Trajectoire future possible pour l’agriculture en Europe

Un scénario agro-écologique à l’horizon 2050

Julia Le Noë, Post-doctorante au laboratoire de Géologie de l’ENS

Gilles Billen, Eduardo Aguilera, Rasmus Einarsson, Josette Garnier, Simone Gingrich, Bruna Grizzetti, Luis Lassaletta, Julia Le Noë, Alberto Sanz-Cobena (2021).
Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle: the potential of combining dietary change, agroecology, and circularity.
OneEarth, 4: 839-850

Plan de l’exposé

1. **Modélisation et scénarios : quelle épistémologie ?**
2. **Trajectoires agricoles en Europe depuis 1961**
3. **Un scénario agro-écologique est-il possible à horizon 2050 ?**

1. La démarche de la prospective

Présupposés épistémologiques

Le futur ne tient pas uniquement de la nécessité des contraintes biophysiques.

Il tient également du conflit entre différentes volontés humaines ayant des intérêts différents voire divergents et différents désirs pour le futur.

Méthodes de la prospective

Pousser jusqu'au bout de leur logique des tendances évolutives, parfois contradictoires, déjà perceptibles dans le système actuel.

La modélisation de mesurer les conséquences socio-écologiques de différents scénarios

Démarche/ Posture scientifique

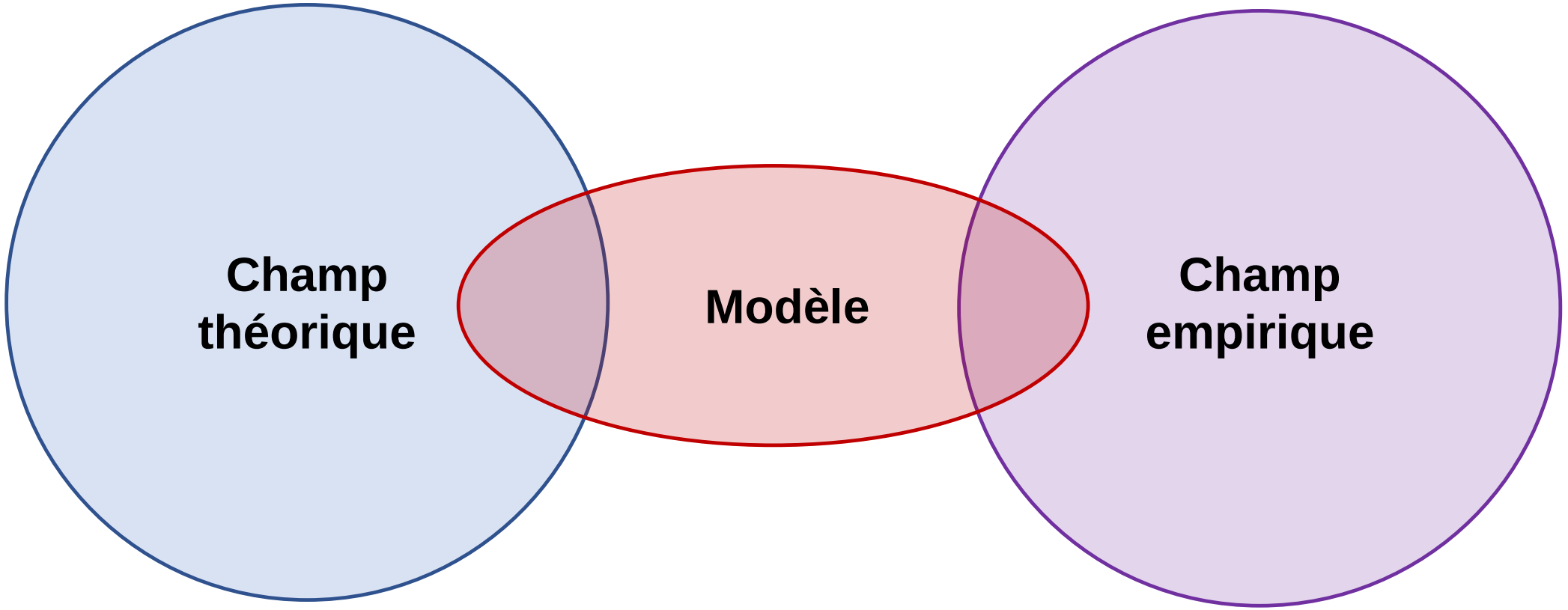
Démarche de **scénarisation non-prescriptive**

Recherche de description objective aussi non-neutre car il existe une part de subjectivité inhérente à toute élaboration de scénarios.

Scénarios = Fiction pétrie de sciences

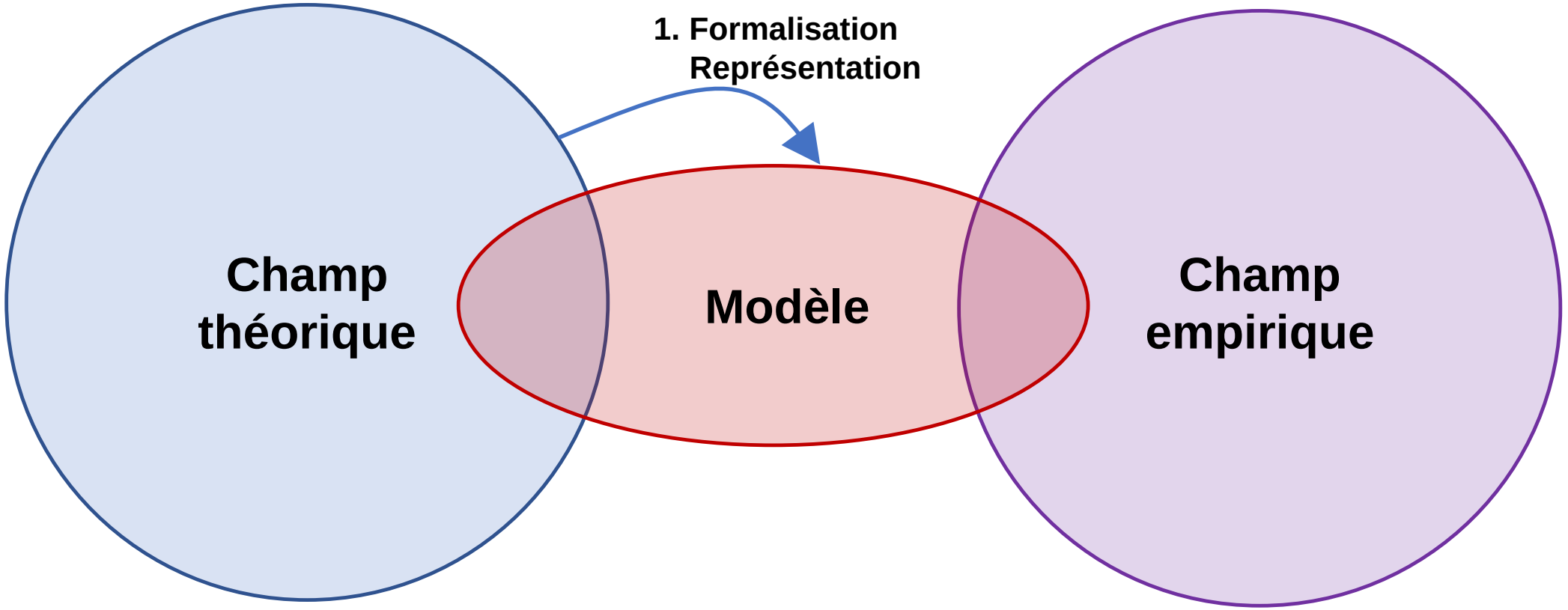
1. Quelle épistémologie derrière les modèles et les scénarios?

Pour Amy Dahan, directrice de recherche au CNRS au Centre Alexandre Koyré, les modèles sont un objet transitionnel, un médiateur, entre champs théorique dont ils constituent une formalisation et un champs empirique dont ils fournissent une interprétation



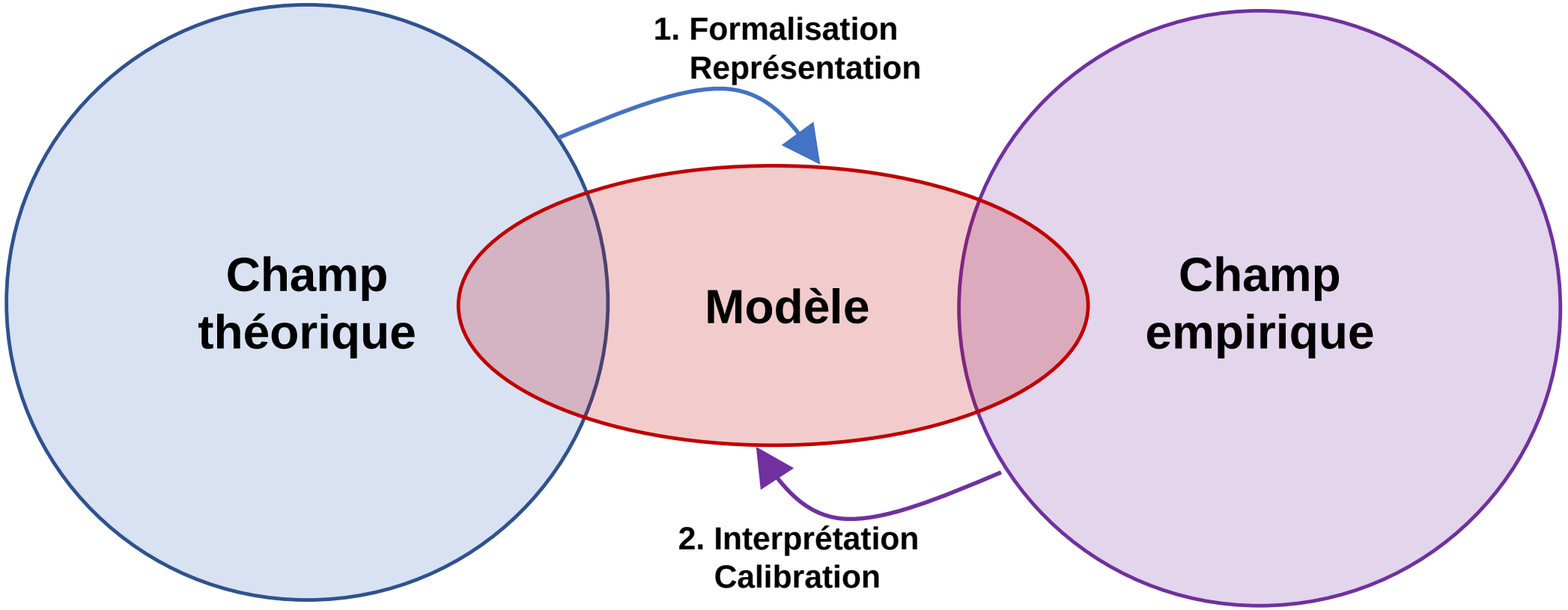
1. Quelle épistémologie derrière les modèles et les scénarios?

Pour Amy Dahan, directrice de recherche au CNRS au Centre Alexandre Koyré, les modèles sont un objet transitionnel, un médiateur, entre champs théorique dont ils constituent une formalisation et un champs empirique dont ils fournissent une interprétation



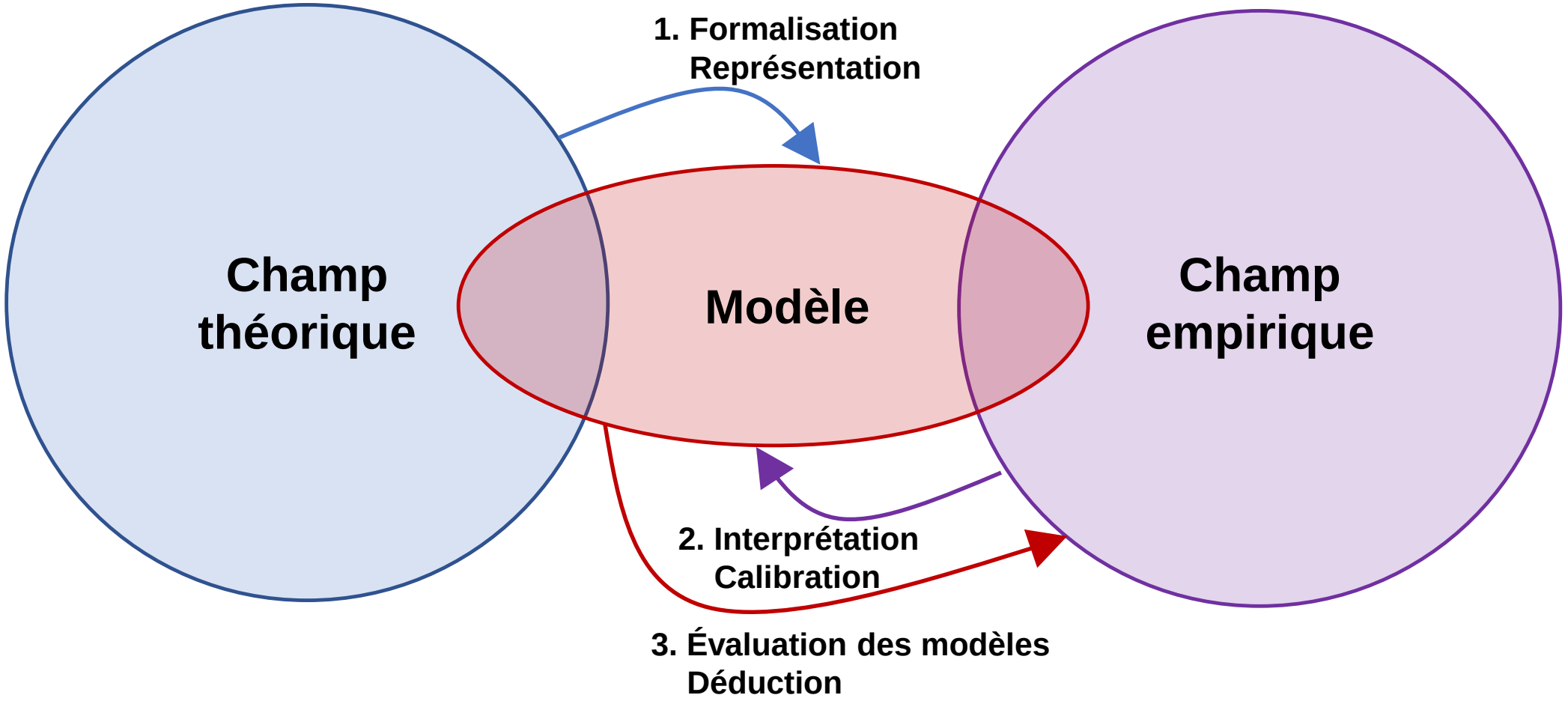
1. Quelle épistémologie derrière les modèles et les scénarios?

