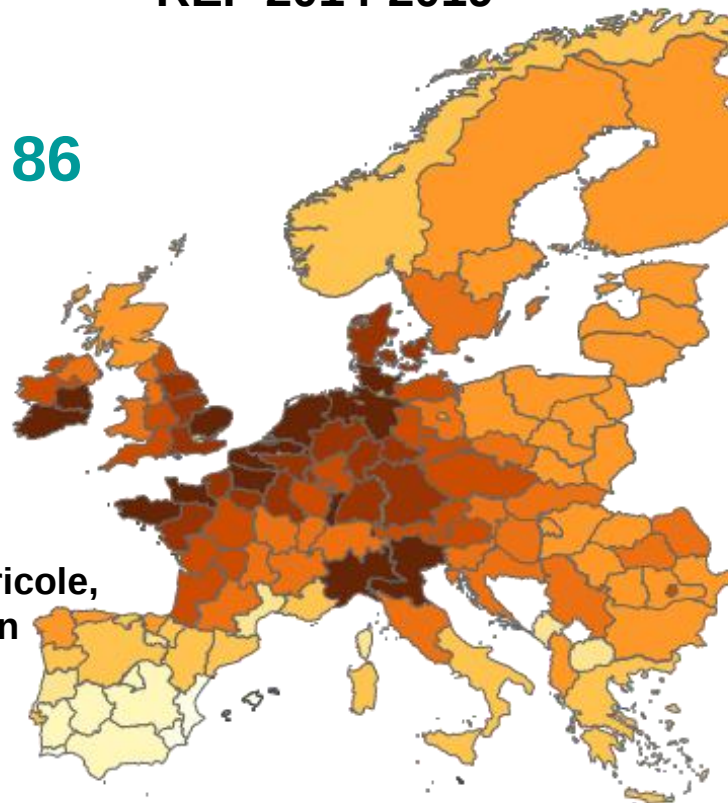


Intensité agricole

Σ productions végétales

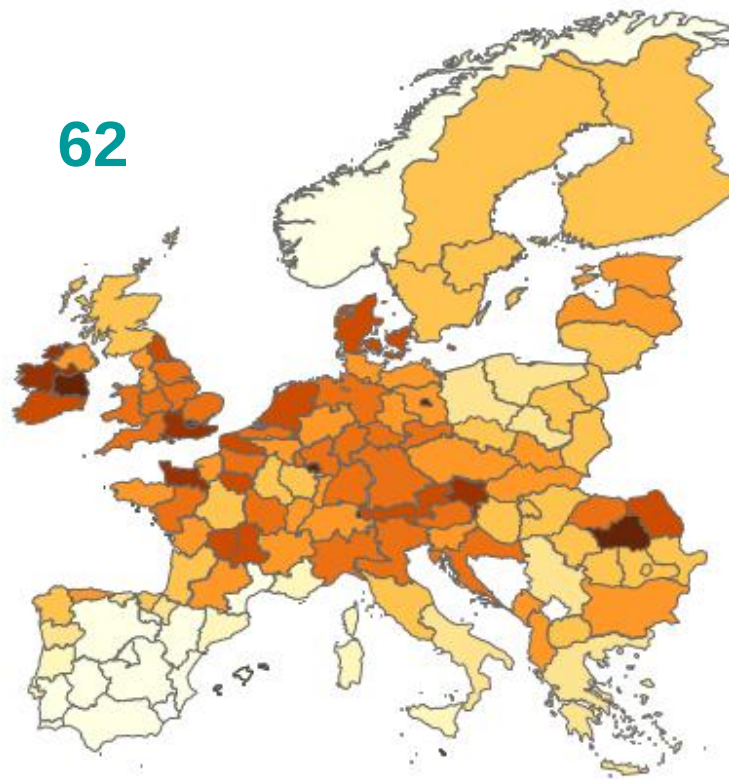
REF 2014-2019

86



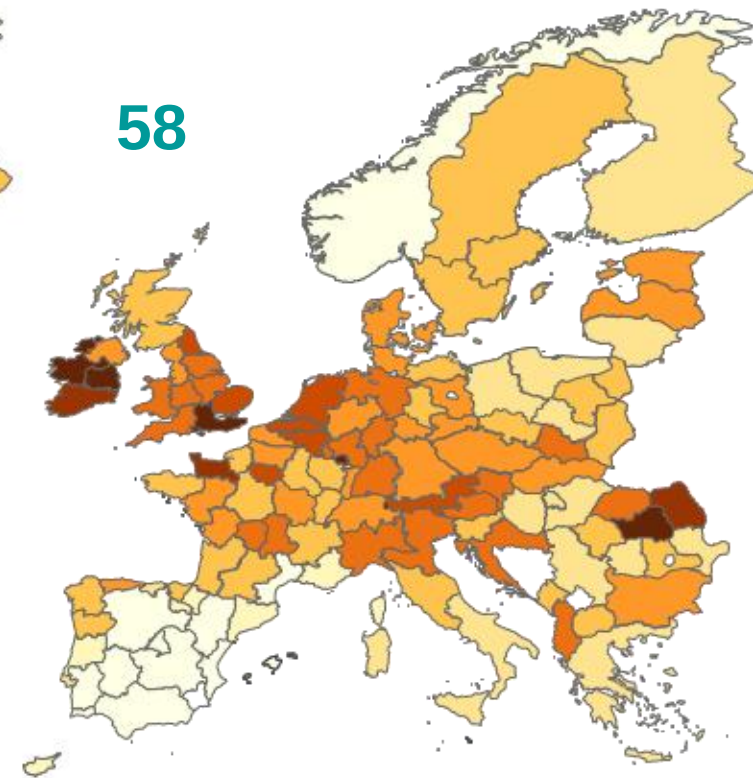
Agro-Ecology

62

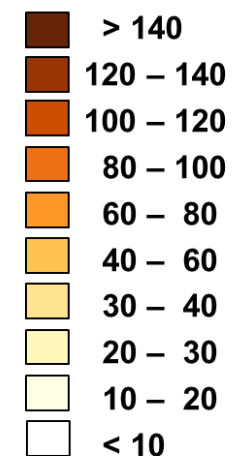


Radical Simplicity

58



Production agricole,
kgN/ha(SAU)/an



