

10 ans
OCAPI



Rebattre les cartes du système agro-alimentaire mondial

Un jeu sérieux pour comprendre les enjeux géopolitiques et biogéochimiques de l'alimentation

Gilles BILLEN, Josette GARNIER, CNRS, Sorbonne-Université



Quelques notions préalables...

1. Nous allons (encore!) parler d'azote: pourquoi ?
2. Les règles du jeu des systèmes agro-alimentaires

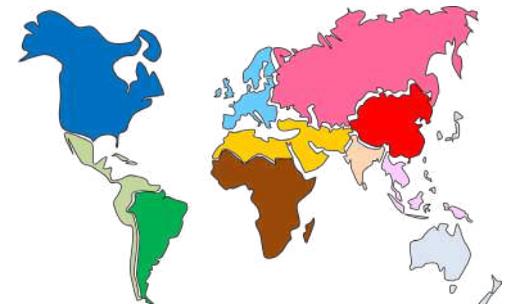
Deux phases du jeu de plateau:

1. Reconstituer le fonctionnement actuel du système agro-alimentaire mondial

Chaque groupe pour l'une des 12 régions du monde qui lui a été attribuée
Bilan et debrief collectif

2. Imaginer un fonctionnement alternatif: rebattre les cartes

Concertation pour se fixer un objectif collectif solidaire:
Nourrir le Monde sans pourrir la Planète ?
Bilan et debrief collectif



3 raisons de parler d'Azote

parce que l'azote est au cœur du fonctionnement des systèmes agro-alimentaires

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 des systèmes agricoles**



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



Eutrophisation



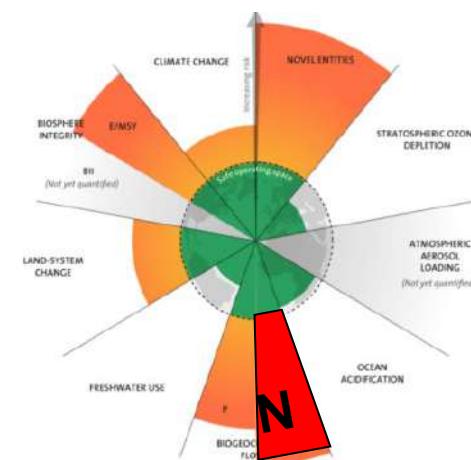
Contamination de l'eau potable



Pollution atmosphérique



Emission de N₂O



Planetary limits:
Steffen et al. 2015; Persson et al. 2022

Le paradoxe de l'azote

La forme la plus abondante d'N sur terre est inaccessible pour la plupart des organismes



Le supplice de Tantale

Les formes réactives de l'N sont très mobiles (gazeuses ou solubles) et retournent à la forme inerte N₂



Azote atmosphérique
inerte (N₂)

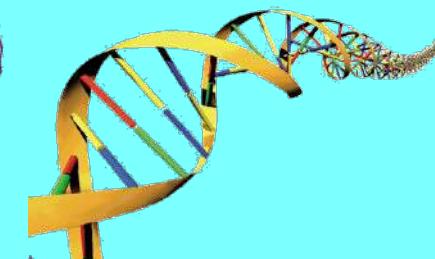
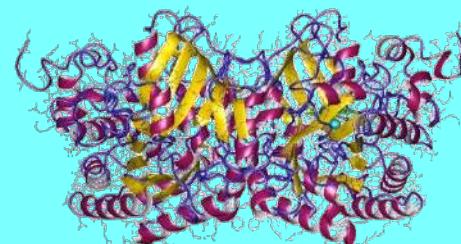
80% de l'atmosphère



Formes réactives de l'azote:

NH₃, NH₄, NO₂⁻, NO₃⁻, N₂O, NO₂...

N organique N: protéines, acide nucléiques



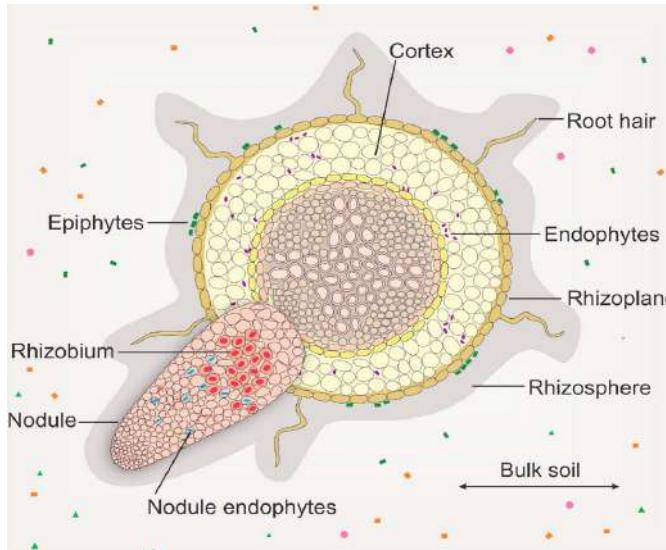
Deux processus pour la fixation de l' N₂ atmosphérique



(1) Fixation symbiotique

N₂ + sucre → protéines

Azotobacter
Rhizobium en symbiose avec les légumineuses



Légumineuses graines
Lentilles, pois, haricots, soja,...



Légumineuses Fourrage
Trèfle, luzerne,...