Pour Amy Dahan, directrice de recherche au CNRS au Centre Alexandre Koyré, les modèles sont un objet transitionnel, un médiateur, entre champs théorique dont ils constituent une formalisation et un champs empirique dont ils fournissent une interprétation



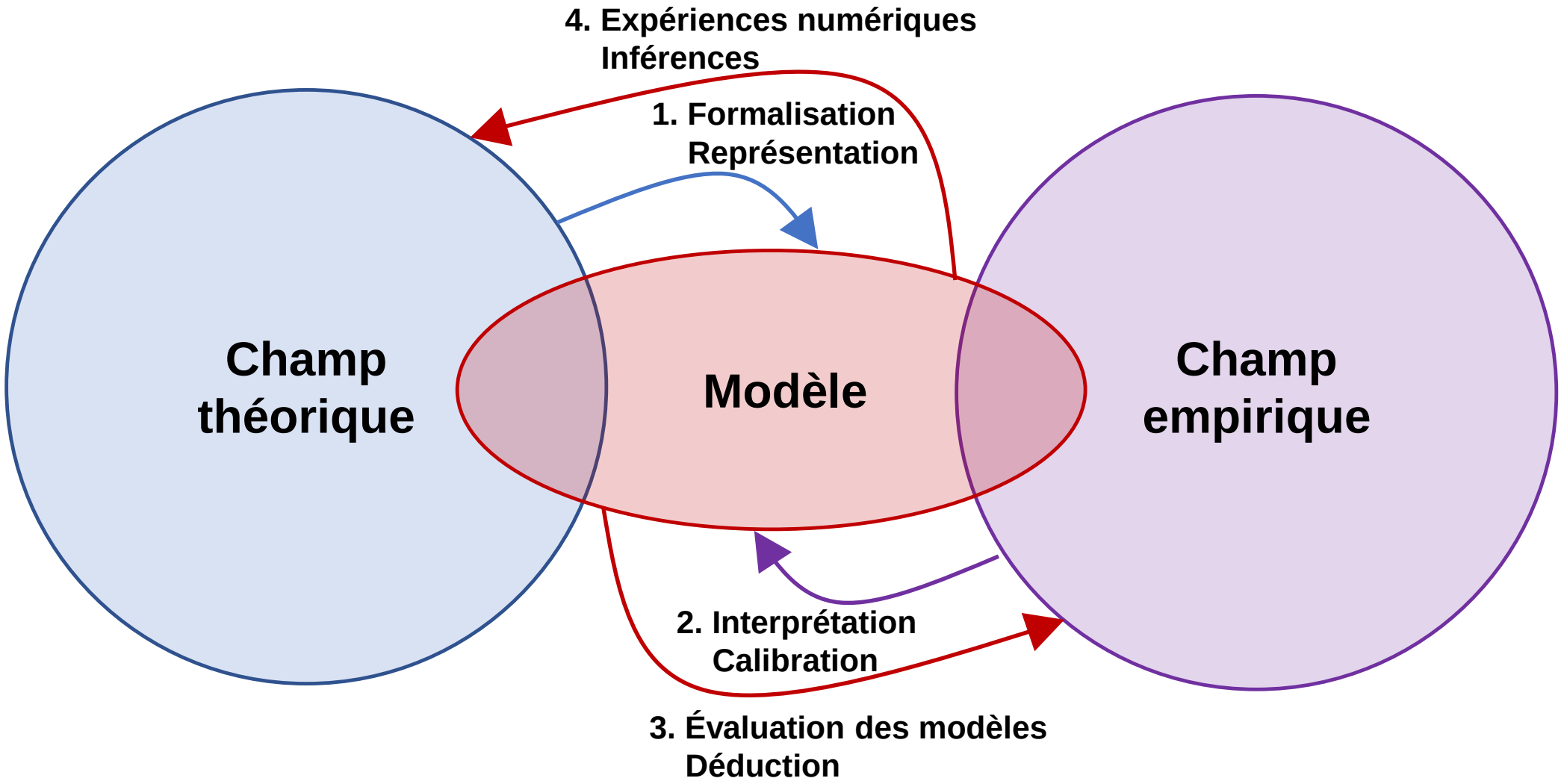
1. Quelle épistémologie derrière les modèles et les scénarios?

Pour Amy Dahan, directrice de recherche au CNRS au Centre Alexandre Koyré, les modèles sont un objet transitionnel, un médiateur, entre champs théorique dont ils constituent une formalisation et un champs empirique dont ils fournissent une interprétation

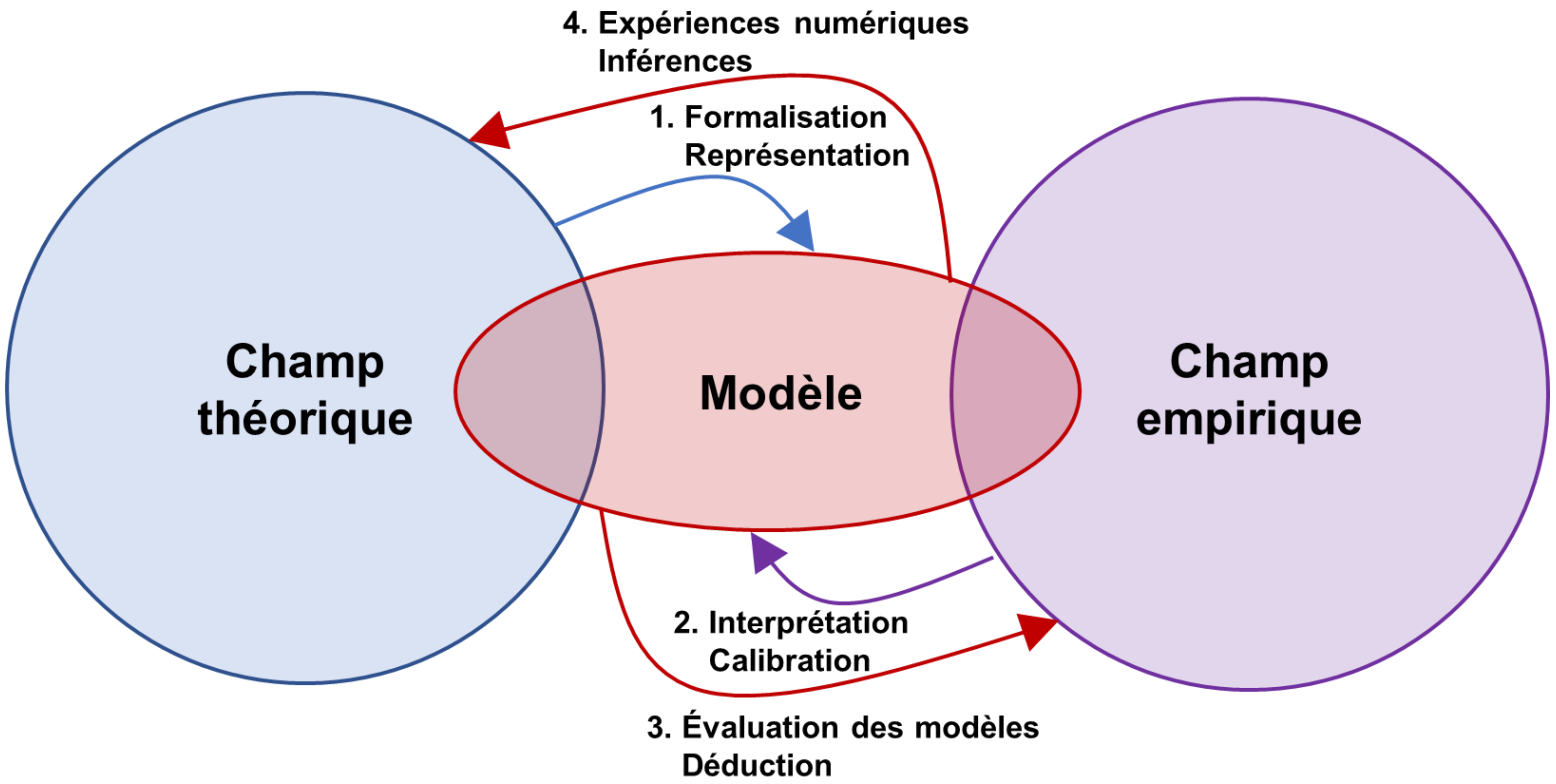


1. Quelle épistémologie derrière les modèles et les scénarios?

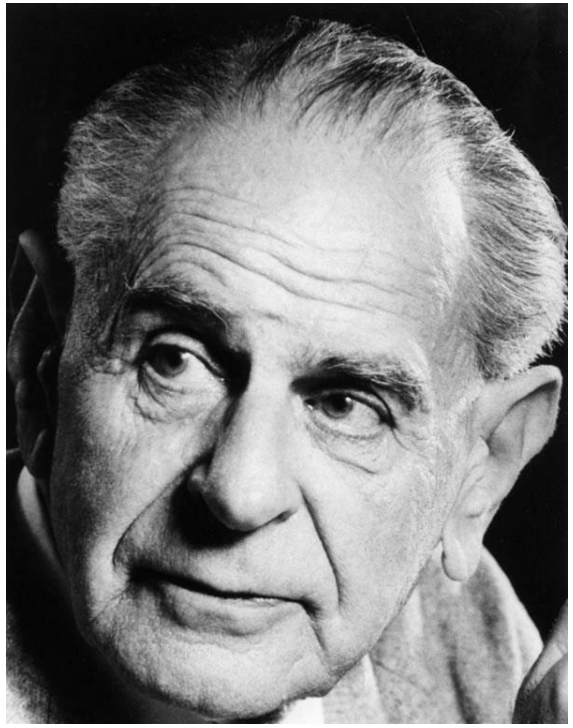
Pour Amy Dahan, directrice de recherche au CNRS au Centre Alexandre Koyré, les modèles sont un objet transitionnel, un médiateur, entre champs théorique dont ils constituent une formalisation et un champs empirique dont ils fournissent une interprétation



1. Quelle épistémologie derrière les modèles et les scénarios?



Karl Popper



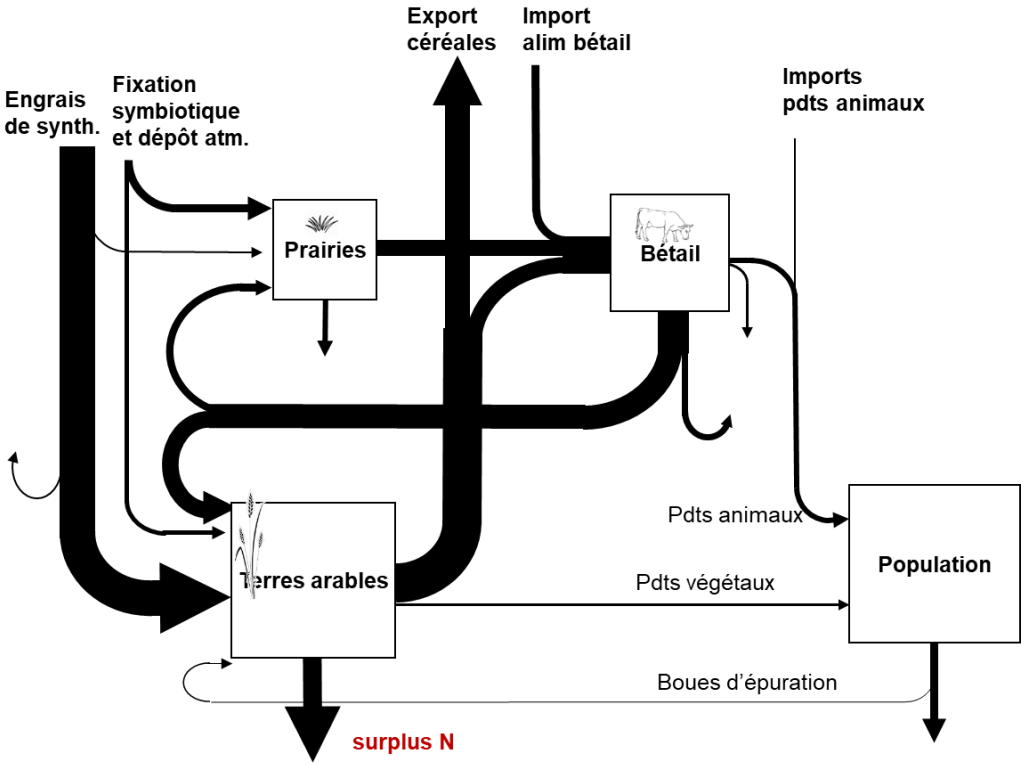
La modélisation est une approche complexe de la connaissance reposant sur des **inférences (étape 4)** mais **ancrées au préalable dans une approche hypothético-déductive (étapes 1-2-3)**.

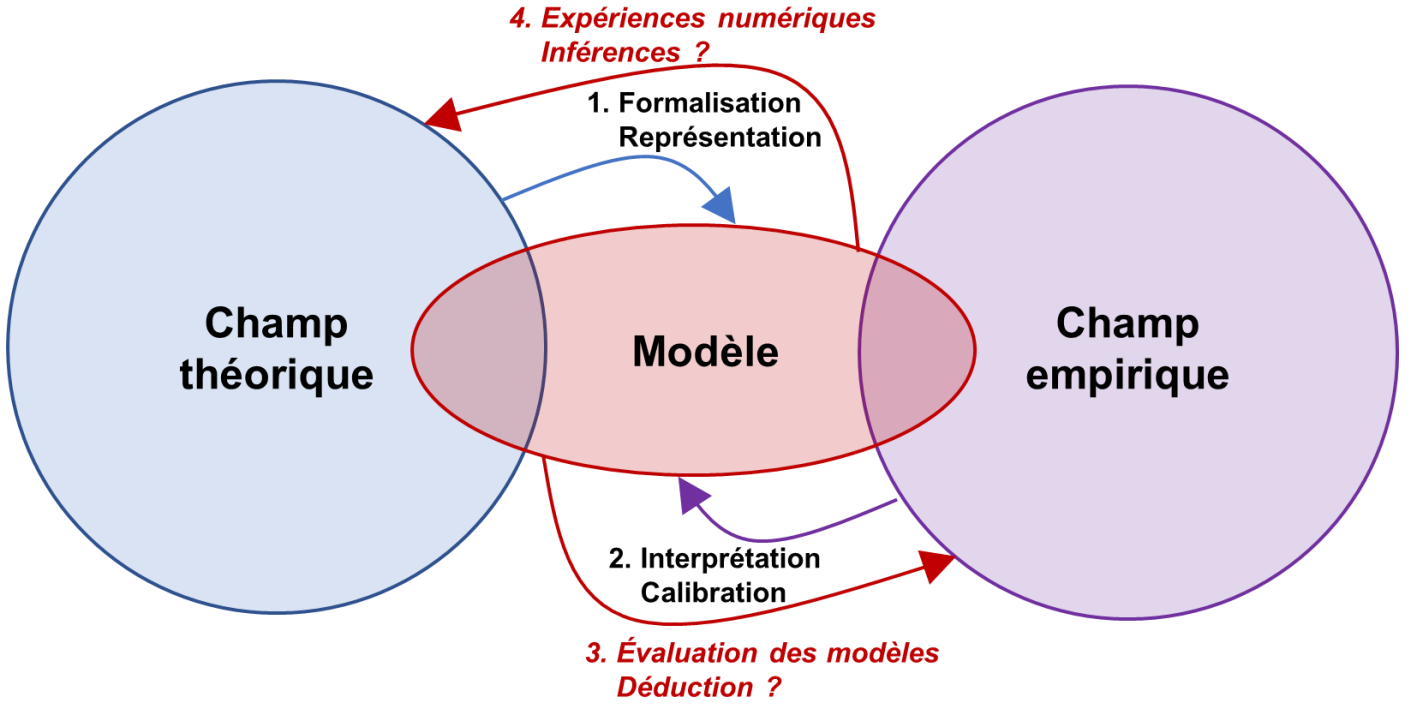
➔ Pour cette raison on peut donc parler de fictions pétries de sciences lorsque l'on fait de la scénarisation

Un modèle n'est pas falsifiable au sens de Popper mais il peut être validé/évalué pour un contexte donné. Il peut ainsi être adapté pour décrire/prédire le fonctionnement d'un système donné dans certaines conditions mais pas dans d'autres.