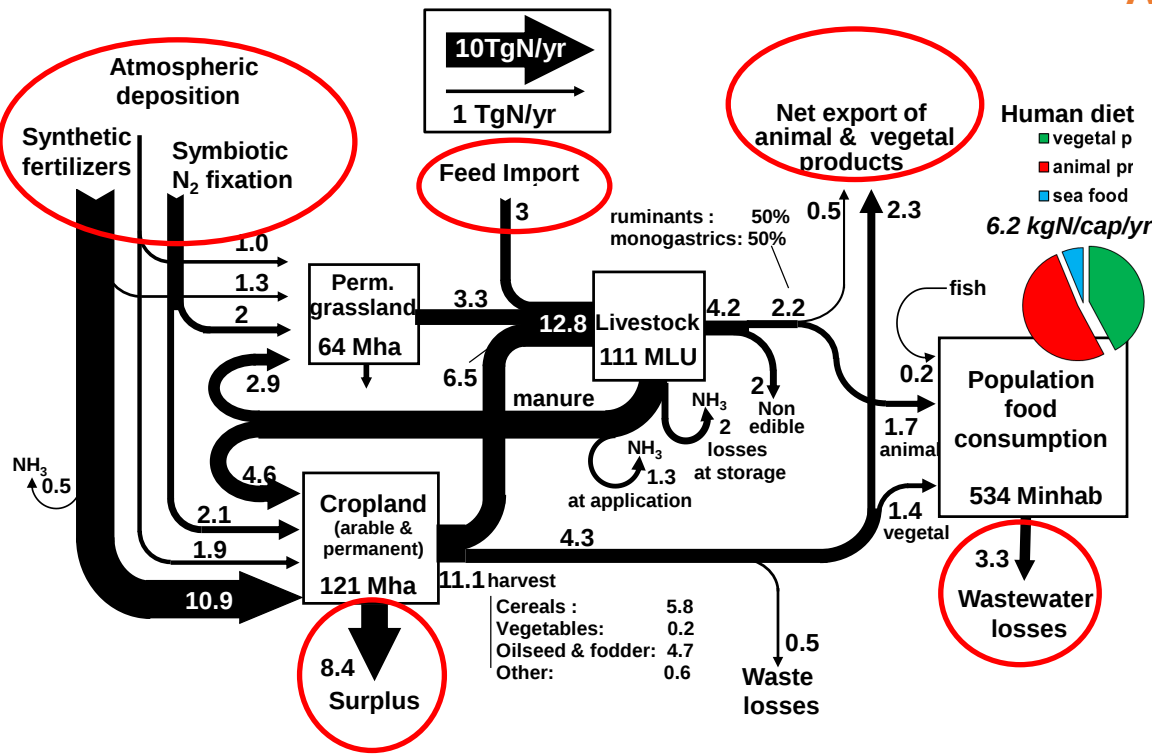
→ une désintensification pour les deux scénarios

→ Hétérogénéité des régions importantes à prendre en compte

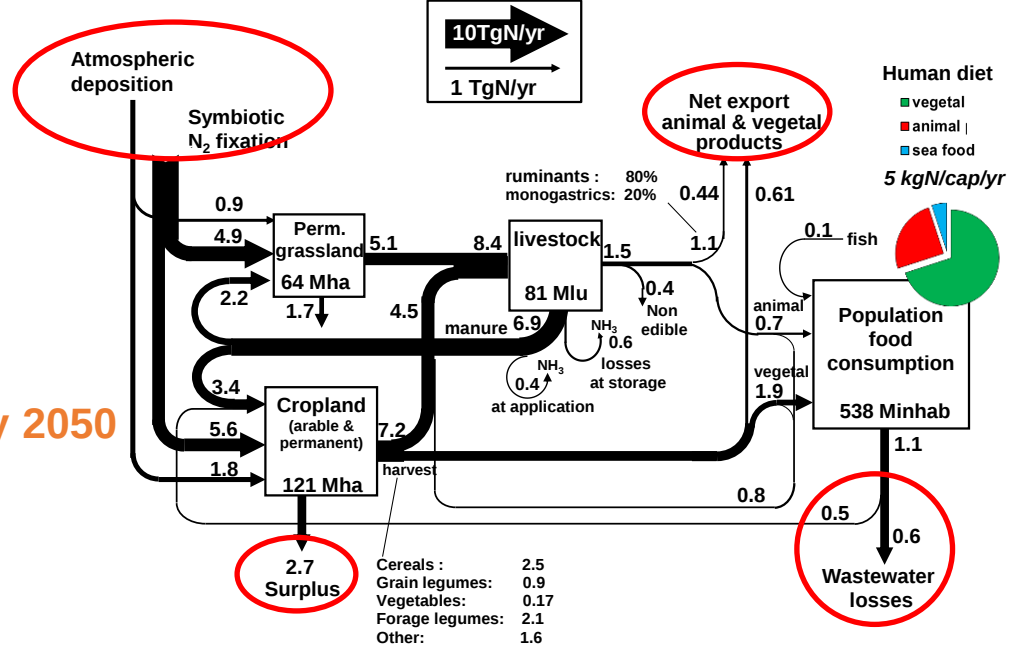
Flux d'azote dans les systèmes agro-alimentaires de l'Europe

→ Des scénarios destinés à nourrir les gens !