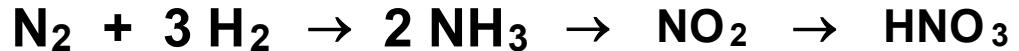




Deux processus pour la fixation de l' N_2 atmosphérique

(2) Les engrais de synthèse industriels

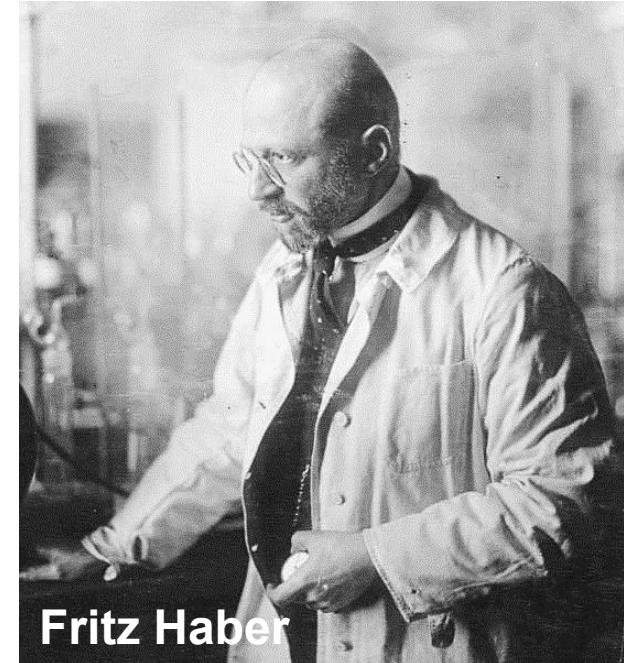
Le procédé Haber- Bosch (1909)



Haute température
Haute pression
Catalyseurs appropriés



Carl Bosch

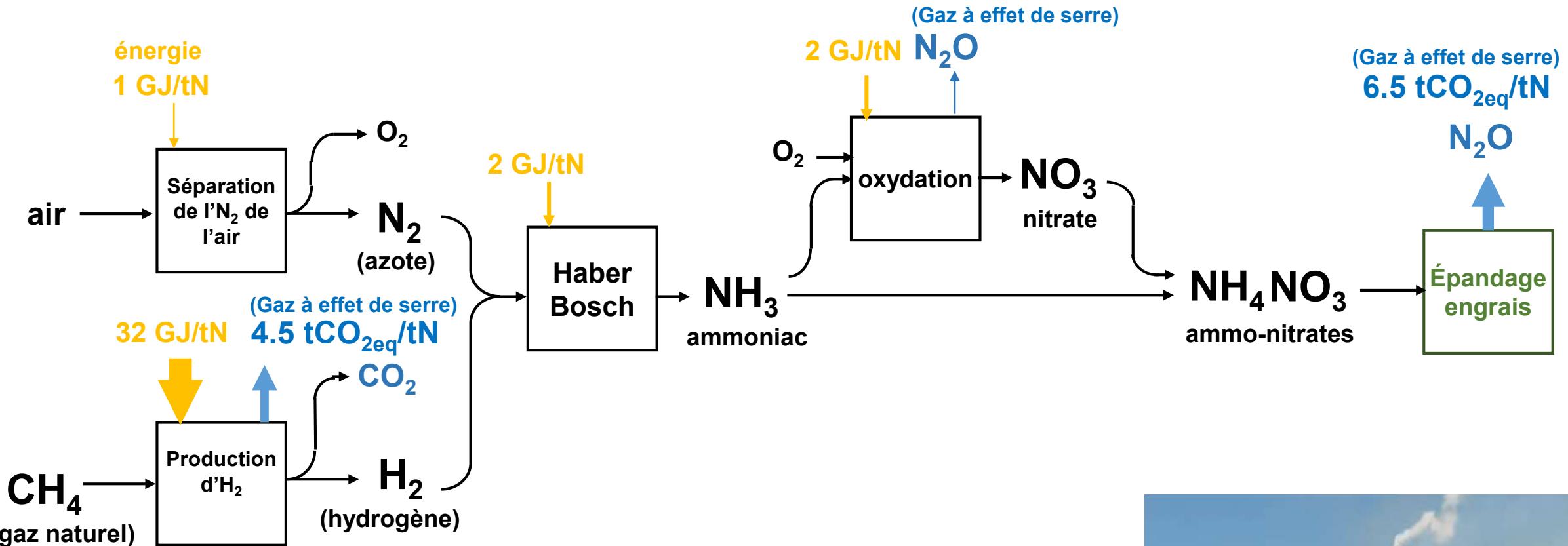


Fritz Haber

D'abord pour la production d'explosifs,
Ensuite pour la production d'engrais



Comment sont produits les engrais azotés?