1. Le modèle GRAFS : pour analyser les systèmes agro-alimentaires existant

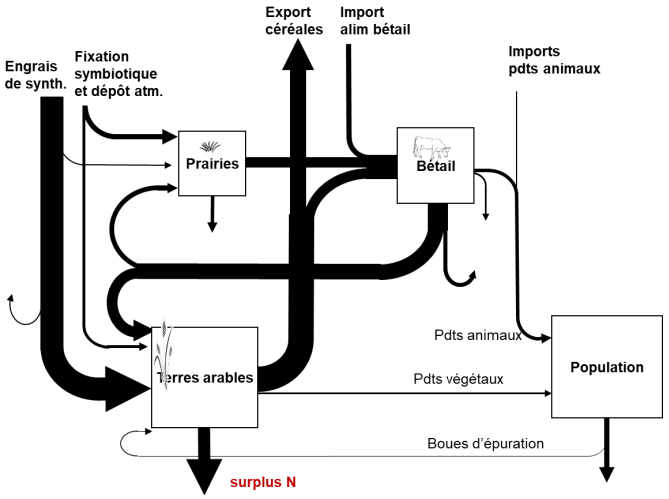
Pour imaginer des systèmes alternatifs possibles ?

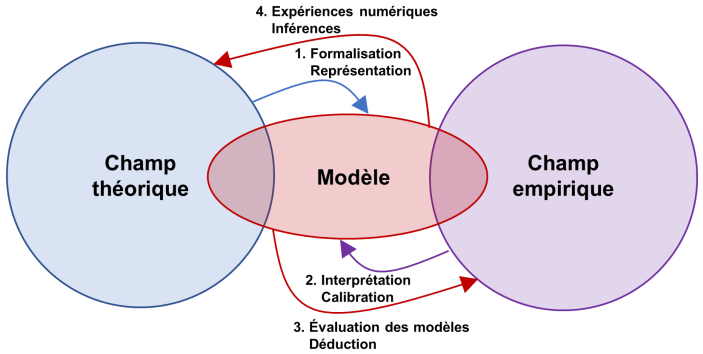




1. Le modèle GRAFS : pour analyser les systèmes agro-alimentaires existant

Pour imaginer des systèmes alternatifs possibles

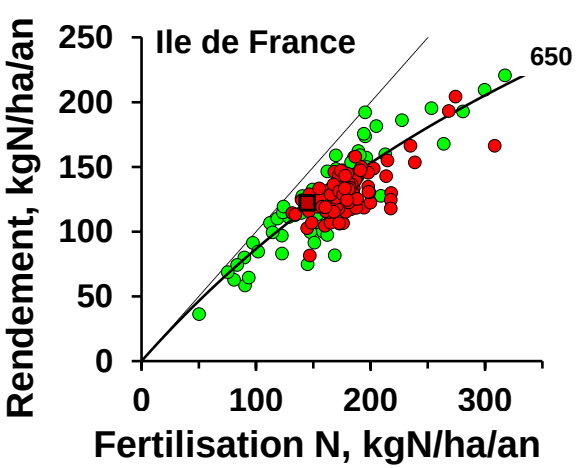


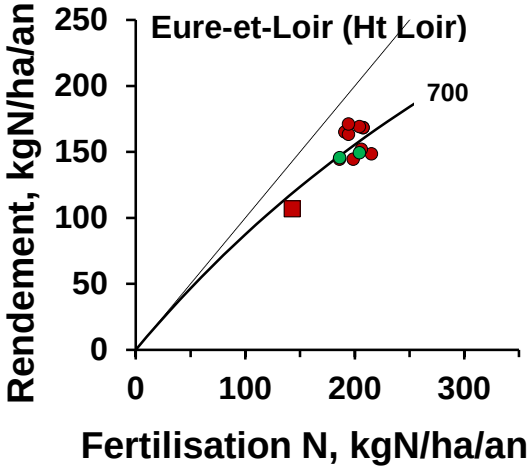


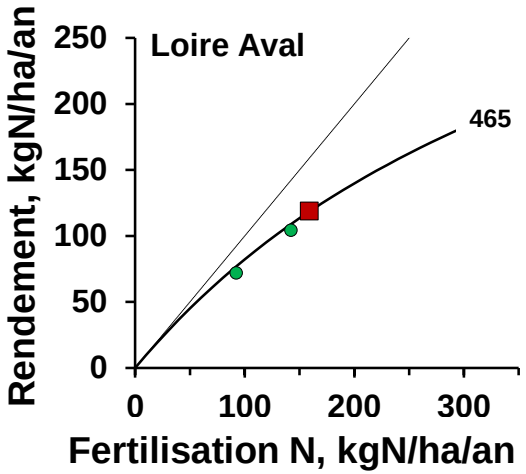
Relation empirique entre rendement des rotations de culture et fertilisation N
Y = Ymax*F/(F+Ymax)

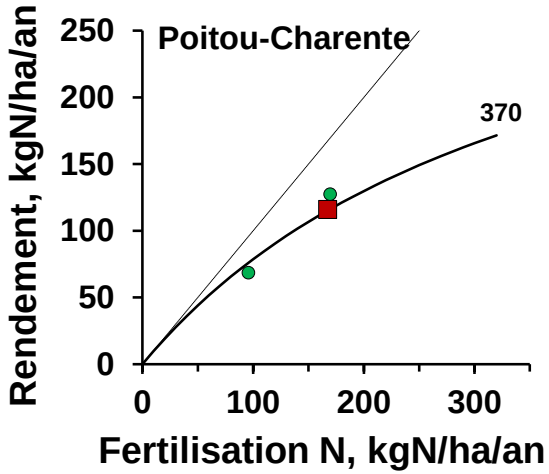
Rotations culturales:

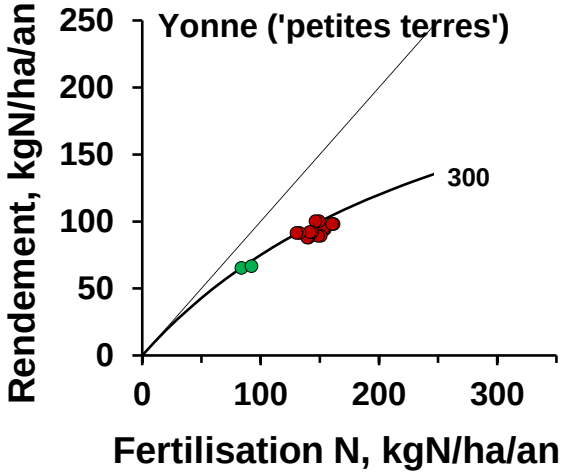
- **Conventionnel**
- **Biologique**











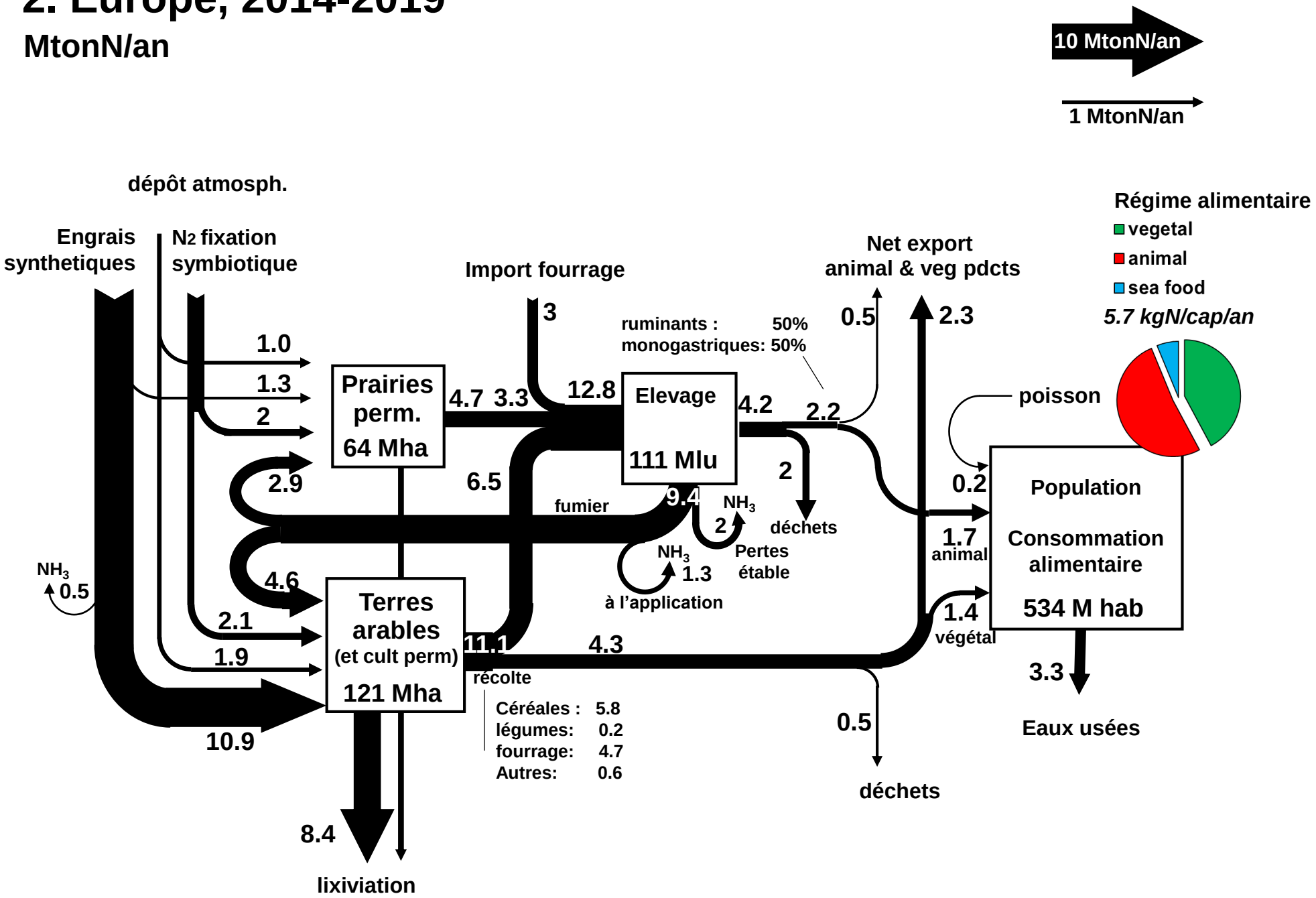
Billen, Le Noë & Garnier (2018) STOTEN

Plan de l’exposé

1. Modélisation et scénarios : quelle épistémologie ?
2. **Trajectoires agricoles en Europe depuis 1961**
3. Un scénario agro-écologique est-il possible à horizon 2050 ?

2. Europe, 2014-2019

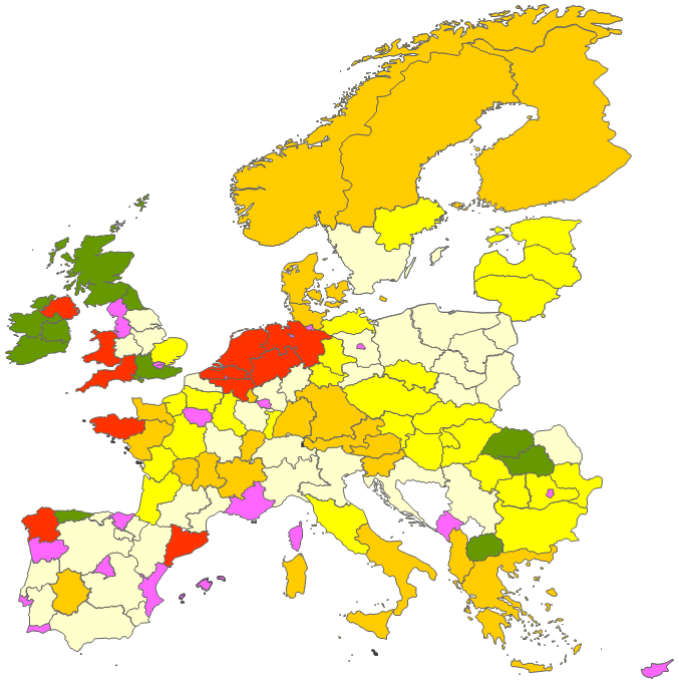
MtonN/an



2. Europe, 2014-2019

Une forte spécialisation territoriale…

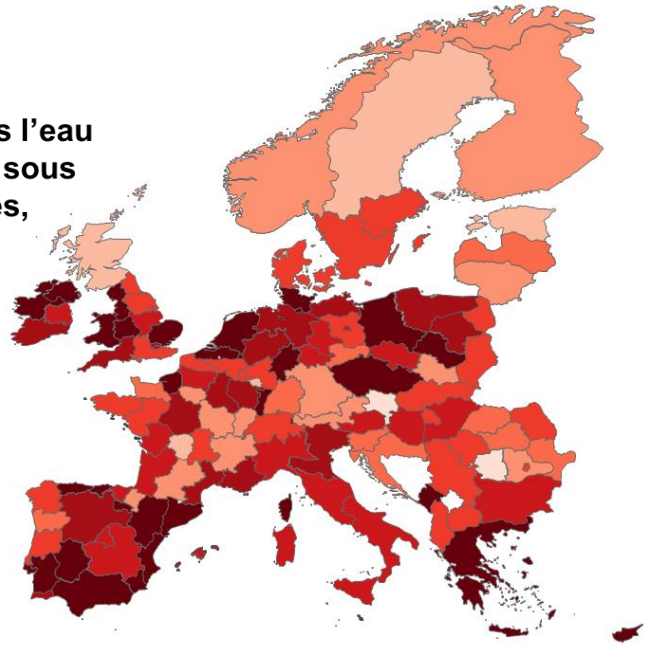
- Grandes cultures sans élevage
- Elevage intensif spécialisé
- Polyculture-élevage herbagère
- Polyculture-élevage fourragère
- Grandes cultures et élevage déconnectés
- Urbain dominant