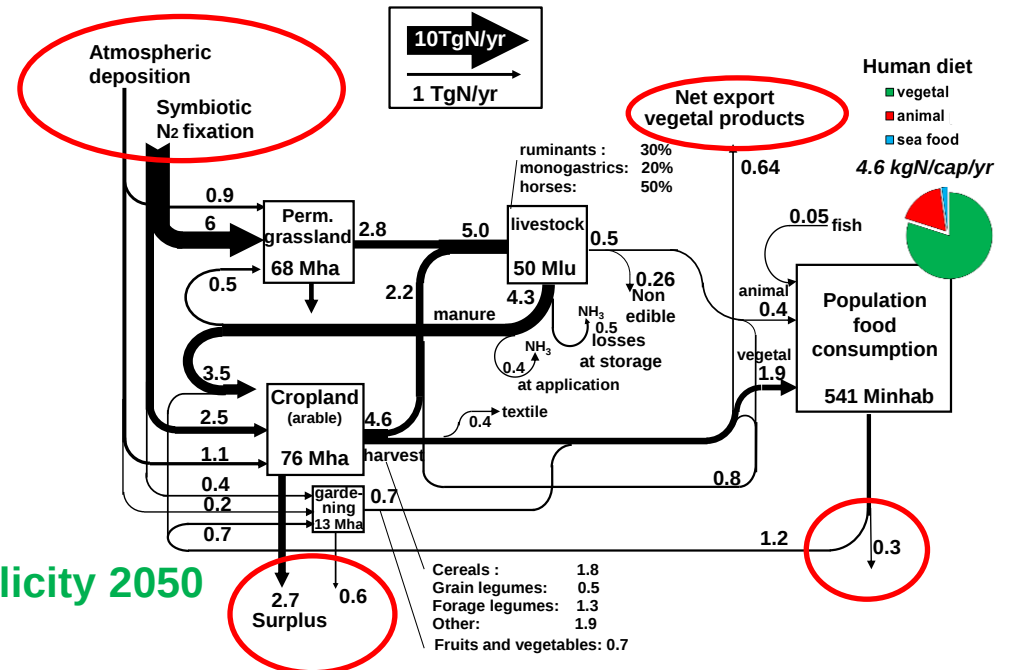
Reference 2014-2019



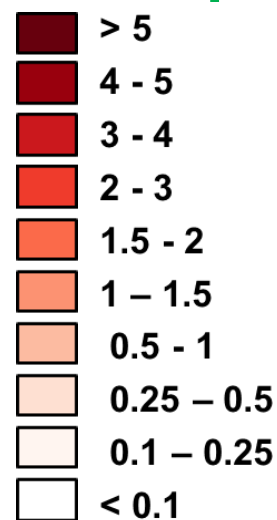
Agro-Ecology 2050



Radical Simplicity 2050

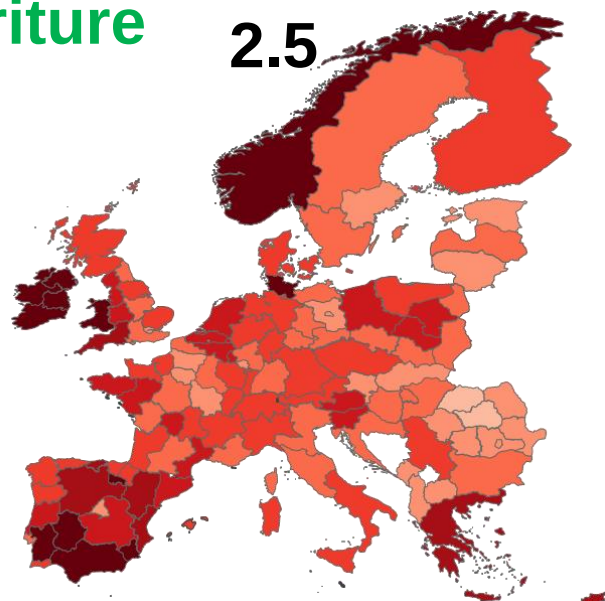


□ Dépendence des import. en N pour la nourriture



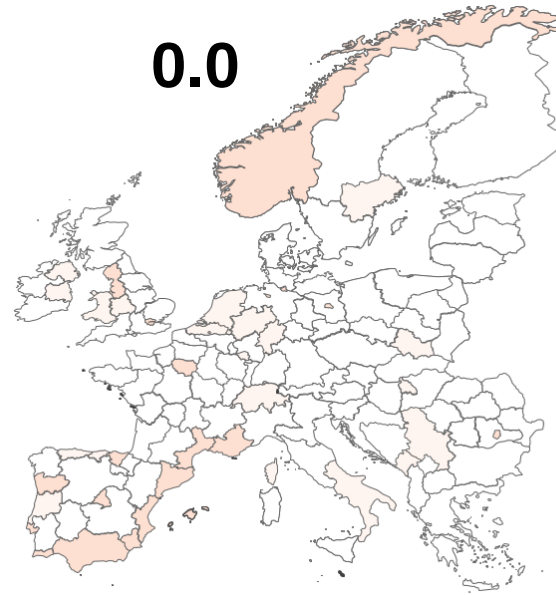
REF 2014-2019

2.5



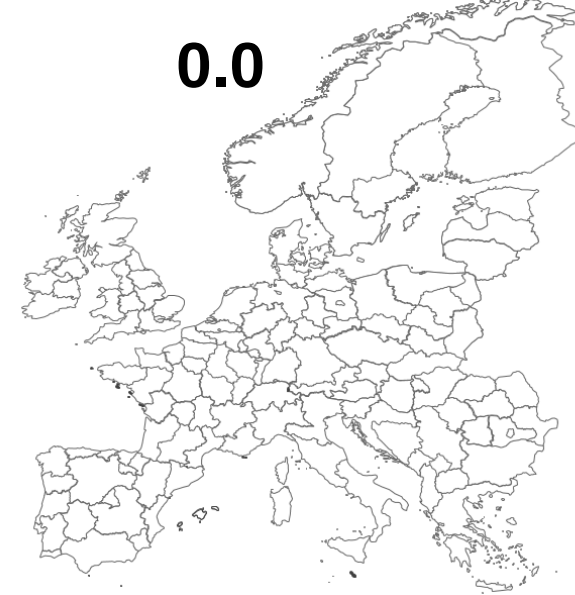
Agro-Ecology

0.0



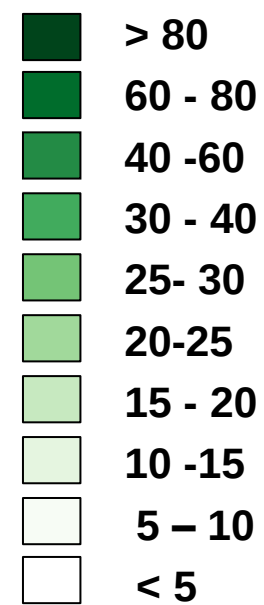
Radical Simplicity

0.0

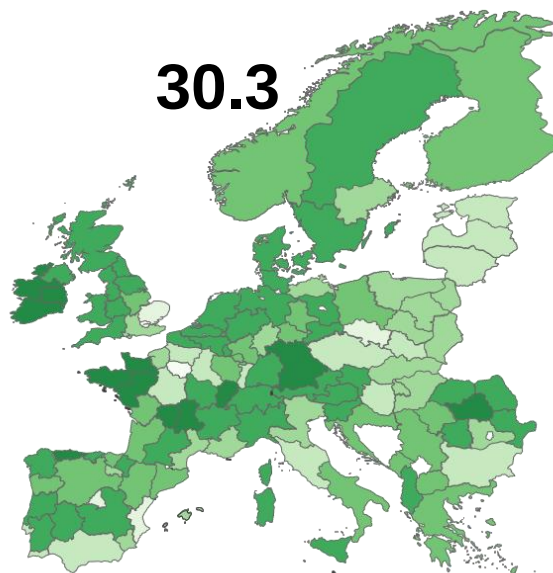


$$\frac{\sum (\text{Synt F; Imp Feed; Net imp An.Veg})}{\sum (\text{Food ingest.; Food exp.})}$$