Procédé Haber-Bosch classique

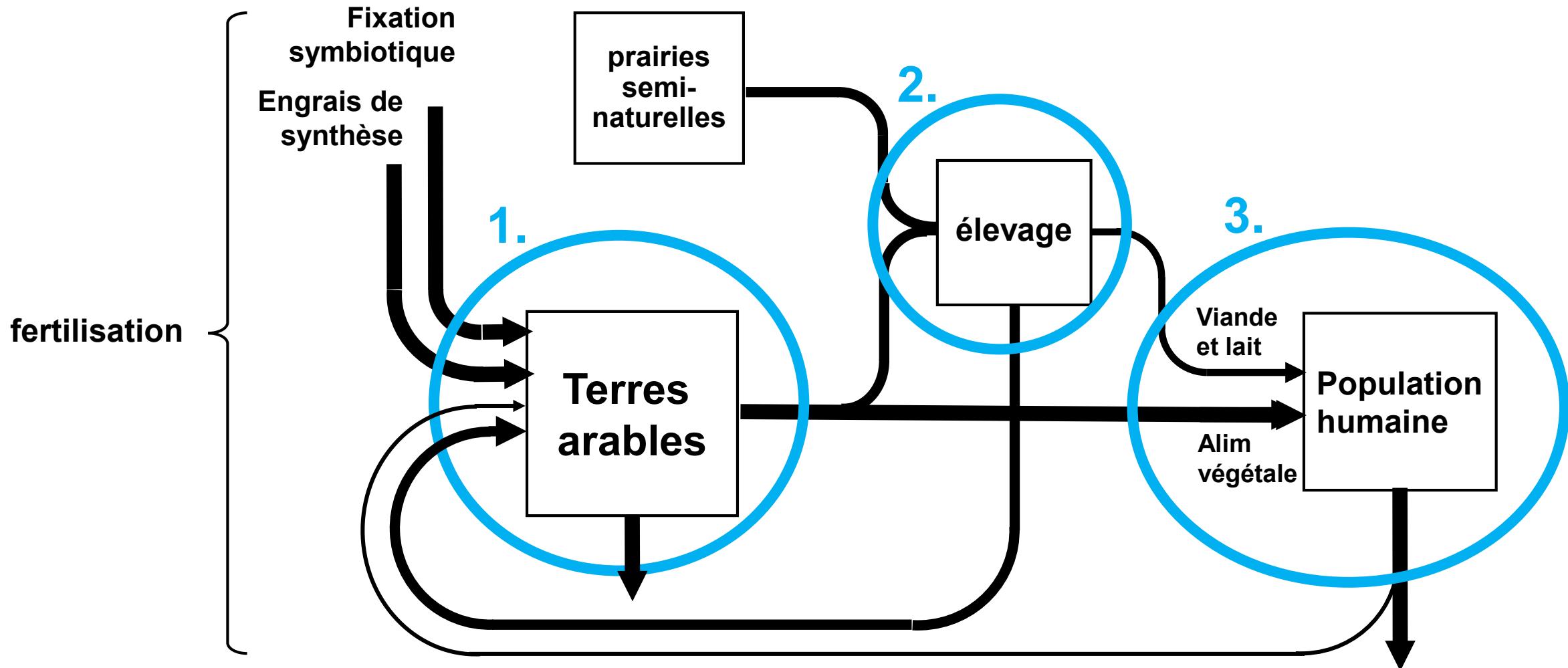
Total 36 GJ/tN = 0.85 tep/tN



Yara,
usine d'engrais de Montoir-de-Bretagne

Les règles du jeu des systèmes agro-alimentaires

GRAFS: Une vision des flux d'azote des cultures à l'assiette



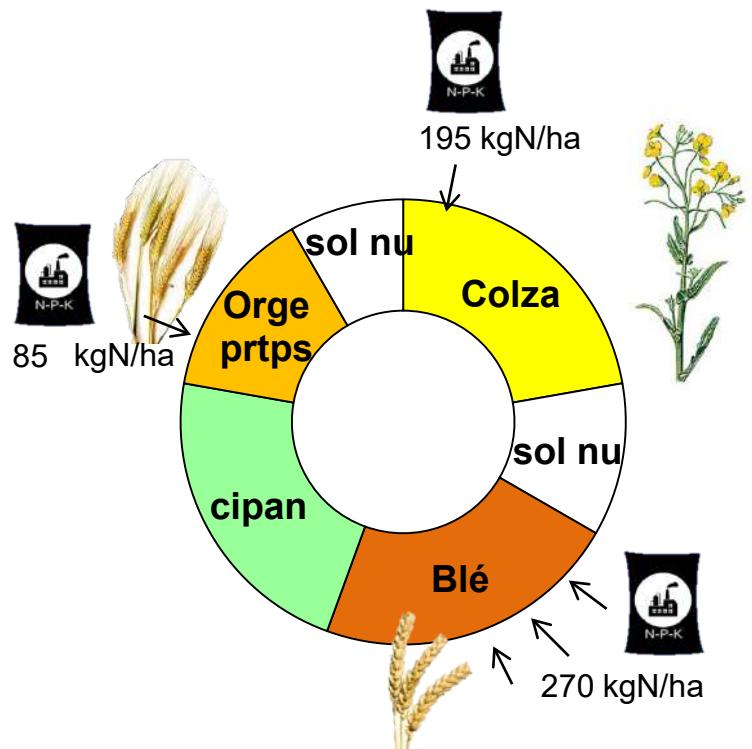
1. La relation rendement-fertilisation

Rotations culturales et itinéraires techniques

Exemple 1:

Colza-Blé-Orge en agriculture conventionnelle

- Apports d'engrais de synthèse
- Traitement pesticides: herbicides, insecticides, fongicides



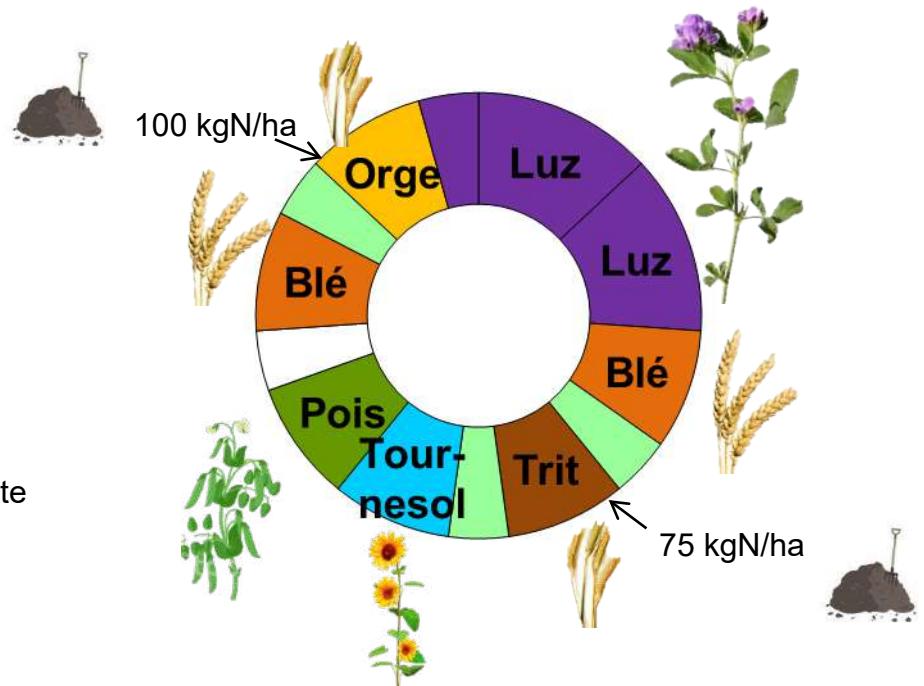
Cipan:
culture intermédiaire piège à azote