…qui induit des pertes environnementales importantes

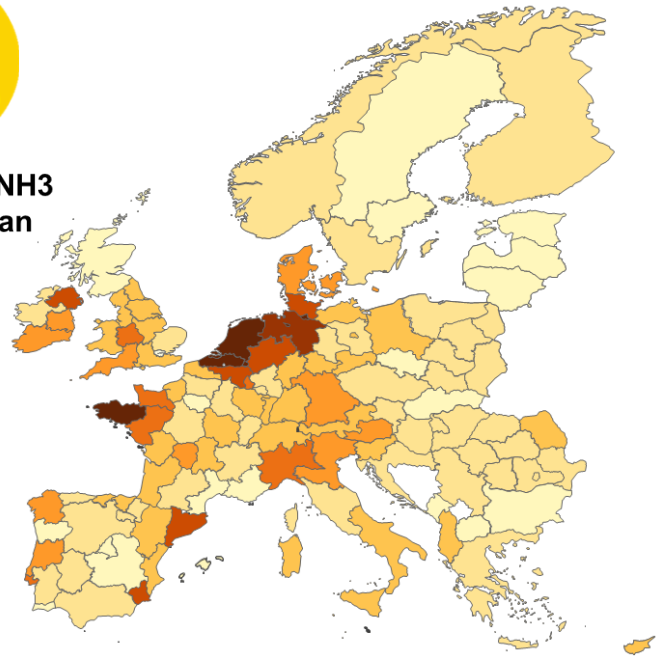
Nitrates dans l'eau d'infiltration sous terres arables, mgN/L

- > 25
- 20 - 25
- 15 - 20
- 10 - 15
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 2 - 4
- < 2



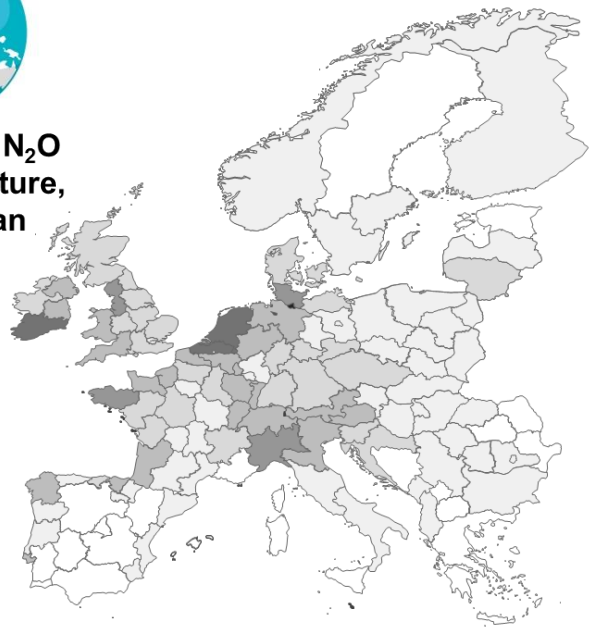
Émission d'NH3 kgN/haSAU/an

- > 40
- 35 - 40
- 30 - 35
- 25 - 30
- 20 - 25
- 15 - 20
- 10 - 15
- 5 - 10
- 0.5 – 5
- - 0.5



Emission de N_2O par l'agriculture, kgN/haSAU/an

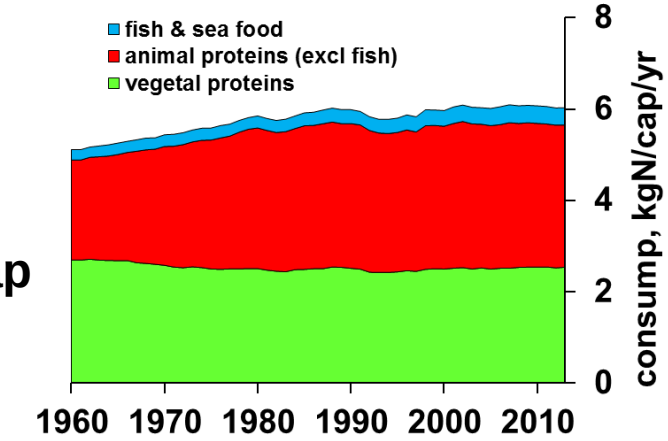
- > 10
- 7.5 - 10
- 5 - 7.5
- 4 - 5
- 3 - 4
- 2 - 3
- 1 - 2
- 0.25 - 1
- <0.25



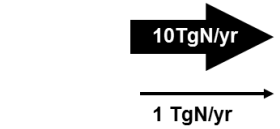
2. Le système agro-alimentaire européen au cours des 50 dernières années

25% d' augmentation de la population

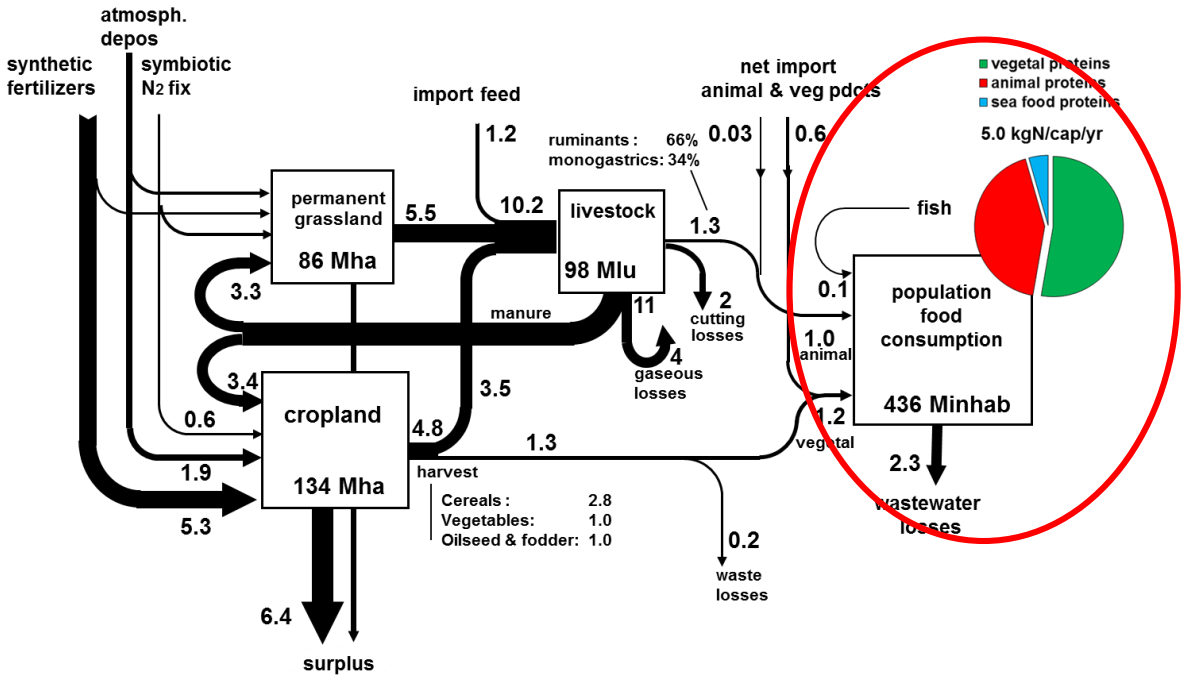
16% accroissement de la consommation per cap
20% accroissement du % protéines animales



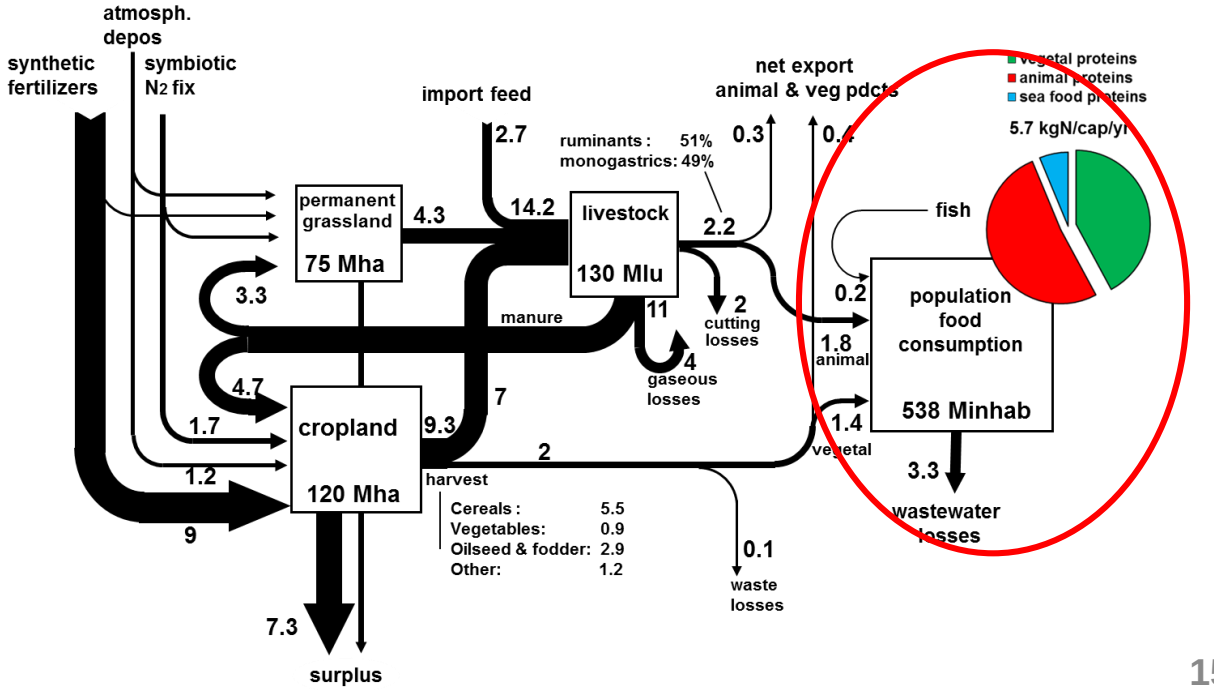
Flux d'azote en TgN/an (MtonN/an)