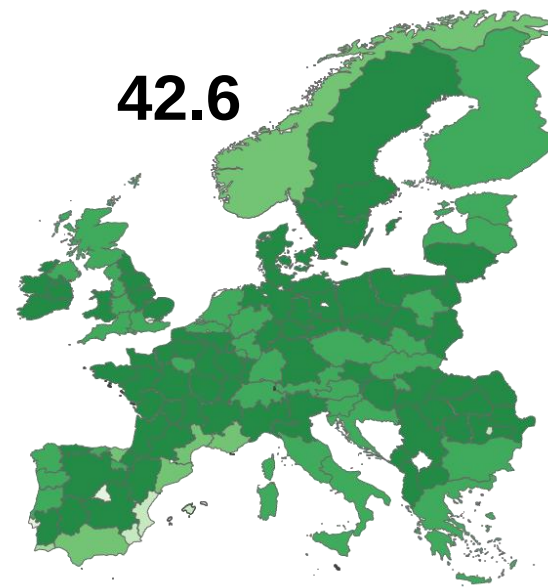
□ Circularité de N, %



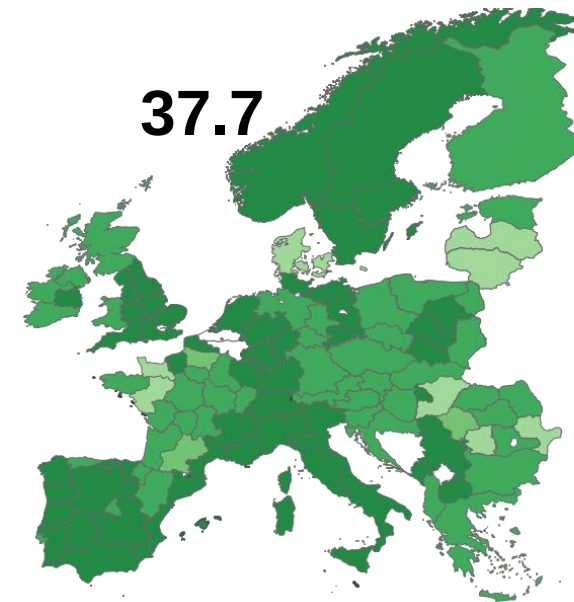
30.3



42.6



37.7

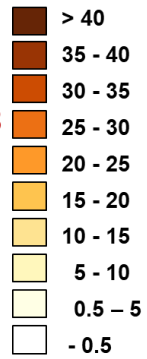


$$\frac{\sum (\text{Manure Ani. \& Hum; red N dep.})}{\sum (\text{Tot Fert.*; Net Imp Feed; Net Imp. food})}$$

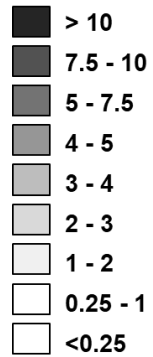
Impacts environnementaux

Pollution atmosphérique

- Volatilisation NH_3
kgN/haSAU/an



- Emission N_2O
kgN/haSAU/an

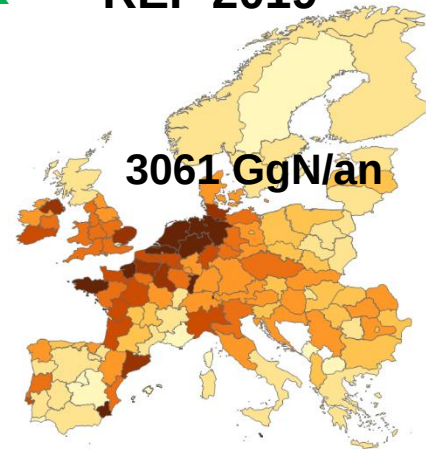


Lixiviation

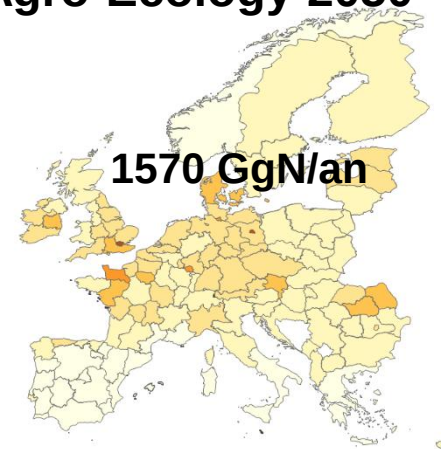
- Conc. Nitrate
sous gdes cultures
(valeurs max)
mgN/L