Exemple 2:

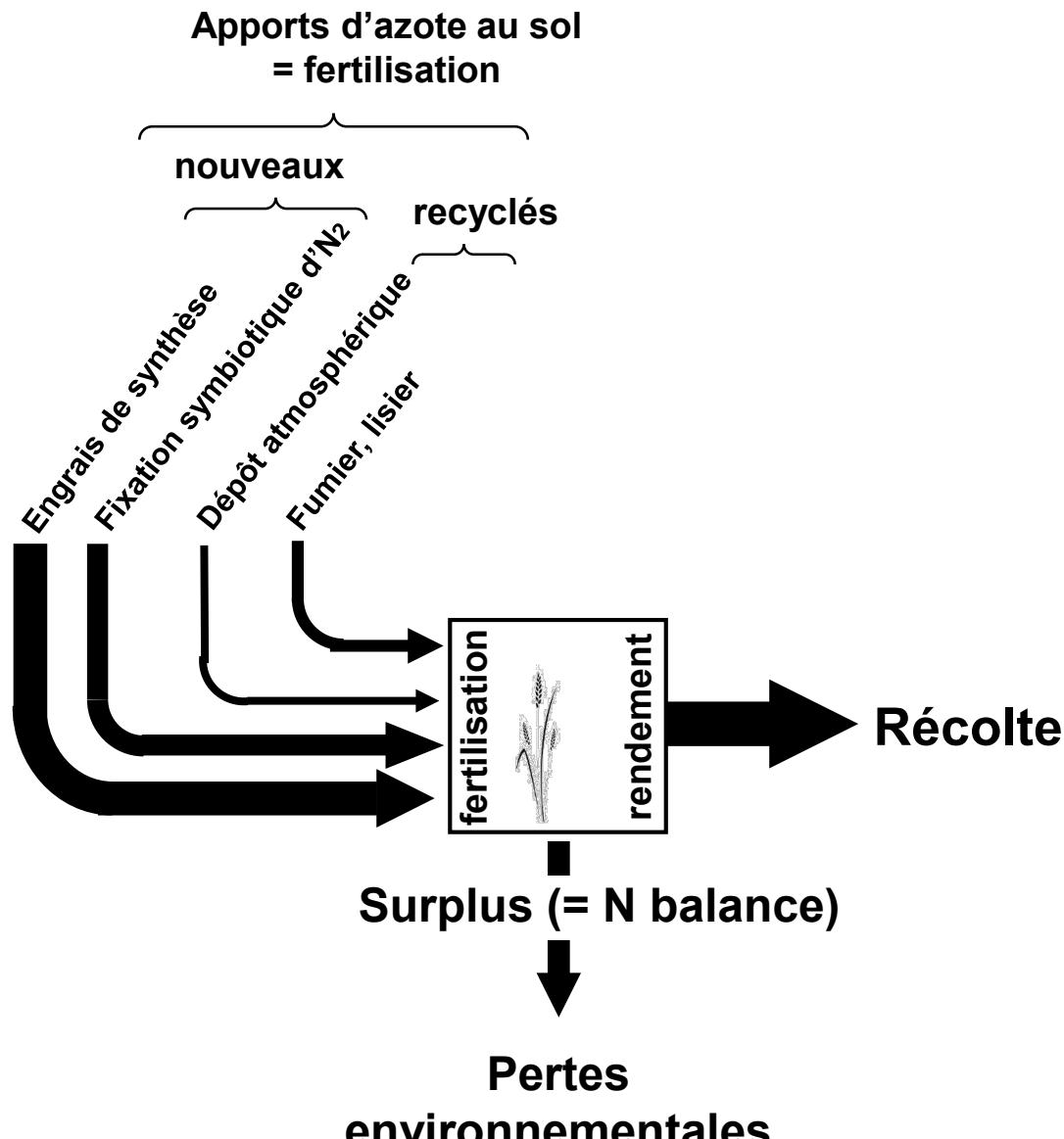
Rotation longue et diversifiée en AB



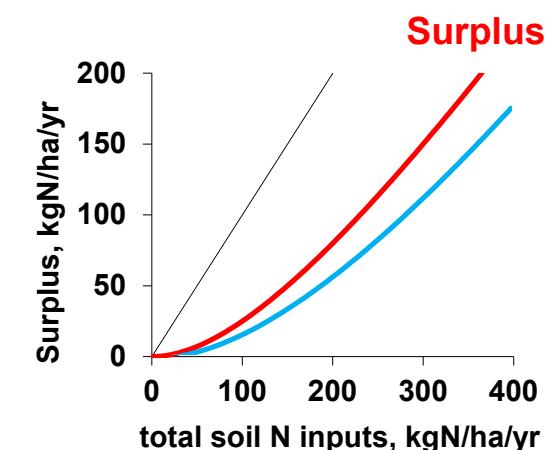
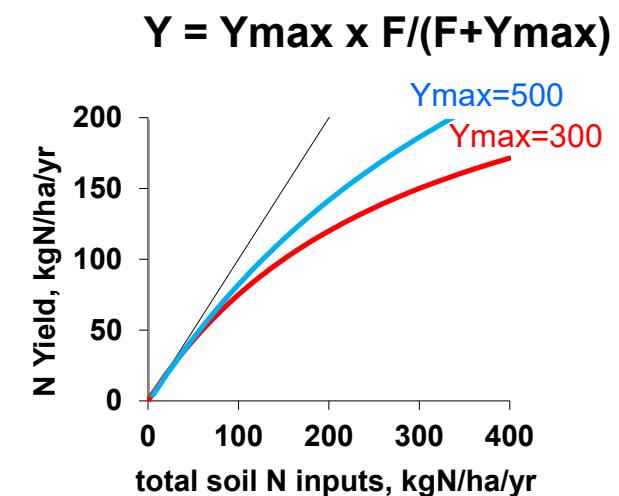
- Pas d'engrais de synthèse
- Possible fumure organique
- Pas de traitement pesticides