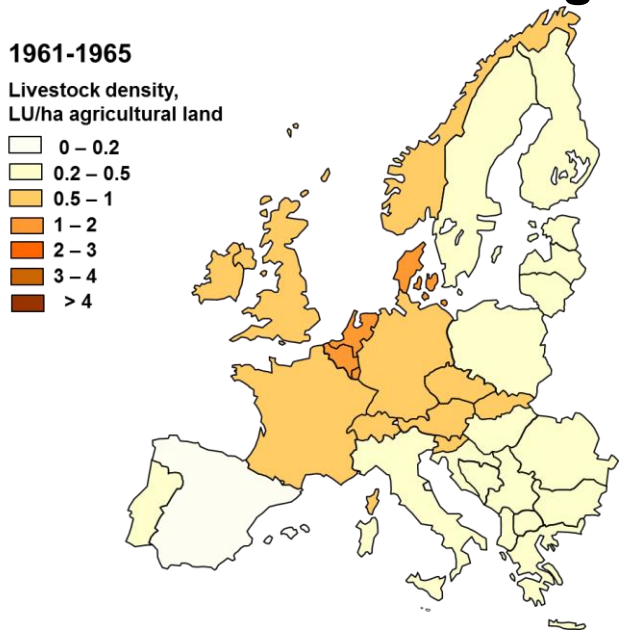
Europe 1961-1965

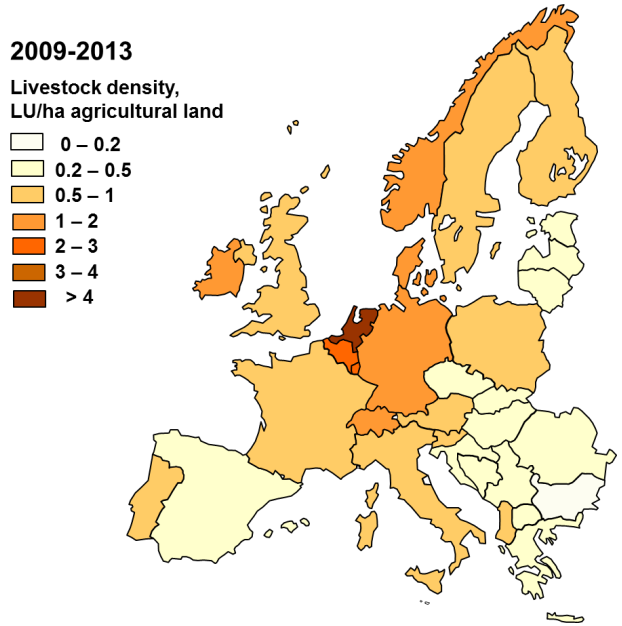


Europe 2009 - 2013

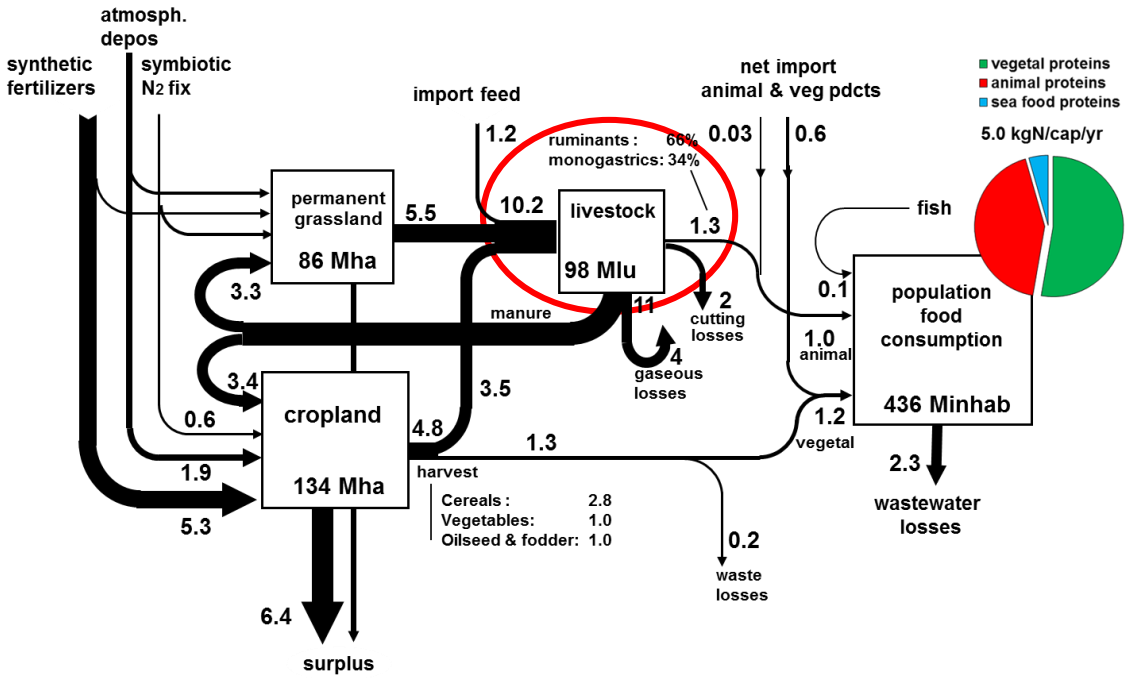


2. Intensification et spécialisation de l'élevage

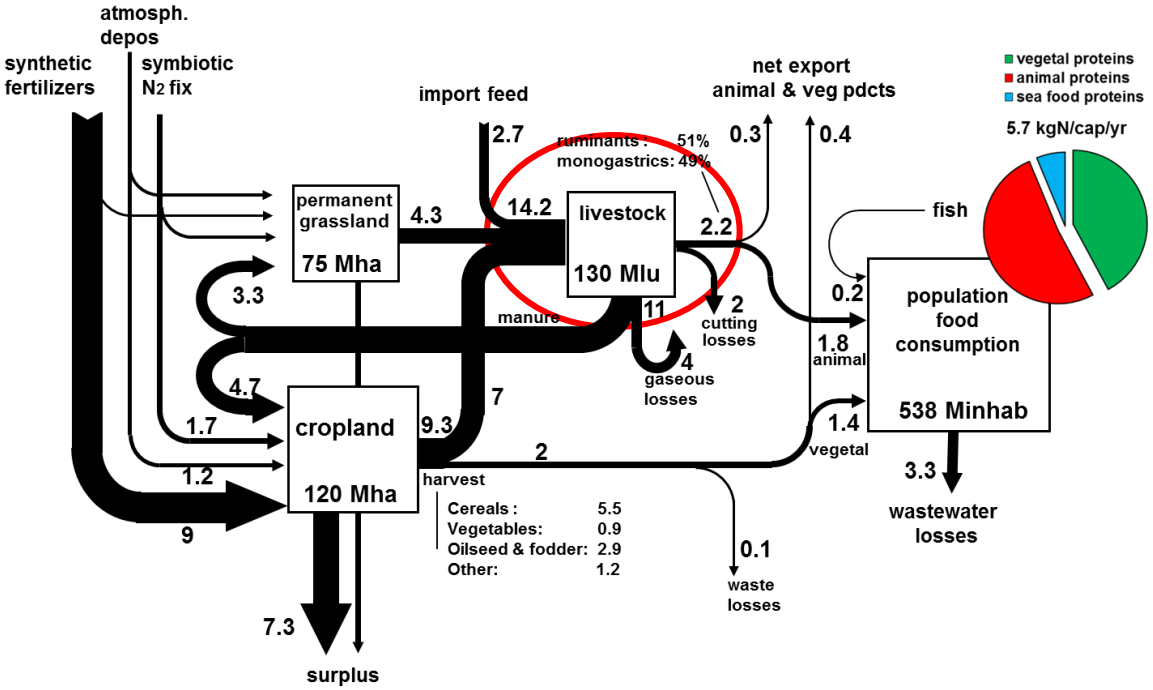




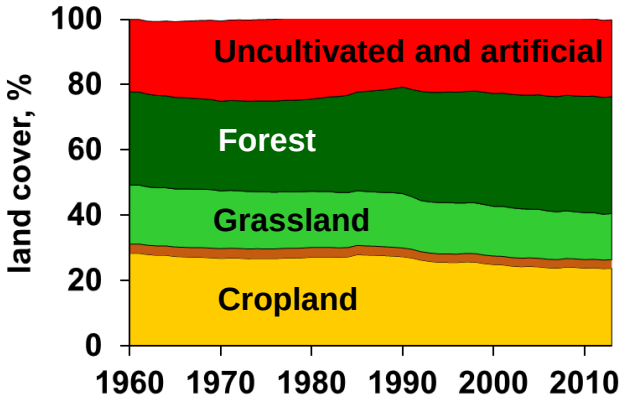
Europe 1961-1965

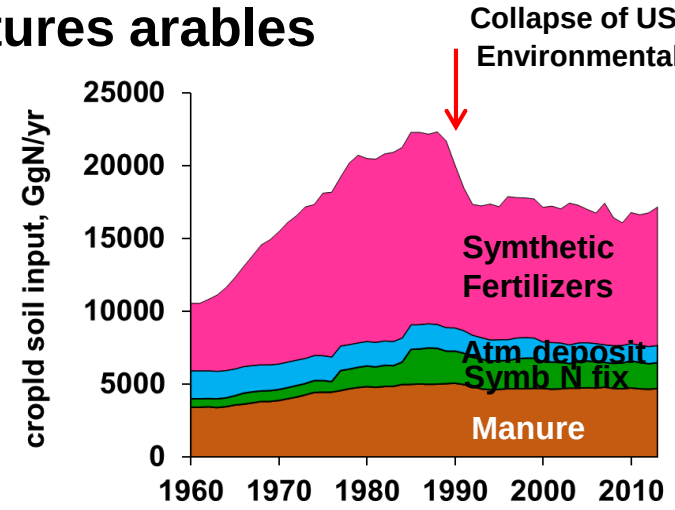


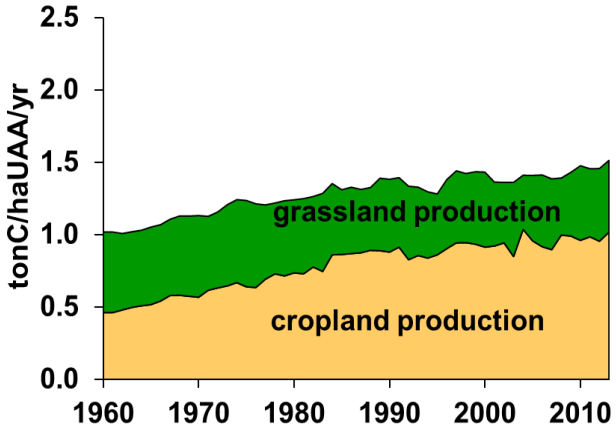
Europe 2009 - 2013



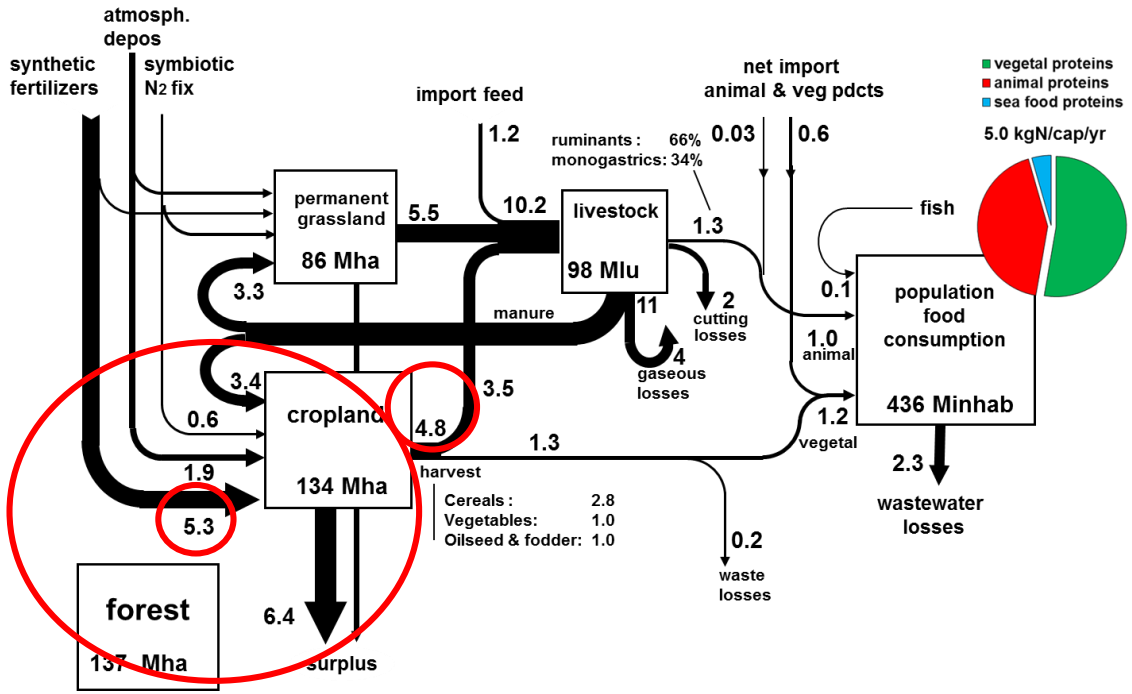
2. Intensification des cultures arables



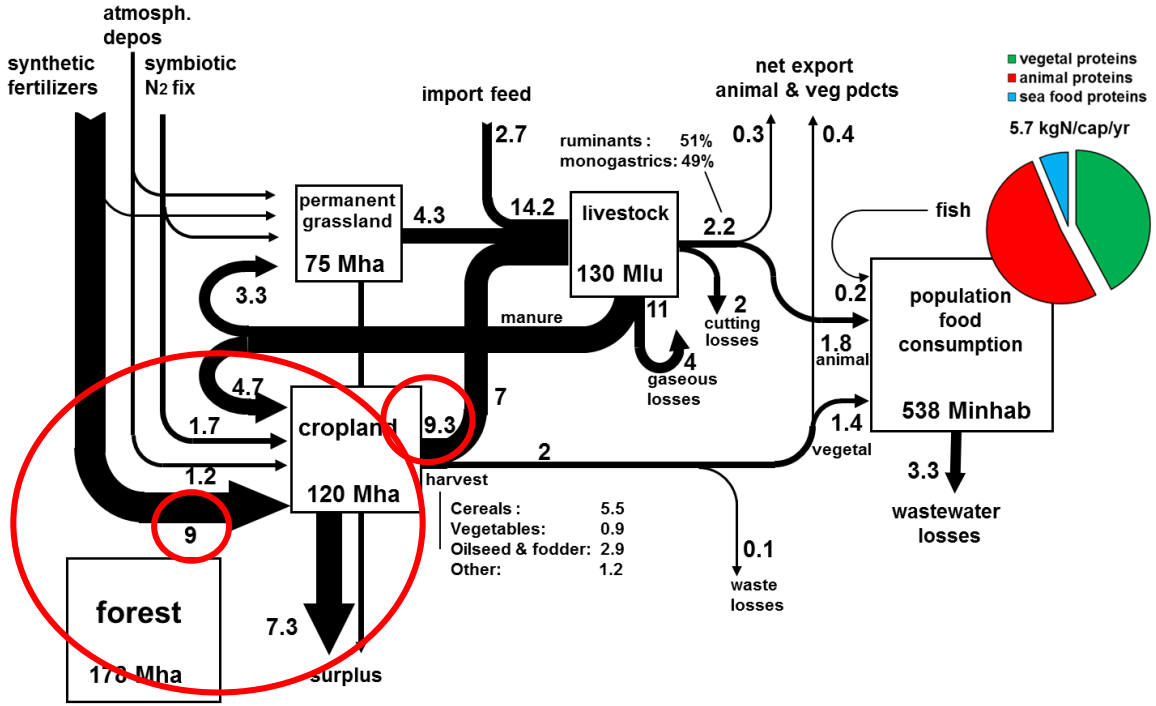




Europe 1961-1965 Flux d'azote en TgN/an



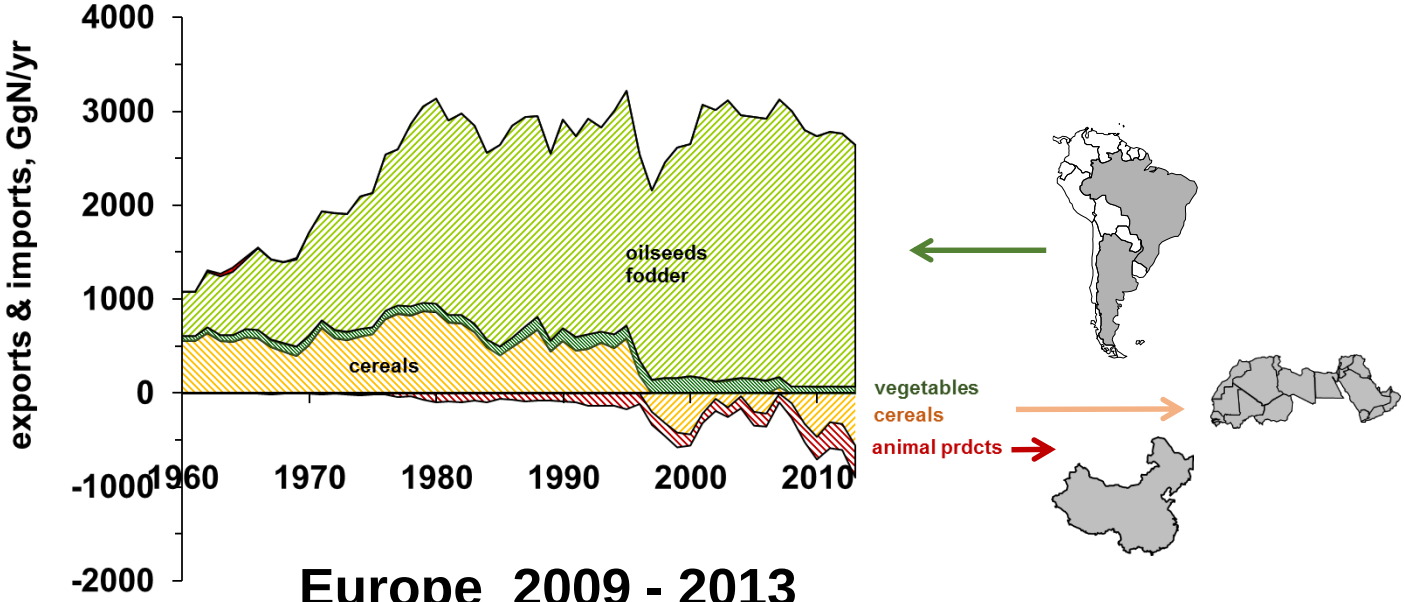
Europe 2009 - 2013



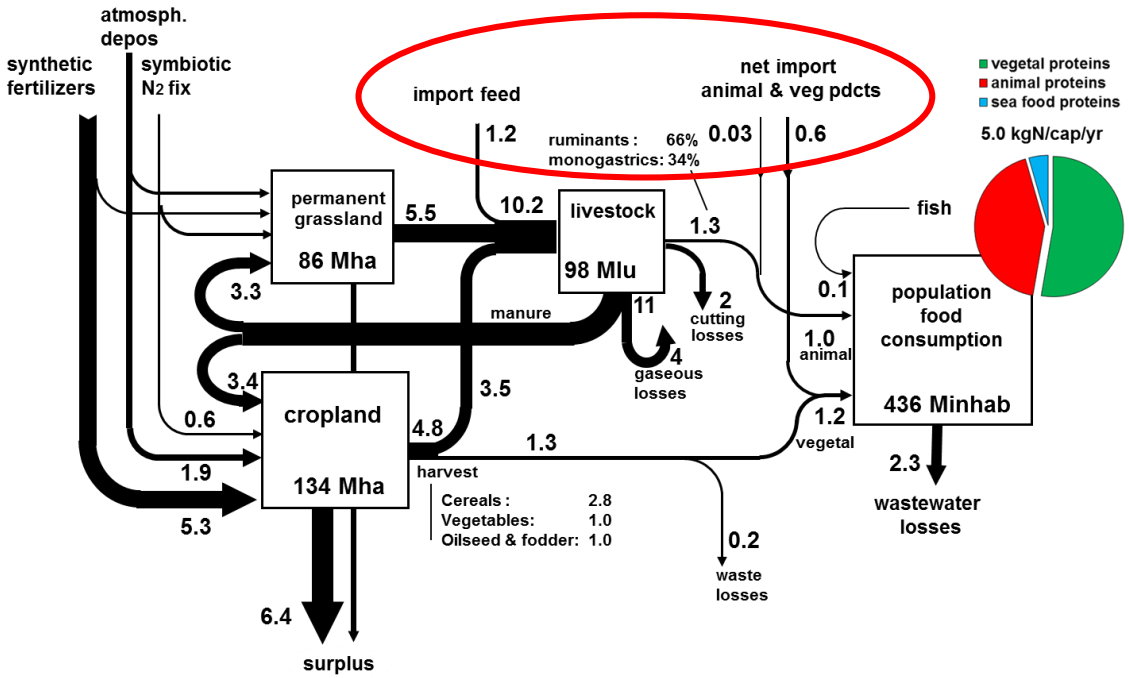
2. Commerce extra Europeen et ouverture croissante du système