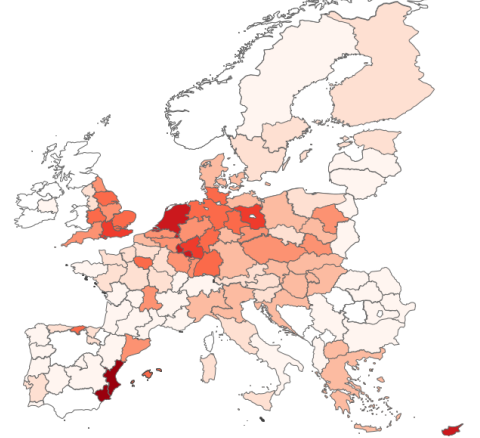
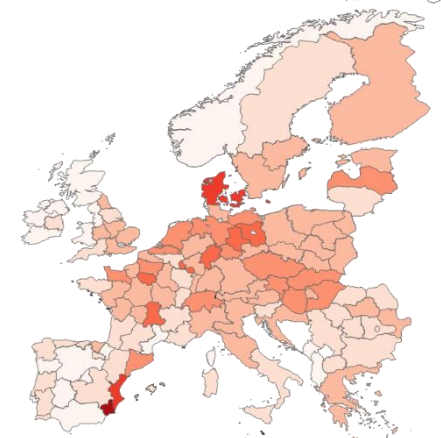
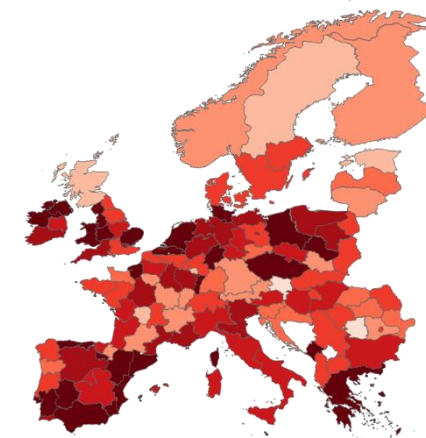
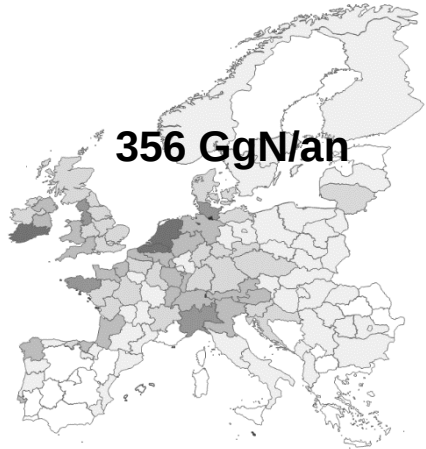
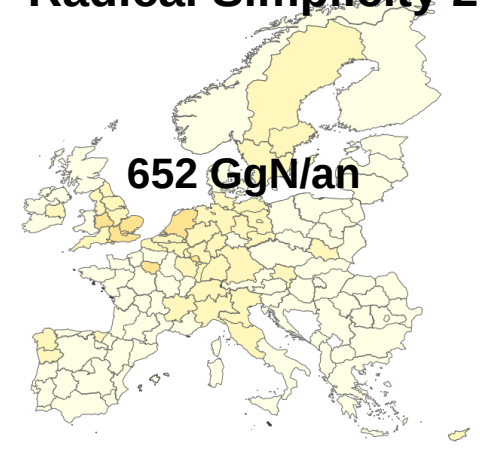
REF 2019



Agro-Ecology 2050

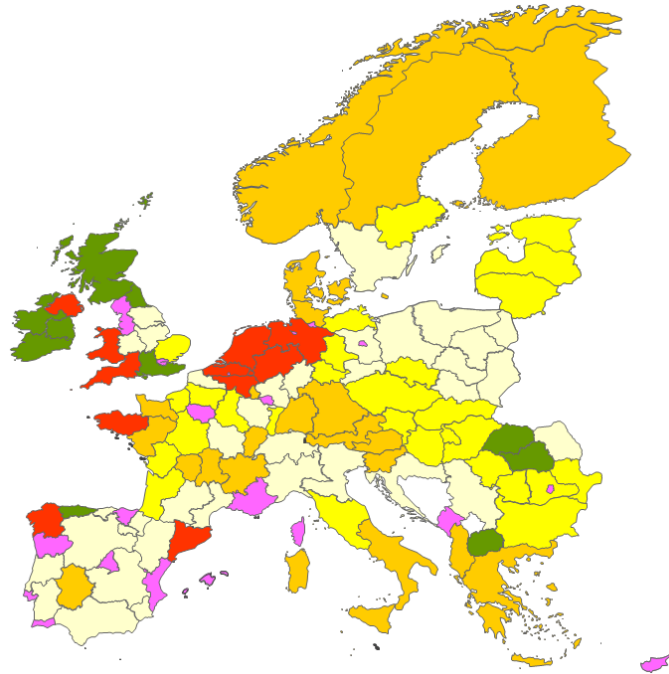


Radical Simplicity 2050

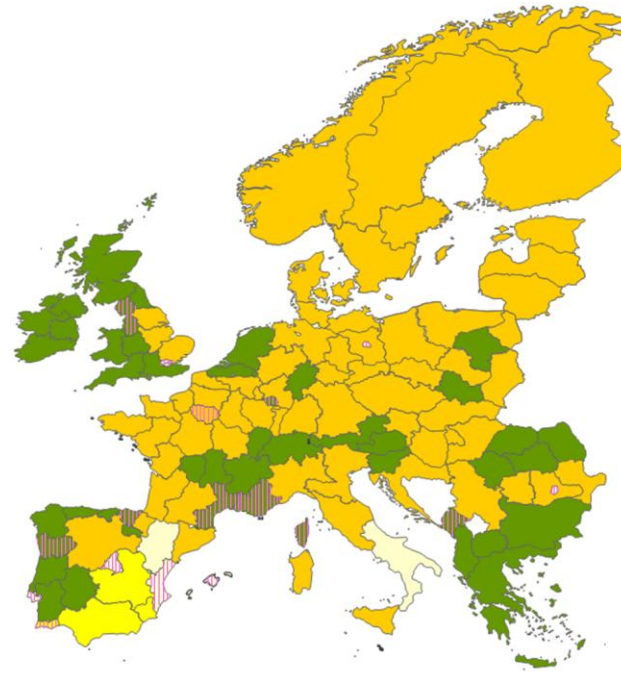


□ Typologies

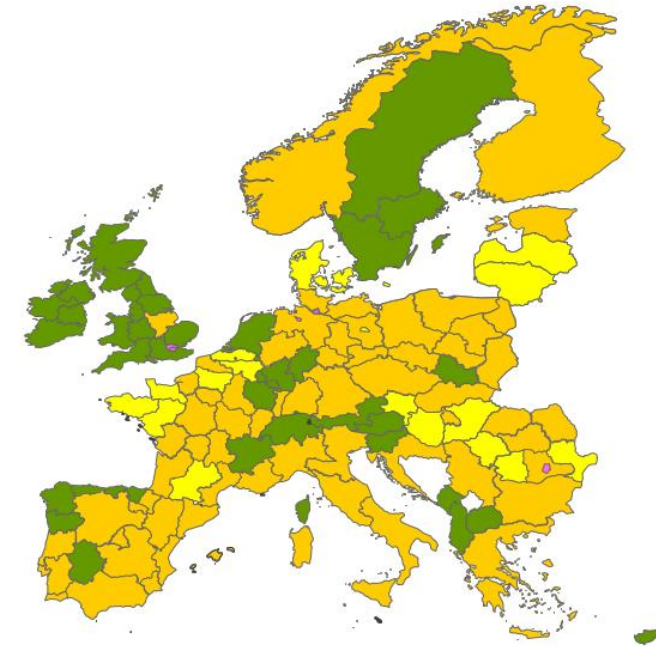
REF 2019



Agro-Ecology 2050



Radical Simplicity 2050



- Urban systems
- Stockless cropping systems
- Specialized livestock systems
- Grass based mix crop and livestock systems
- Fodder based mix crop and livestock systems
- Disconnected crop and livestock systems