La relation rendement vs. fertilisation à l'échelle de la rotation culturelle



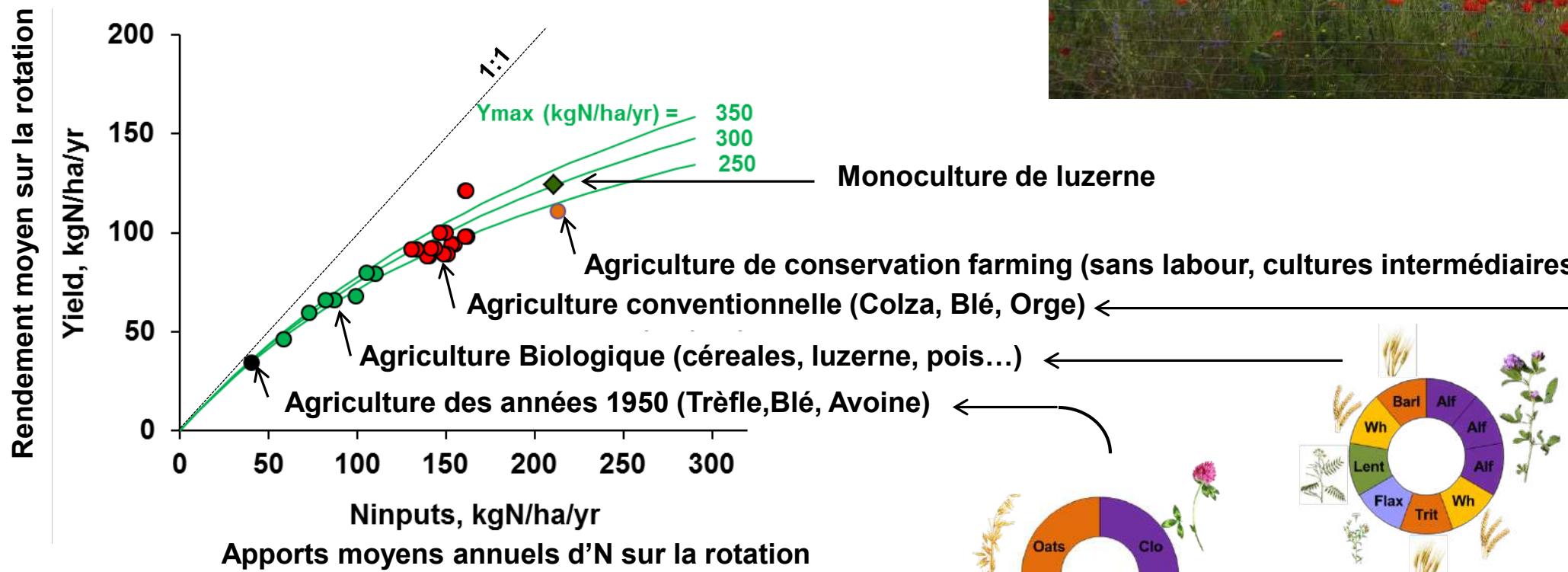
Relation rendement vs. fertilisation (intégrée sur l'ensemble du cycle de rotation)



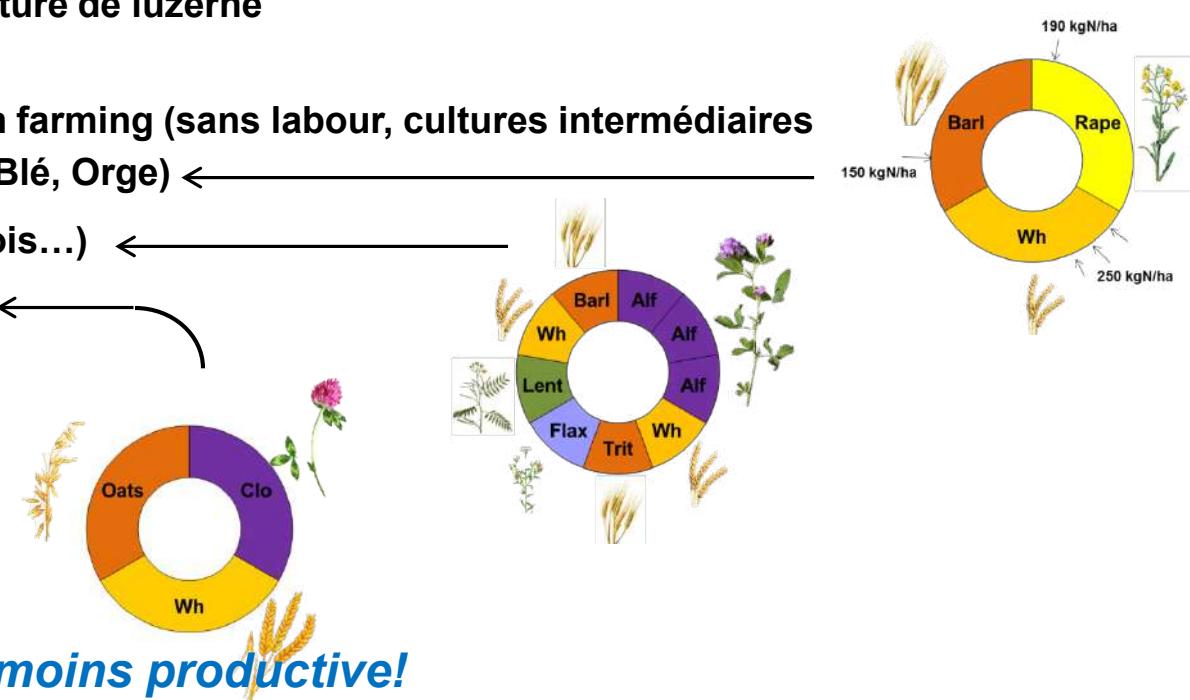
Relation rendement vs. fertilisation et substituabilité des sources d'azote au sol