L'Europe devient exportatrice de céréales et de produits animaux

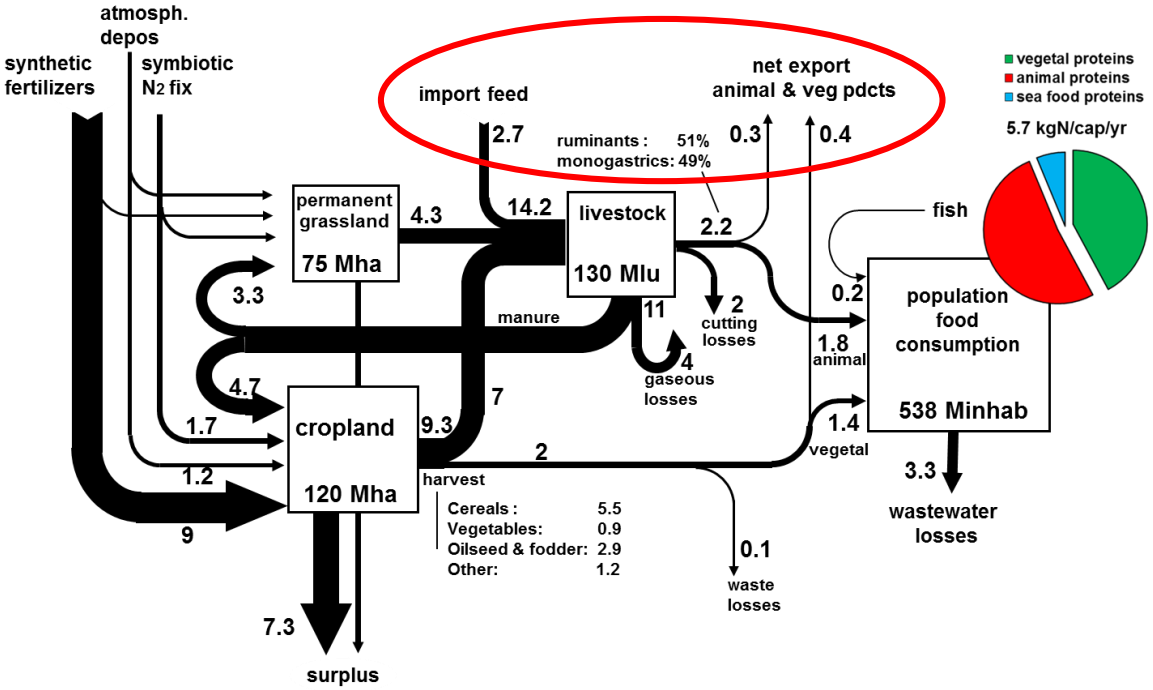
Mais…
Accroît ses importations de soja



Europe 1961-1965



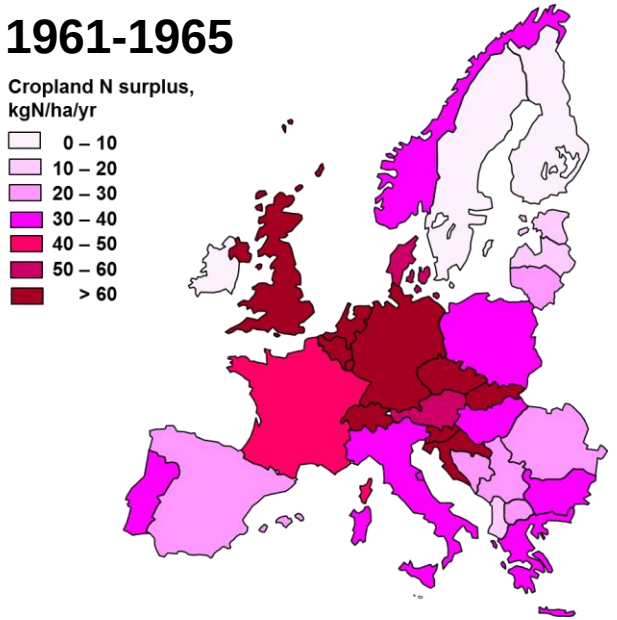
Europe 2009 - 2013



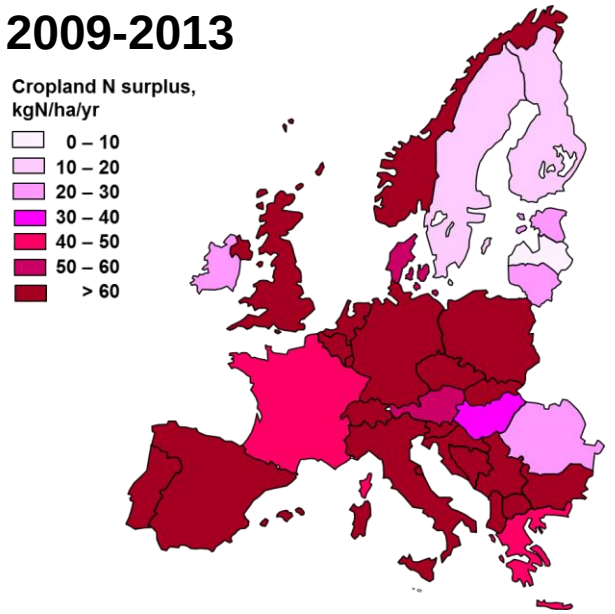
2. Conséquences environnementales

Accroissement de la contamination en nitrates des eaux souterraines et de surface

1961-1965

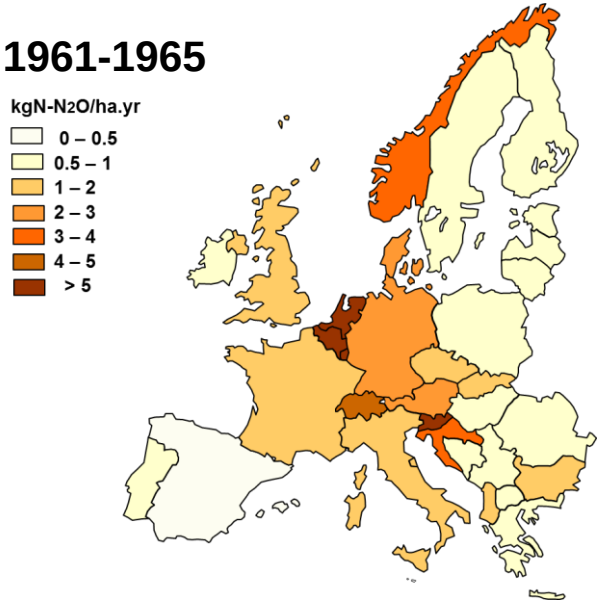


2009-2013

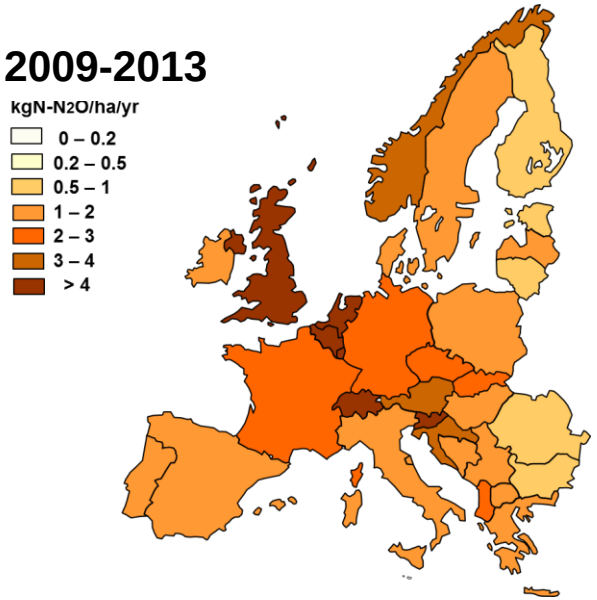


Accroissement des émissions de gaz à effet de serre dont le N_2O

1961-1965



2009-2013



Plan de l’exposé

1. Modélisation et scénarios : quelle épistémologie ?
2. Trajectoires agricoles en Europe depuis 1961
3. **Un scénario agro-écologique est-il possible à horizon 2050 ?**

3. Un scénario agro-écologique pour l'Europe en 2050 ?

L'Europe peut-elle se passer des engrais azotés de synthèse et des importations de soja?

3 leviers (scénarios):

*** modification du régime alimentaire humain**

*** généralisation des rotations culturales incluant des légumineuses**

*** reconnexion des cultures et de l'élevage**

3. Un scénario agro-écologique pour l'Europe en 2050 ?

L'Europe peut-elle se passer des engrais azotés de synthèse et des importations de soja?

3 leviers (scénarios):

* **modification du régime alimentaire humain**
* **généralisation des rotations culturales incluant des légumineuses**
* **reconnexion des cultures et de l'élevage**

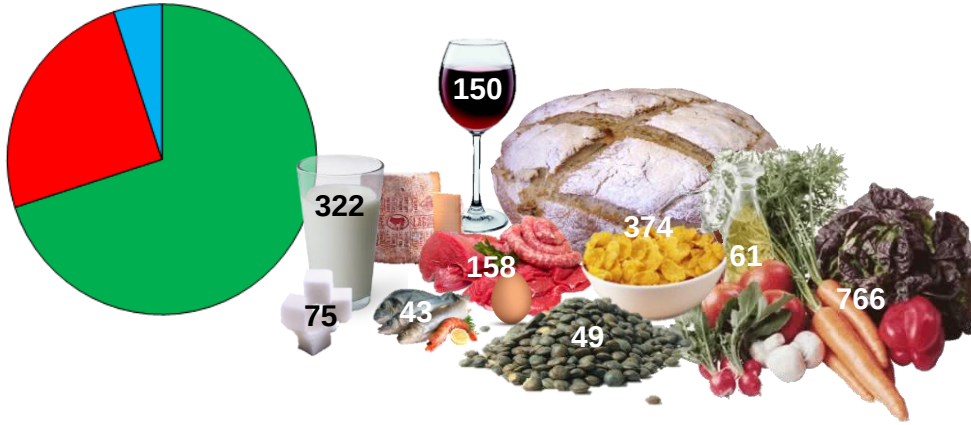
Implémentés dans le modèles GRAFS pour établir un diagnostic socio-écologique

3. La population humaine est celle prévue par les modèles démographiques de la FAO: 600 Minhab
Avec un régime alimentaire demitarien et équitable

2009-2014 → **2050**

5.7 kgN/cap/an
58% animal

5 kgN/cap/an
30% animal



Protéines végétales: céréales, légumineuses graines, féculents, fruits et légumes
Protéines animales: viande, lait, oeufs
Protéines animales: poisson et fruits de mer

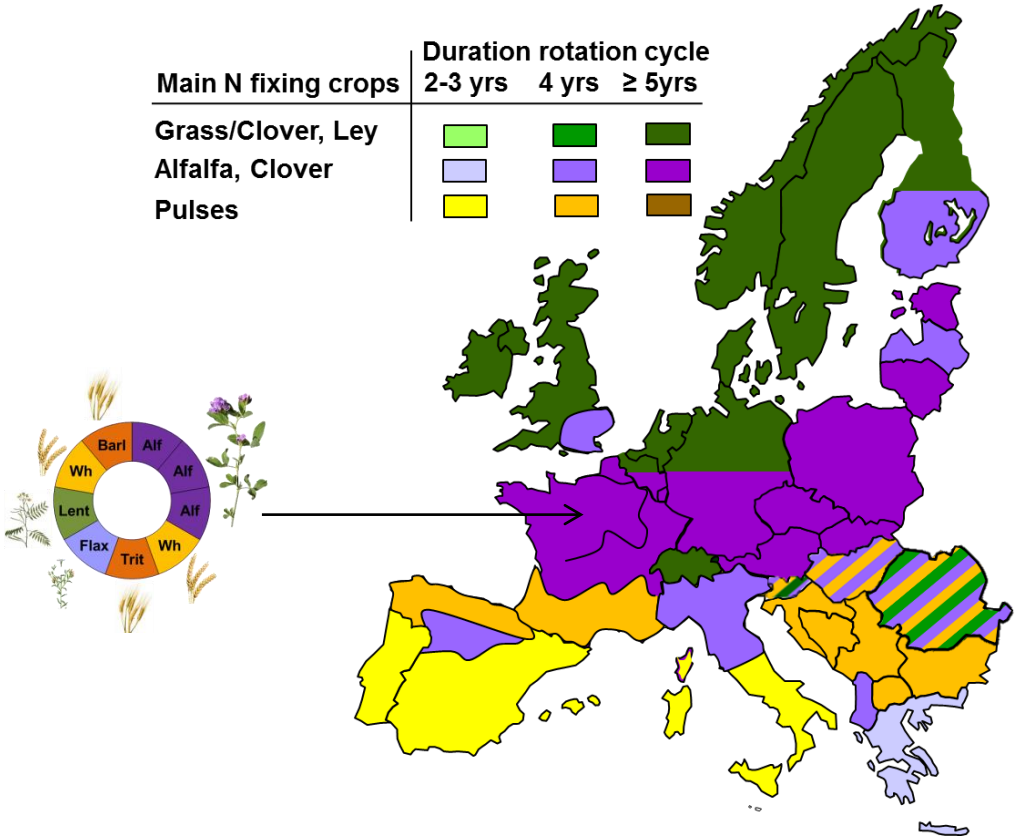
70% de recyclage des excrétats humains, par séparation à la source de l'urine

3. Généralisation de l'agriculture biologique: rotations longues et diversifiées laissant la place aux légumineuses

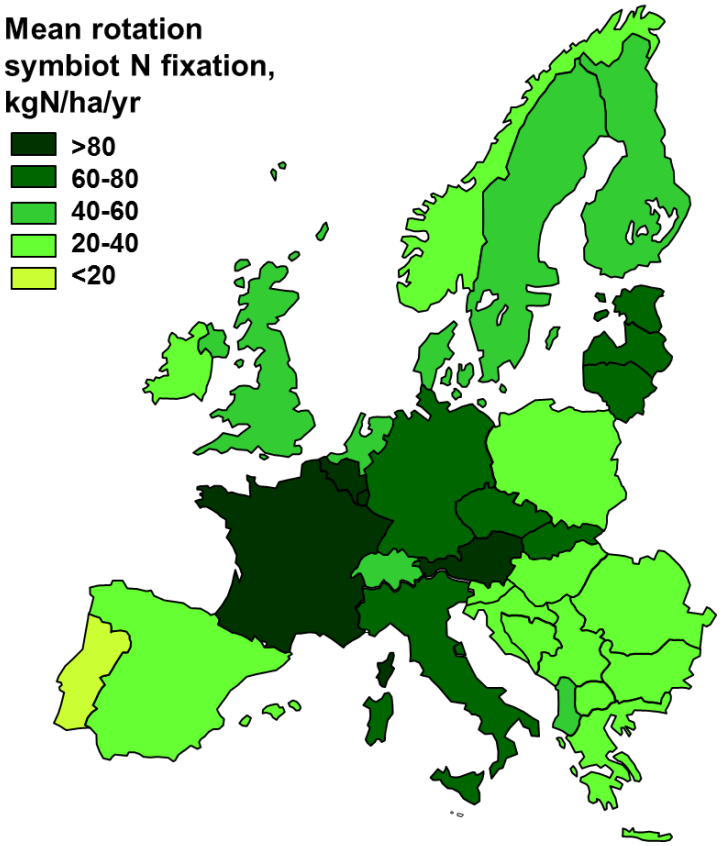
On garde inchangée la couverture des sols dans chaque pays européens