- Pour AE et RS, retour à la polyculture élevage dans la plupart des régions (cf. hypothèse)
- Pour RS la classification en système de grande culture spécialisée avec de faible densité de bétail

□ Conclusions

- L'approche GRAFS a été développée/appliquée à différentes échelles (12 macro-régions du monde, l'échelle de l'Europe –pays et régions-, échelle de la France divisée en départements et petits territoires –Brie laitière-)
- La question de la définition du périmètre pertinent dépend des objectifs poursuivis :
 - questions de dépendance géopolitique
 - questions de spécialisation territoriale
 - et pb de disponibilités des données
- Une démarche à petites échelles permettrait d'aborder, sous des angles nouveaux, les questions de:
 - généralisation des pratiques de rotations culturales
 - reconnexion culture-élevage
 - et pratiques territoriales, en s'affranchissant de l'échelle de l'exploitation

Major features of the agri-food systems at the European scale

Europe	REF	Agro Ecology	Radical sobriety
Population , Minhab	534	538	538
Human consumption , GgN/yr			
Vegetal	1352	1882	1974
Animal (incl fish)	1888	806	498
Livestock , MLU	111	82	51
Import (+)/Export(-) , GgN/an			
Vegetal food	-2586	-140	-153
Feed	2958	0	0
Animal products	-557	-445	-17
Practices & resources			
Synth. Ferti, GgN/yr	12267	0	0
Symbiotic fix., GgN/yr	4089	8470	9750
Manure input, GgN/yr	7493	6006	3995
Agri. Prod*, GgN/yr	11278	6534	4576
Grass L. prod., GgN/yr	4739	5067	5667
Environmental losses			
N Surplus*, GgN/yr	6322	3048	2686
Volatilization NH ₃ , GgN/yr	3061	1570	652
N ₂ O emission, GgN/yr	356	137	72