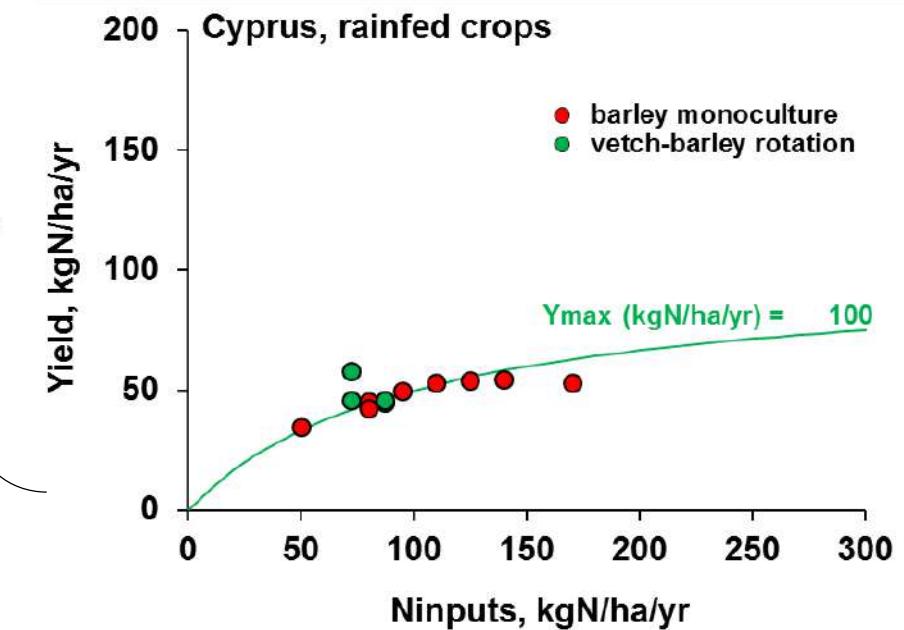
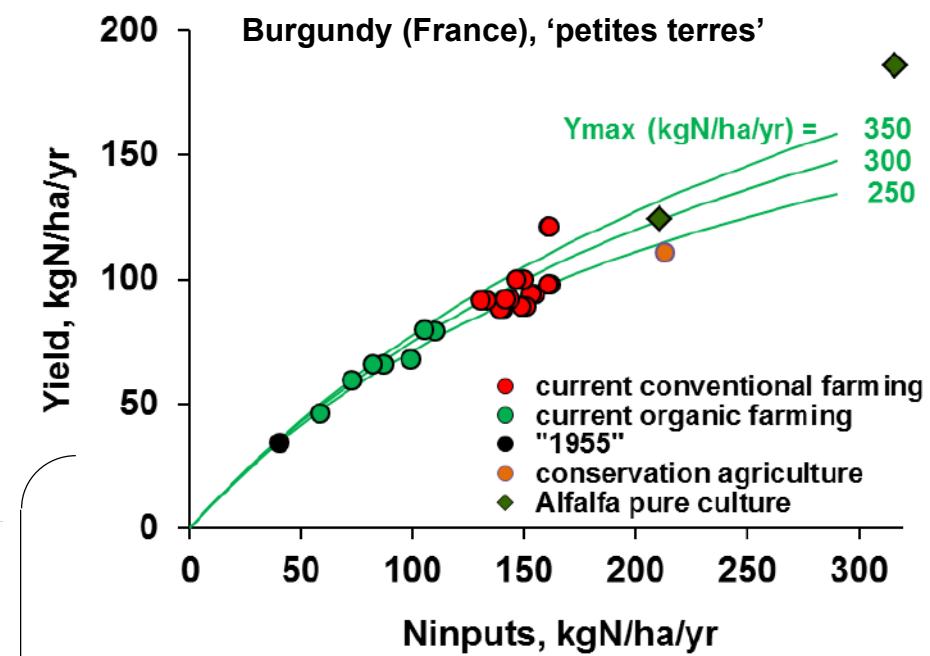
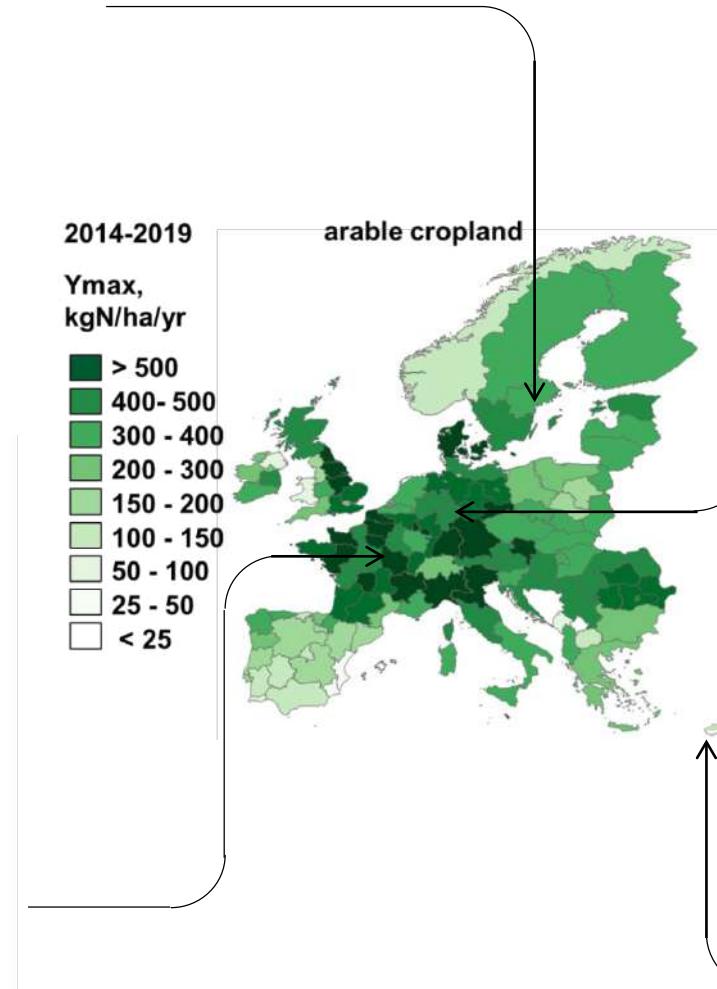