On généralise les pratiques agro-écologiques basées sur des rotations longues et diversifiées incluant des légumineuses fixatrices d'azote, qui permettent de se passer des apports d'engrais et de pesticides

Principales rotations utilisées en agriculture biologique

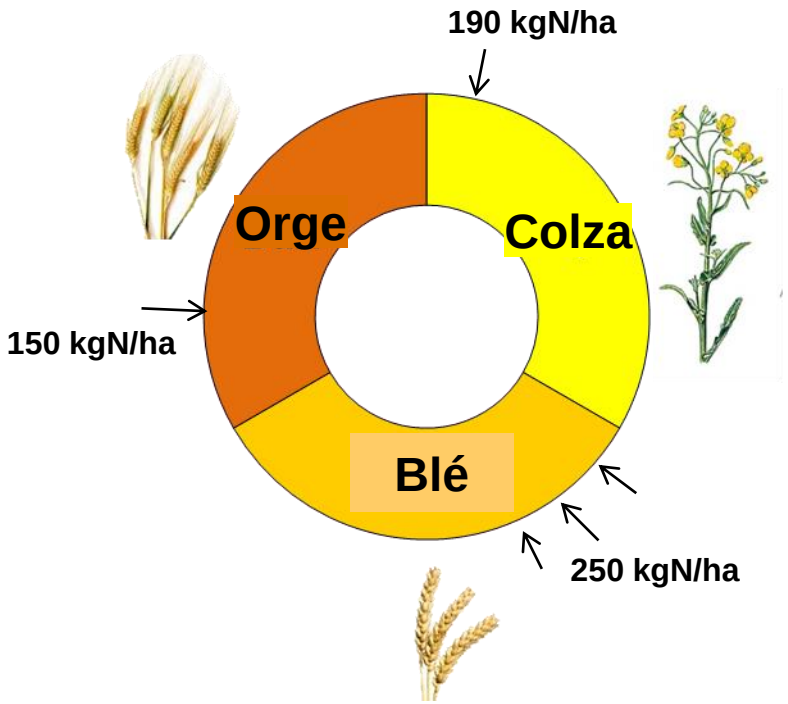


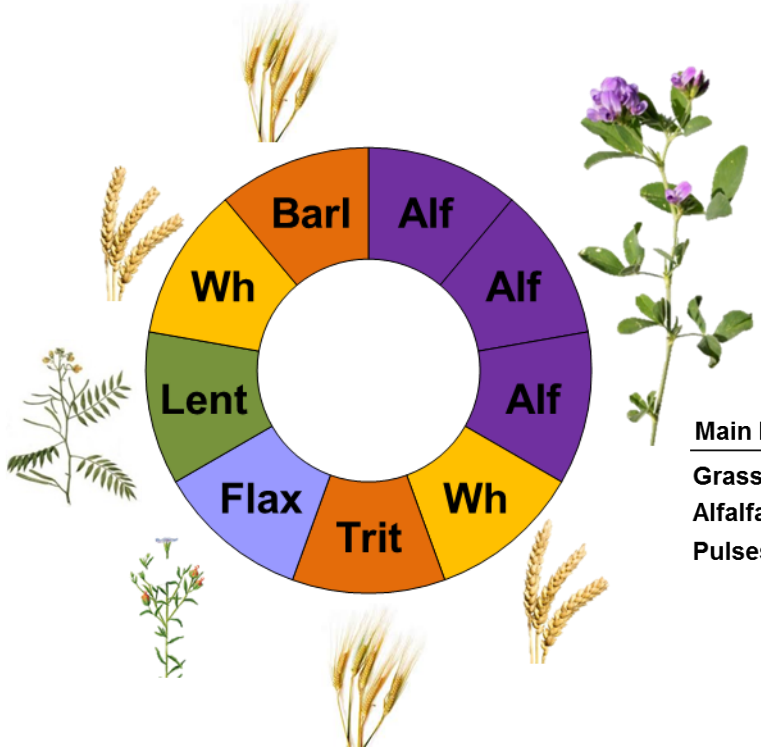
Potentiel de fixation symbiotique d'N_2 correspondant

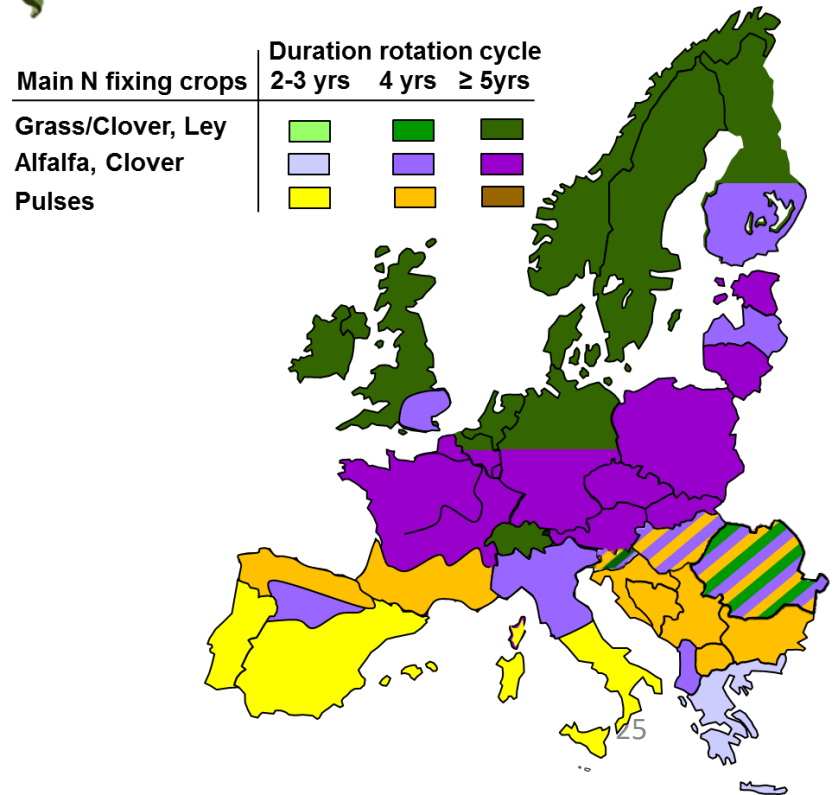


3. Généralisation de l'agriculture biologique: rotations longues et diversifiées laissant la place aux légumineuses

agro-chimique ⟶ **biologique**







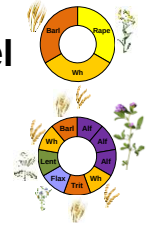
3. Pratiques agro-écologiques basées sur des rotations incluant des légumineuses (suite)

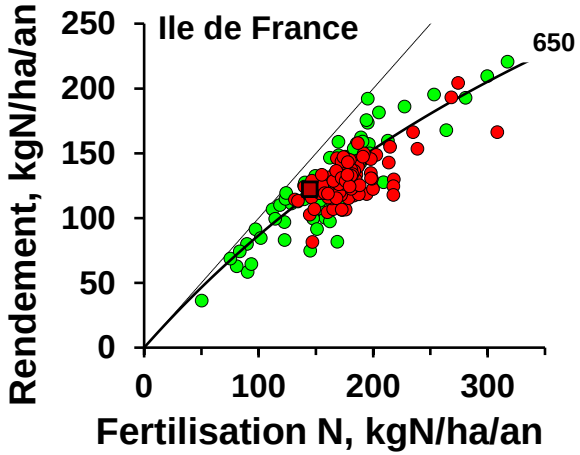
Dans un contexte pédo-climatique donné,
les rotations bio ou conventionnelles montrent la même relation entre rendement intégré et fertilisation.

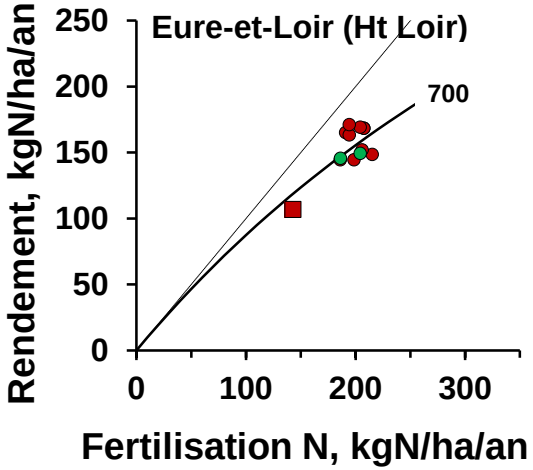
L'agriculture biologique n'est pas par essence moins productive!

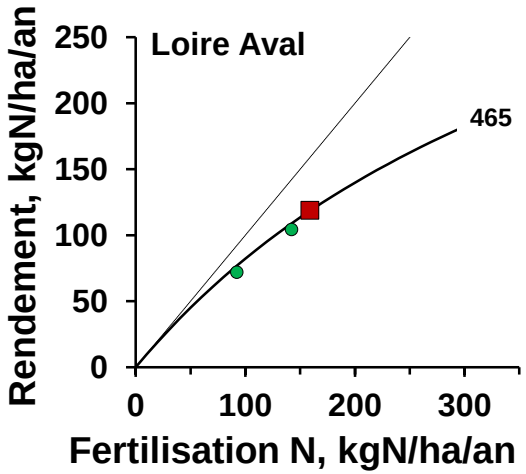
Rotations culturales:

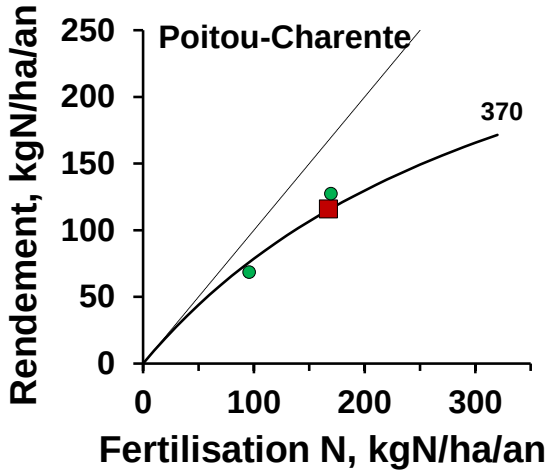
- Conventionnel
- Biologique

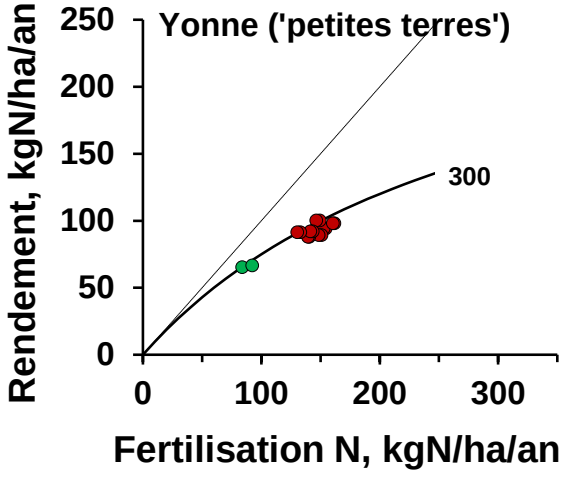




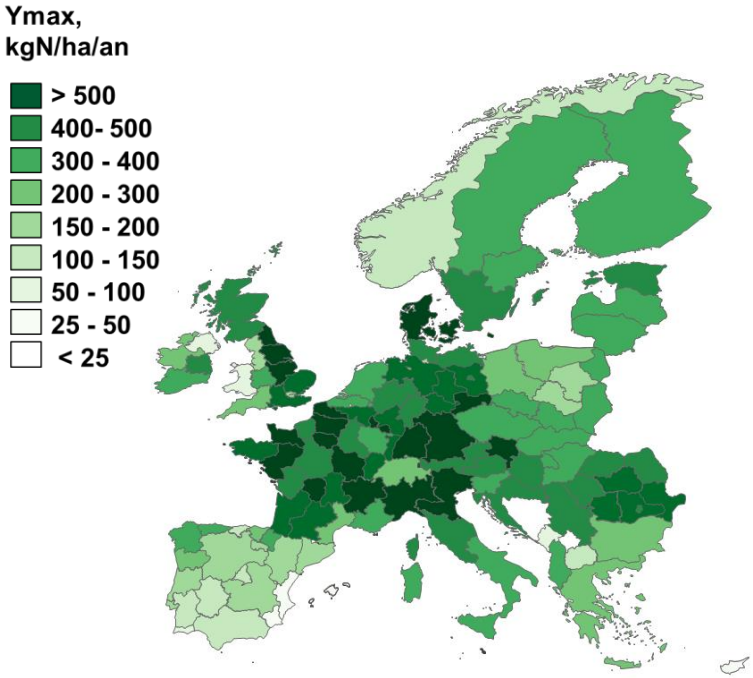








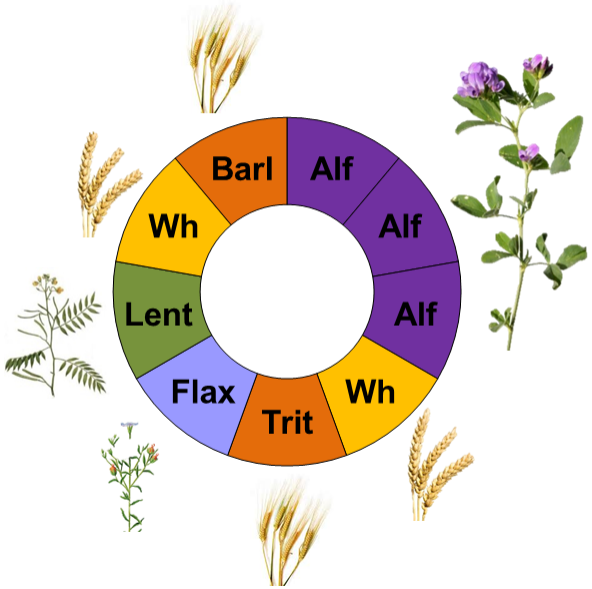
Distribution géographique des Ymax des terres arables



Billen et al (2022)

Billen, Le Noë & Garnier (2018) STOTEN

3. Reconnexion : La densité de bétail est limitée dans chaque région par les ressources locales d'herbe et de fourrage



La taille du cheptel est strictement limitée par les ressources locales en nourriture

- **Légumineuses fourragères et prairies temporaires incluses dans les rotations bio**
- **Prairies permanentes**