Decrease in manure (and livestock) and increase in symbiotic fixation

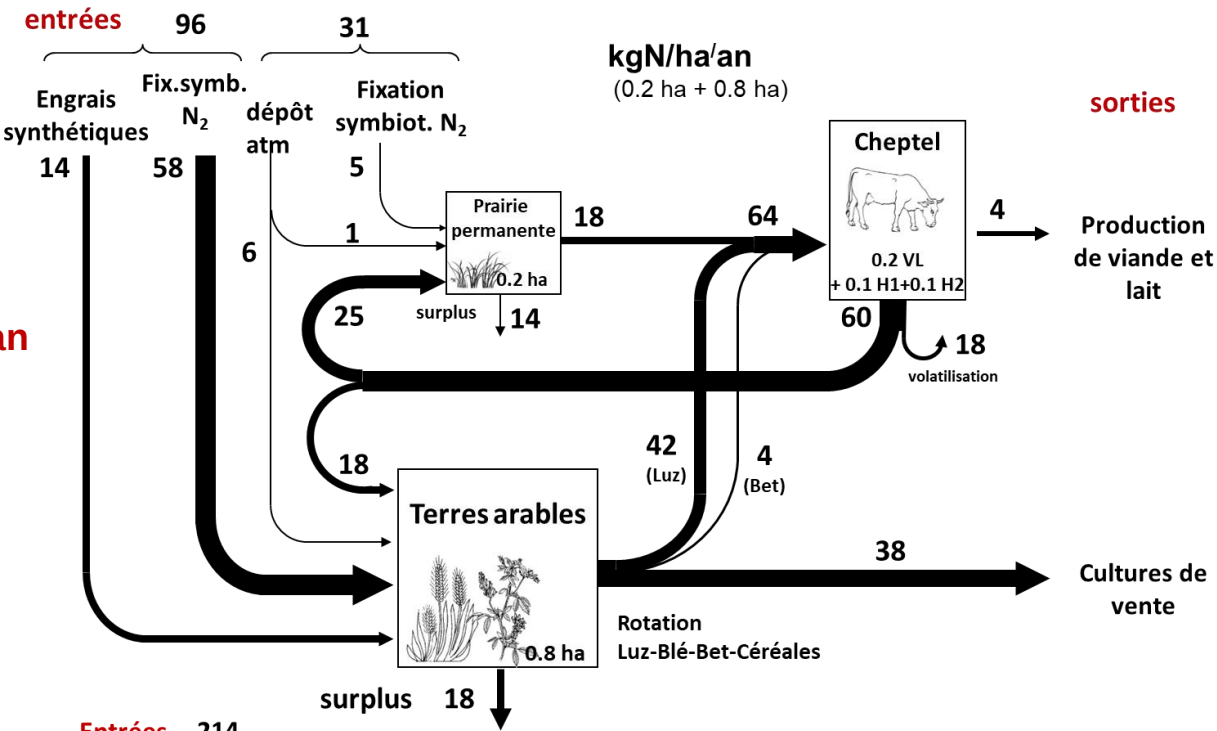
→ decreased circularity for RS vs AE

Situation en Brie

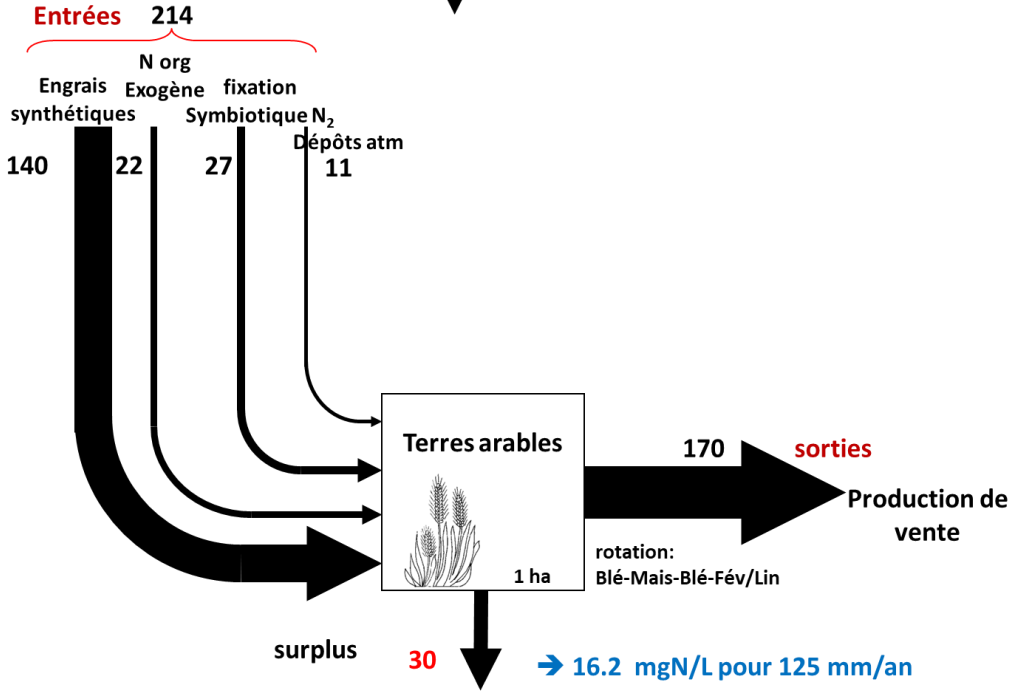
1955: polyculture-élevage



Flux d'azote en kgN/ha/an



Aujourd'hui: après drainage, céréaliculture chimique



Recouplage de l'élevage et des cultures arables

De la grande culture céréalière Bio

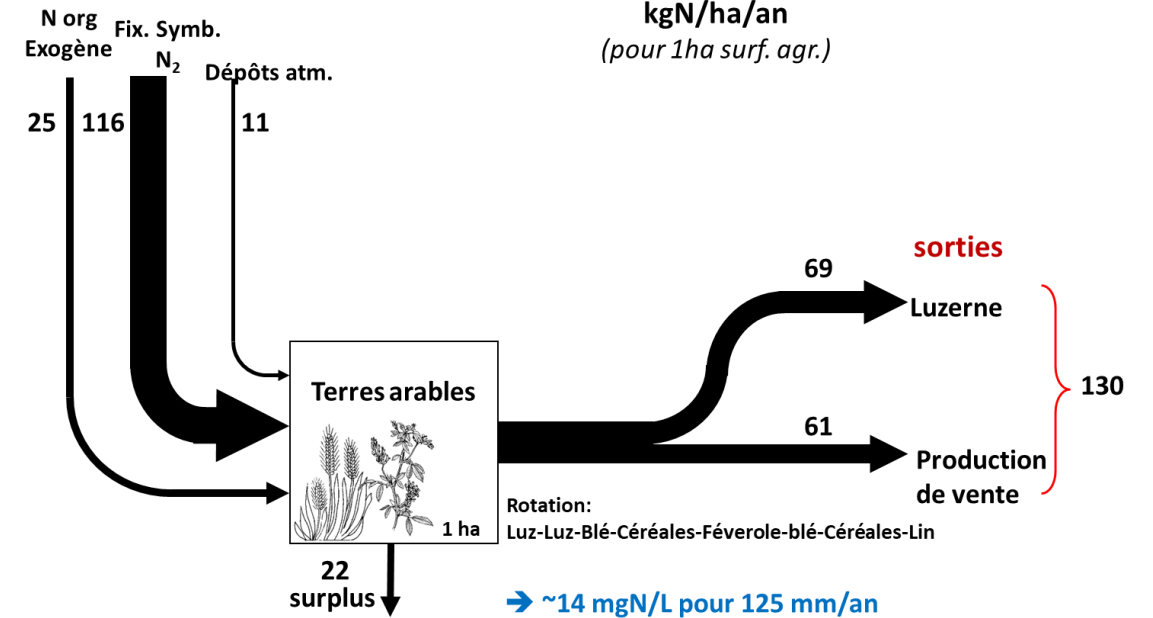


...à une réintroduction de l'élevage laitier comme débouché de la luzerne bio