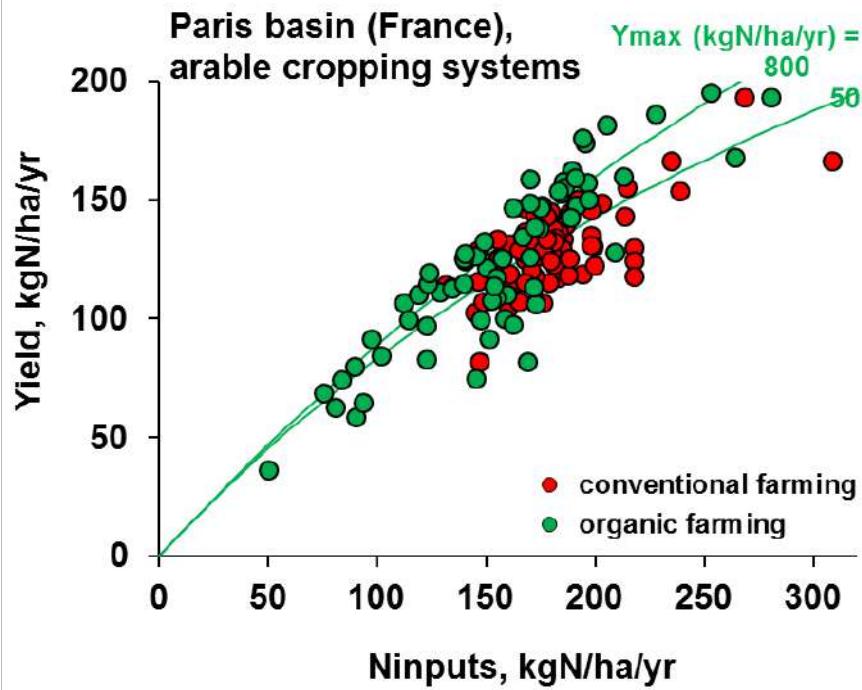
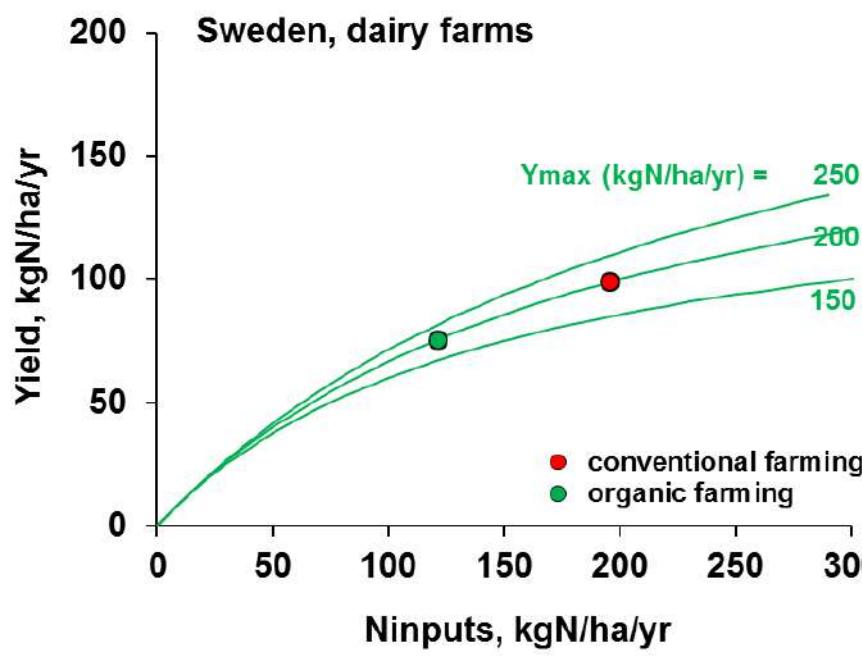
L'exemple des «petites terres» des plateaux bourguignons