} **ruminants**

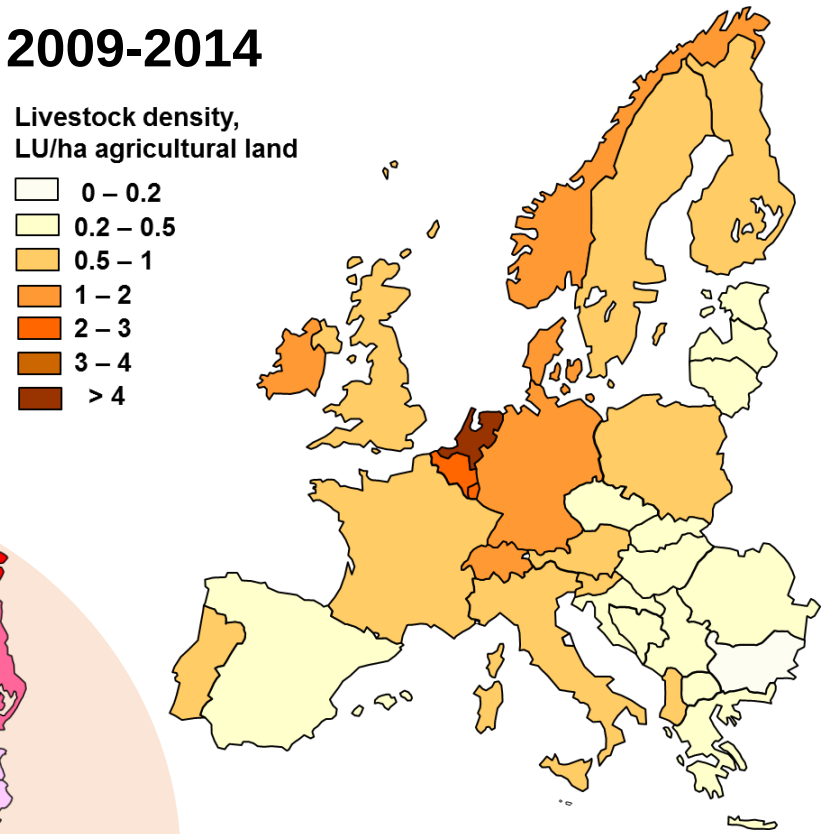
- **[Céréales en excès des besoins humains]**
- **Déchets alimentaires**

} **monogastriques**

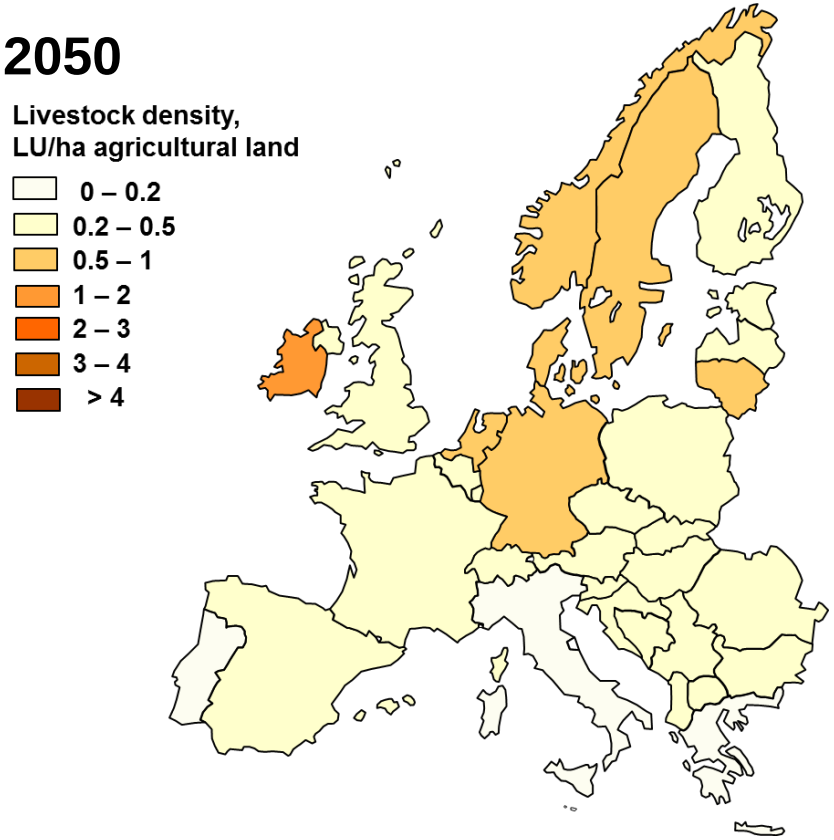
Pas d'importation de fourrage!

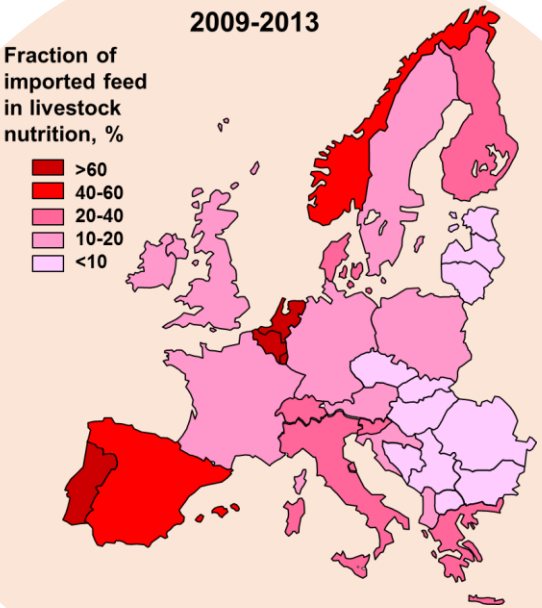
3. Reconnexion : La densité de bétail est limitée dans chaque région par les ressources locales d'herbe et de fourrage

2009-2014



2050





Importation massive de fourrage

Pas d'importation de fourrage

3. Scénario Agro-Ecologique pour l'Europe 2050

10 MtonN/an

1 MtonN/an

MtonN/an

Plus de dépendance aux engrais N de synthèse

dépôt atmosph.

Fixation symbiotique

Autonomie pour l'alimentation du bétail

Autonomie (et capacité d'export) pour l'alimentation humaine

Net export animal & végétal

Régime alimentaire
vegetal
animal
sea food
5 kgN/cap/anr

ruminants : 80%
monogastriques: 20%

0.9
4.9
2.2
1.7
5.1
8.4
4.5
1.5
1.1
0.4
pertes
fumier
6.9
NH_3
0.6
pertes
A l'étable
NH_3
0.4
À l'application
3.4
5.6
1.8
7.2
récolte
0.44
0.61
0.1
fish
animal
0.7
vegetal
1.9
1.1
0.8
0.5
0.6
pertes
2.7
pertes

Prairies perm.
64 Mha

livestock
81 Mlu

Terres arables
(et cult perm)
121 Mha

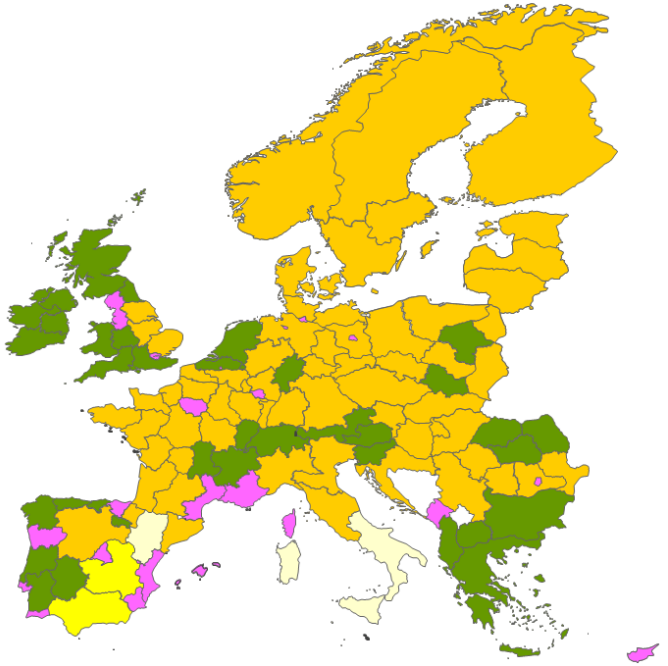
Population
Consommation alimentaire
538 Mhab

Céréales :	2.5
Legumineuses graines:	0.9
Fruits et légumes:	0.17
Plantes fourragères :	2.1
autres:	1.6

3. Europe, agro-écologique 2050

Retour à une *nouvelle forme de polyculture-élevage*…

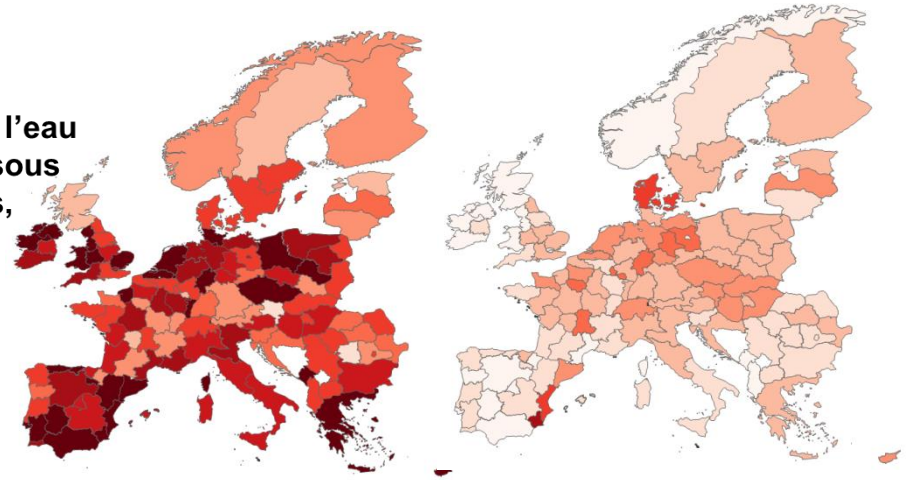
- Grandes cultures sans élevage
- Elevage intensif spécialisé
- Polyculture-élevage herbagère
- Polyculture-élevage fourragère
- Grandes cultures et élevage déconnectés
- Urbain dominant



…avec une réduction sensible des pertes environnementales

Nitrates dans l'eau d'infiltration sous terres arables, mgN/L

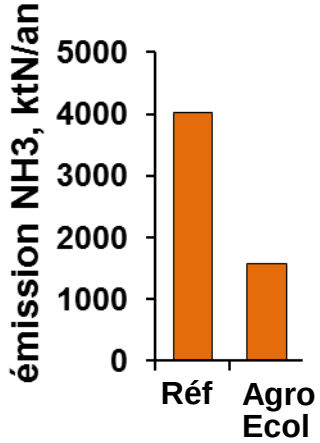
- > 25
- 20 - 25
- 15 - 20
- 10 - 15
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 2 - 4
- < 2



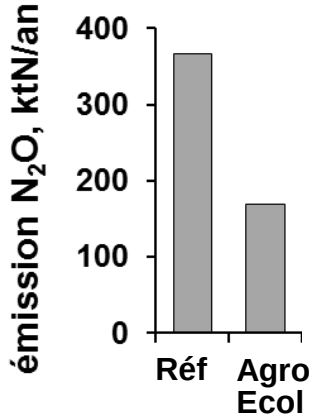
Référence actuelle

Scénario Agro-Ecol

Émission d'NH_3

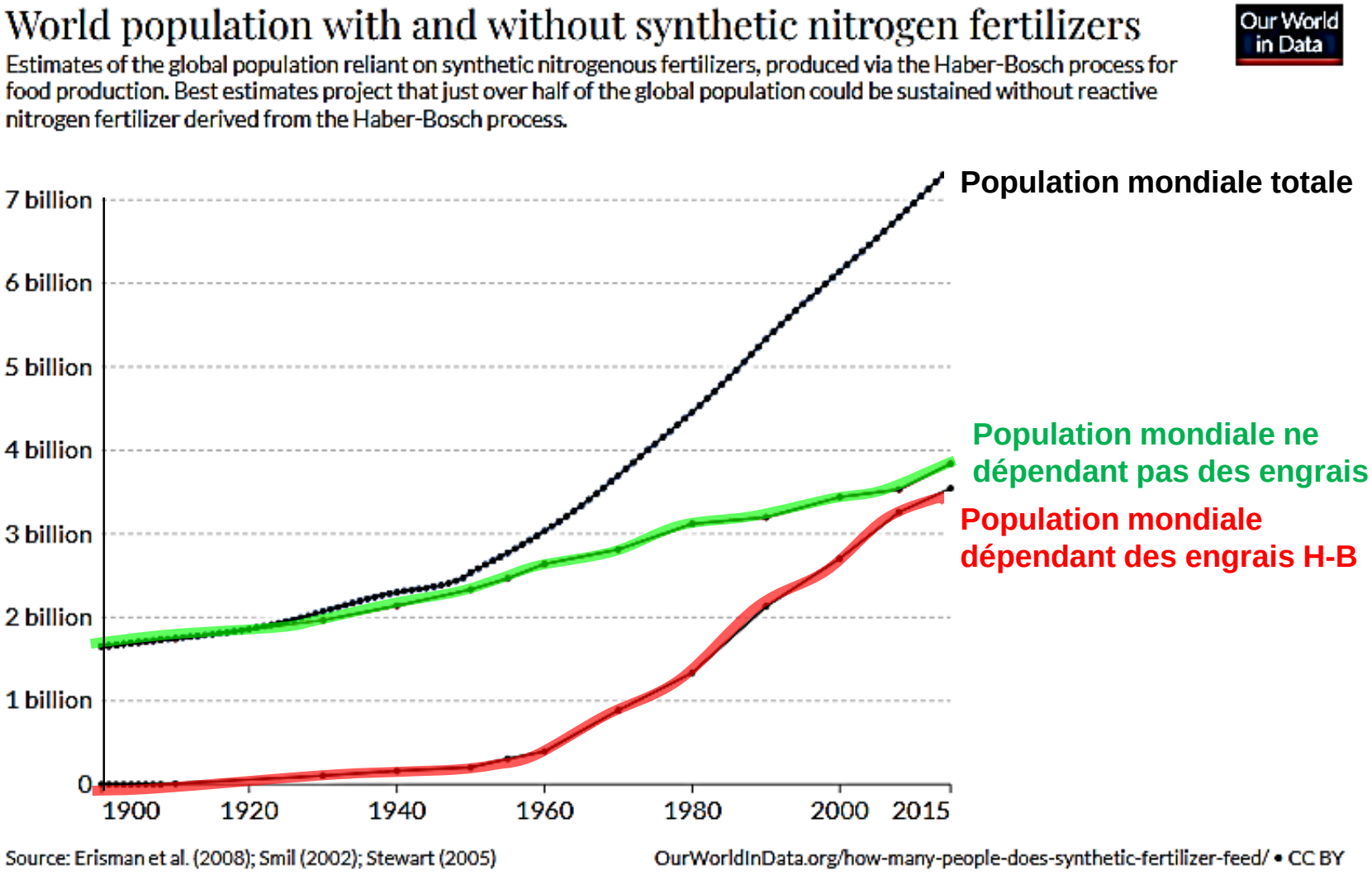


Émission de N_2O



Conclusion : Fritz Haber & Carl Bosch, sauveurs de l'humanité?

Combien de personnes dans le monde sont nourris grâce à l'azote Haber Bosch?



Carl Bosch

Fritz Haber

« en 2015 les engrais de synthèse nourrissent 3.5 milliards de personnes qui autrement seraient mortes » (*https://ourworldindata.org/fertilizers*)

Vraiment ?!