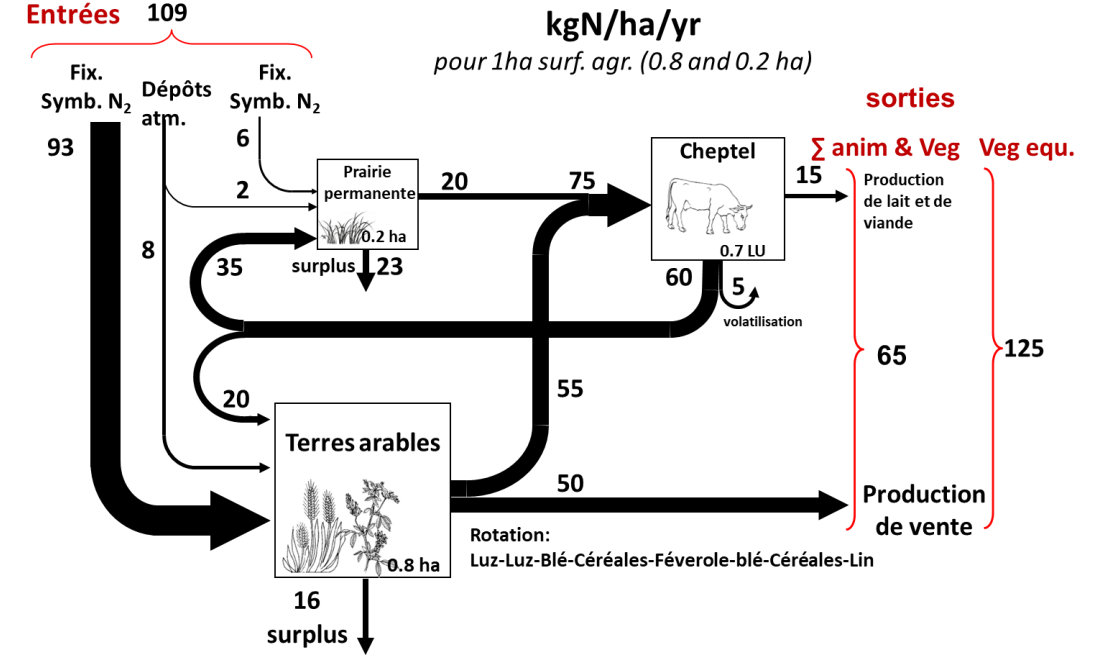


Garnier et al. (2016) Env Sci & Policy

Entrées 152

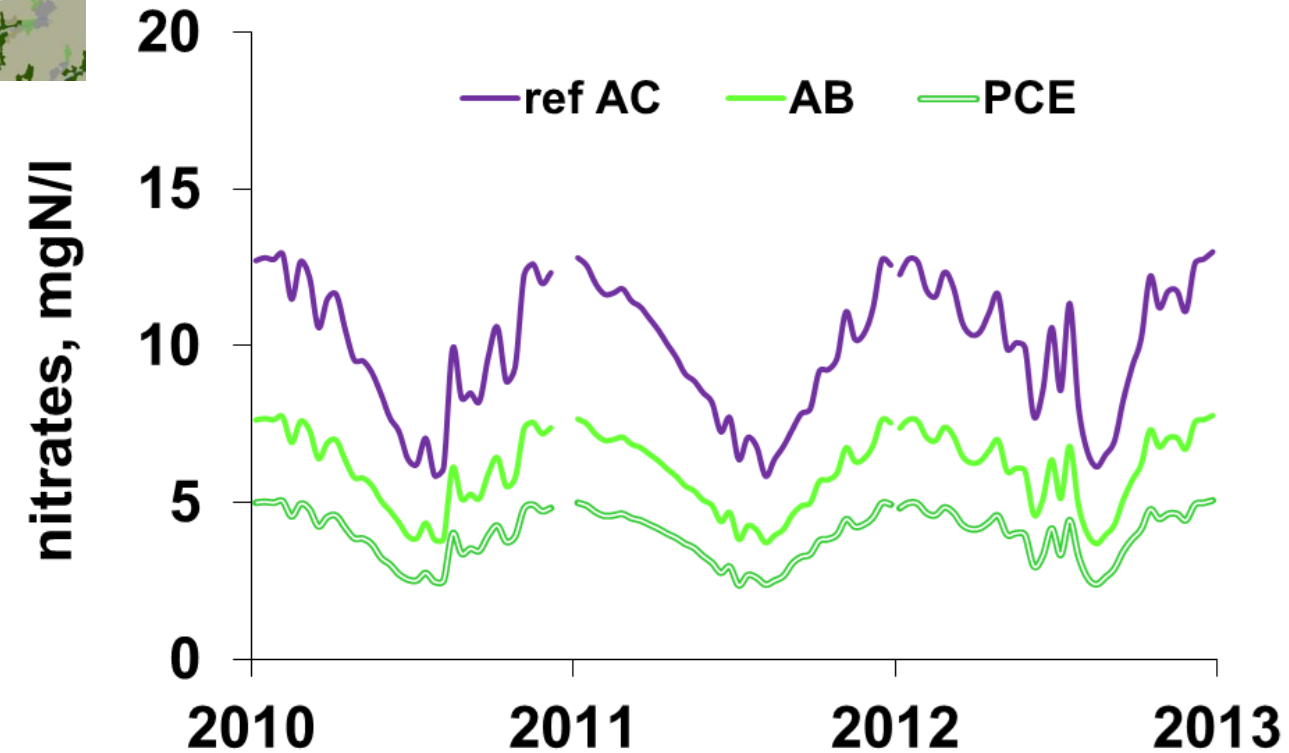
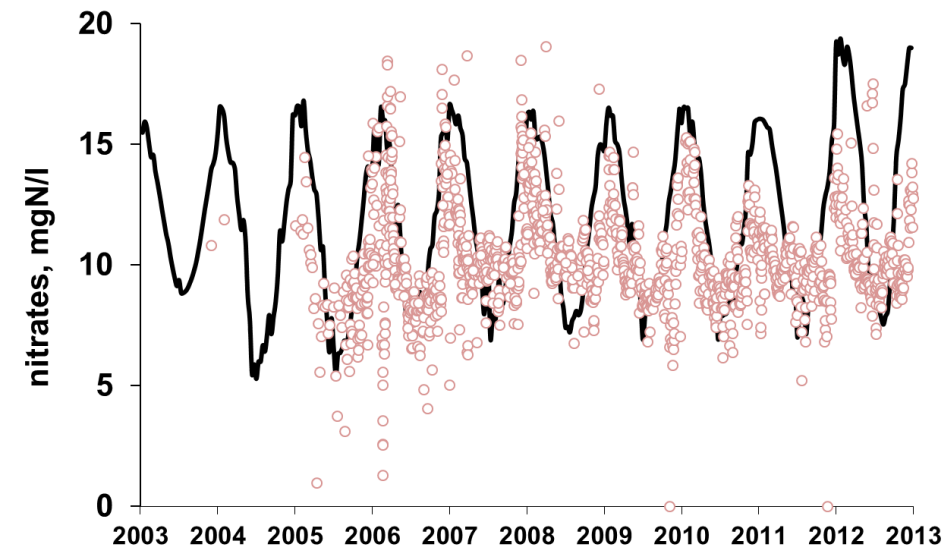
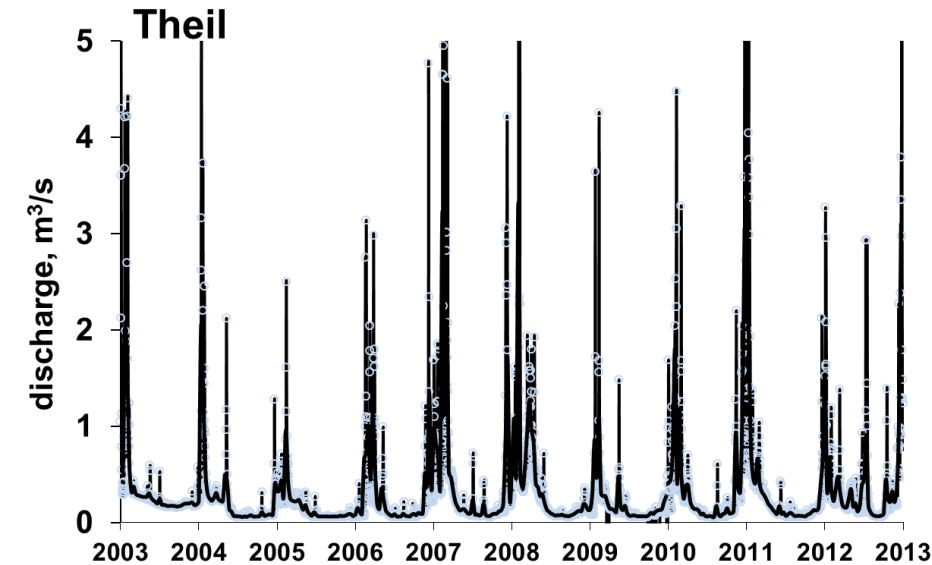


Entrées 109



Les résultats sur la qualité de l'eau

□ Bonne concordance entre les observations et les simulations



- Diminution des conc. en N des eaux de surface avec le scénario d'agriculture biologique
- En reconnectant la culture et l'élevage on améliore encore la qualité de l'eau et on a un débouché sur la luzerne