Anglade et al. (2015, 2017)

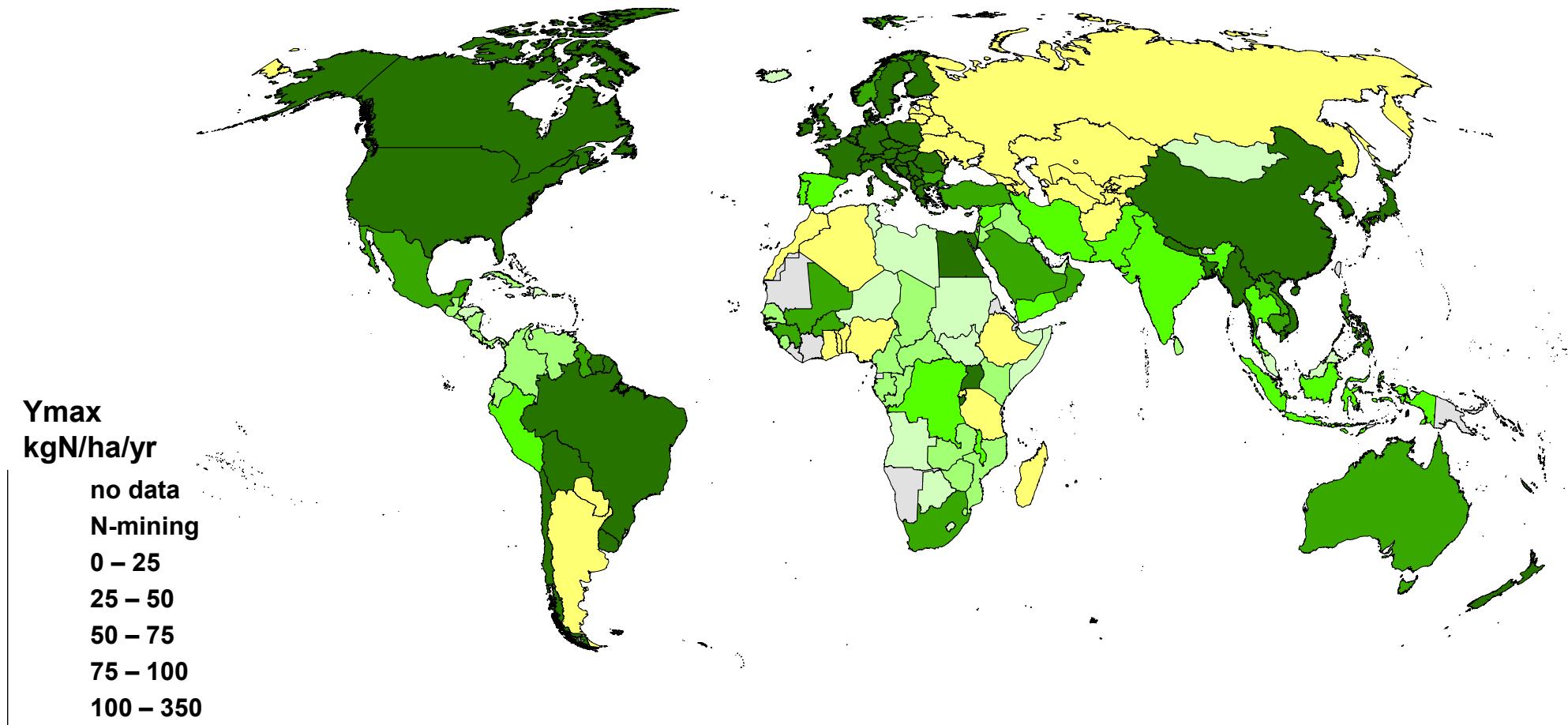


L'Agriculture Biologique n'est pas intrinsèquement moins productive!





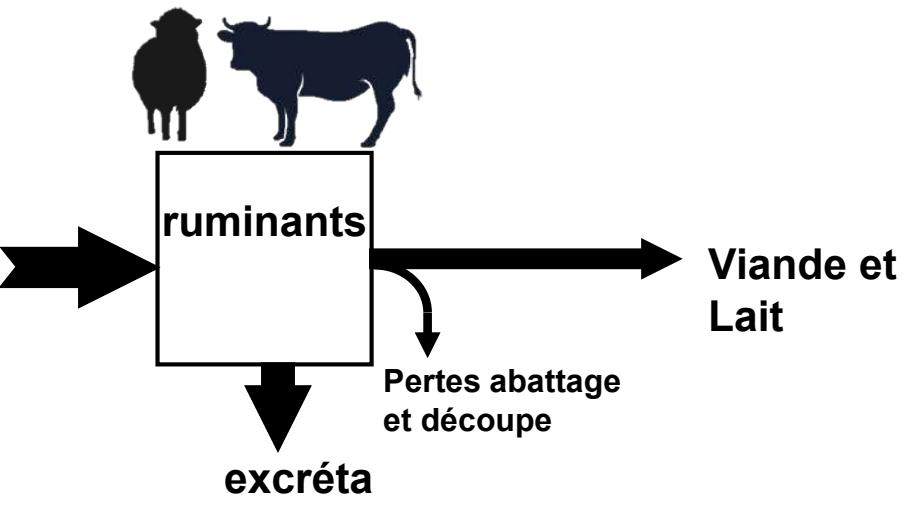
Échelle mondiale : distribution des valeurs d'Y_{max}



2. L'élevage: monogastriques vs. ruminants

- Pas de concurrence avec l'alimentation humaine

- Herbe des prairies semi-naturelles
- Légumineuses fourragères
- Céréales



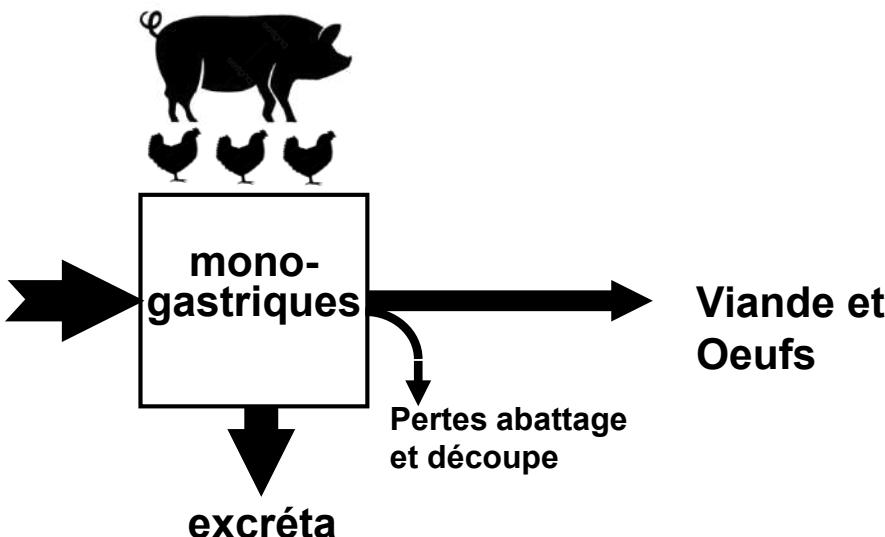
Rendement de conversion

= prod. comestible / ingestion totale
(en N)

5 - 20%

- Concurrence avec l'alimentation humaine

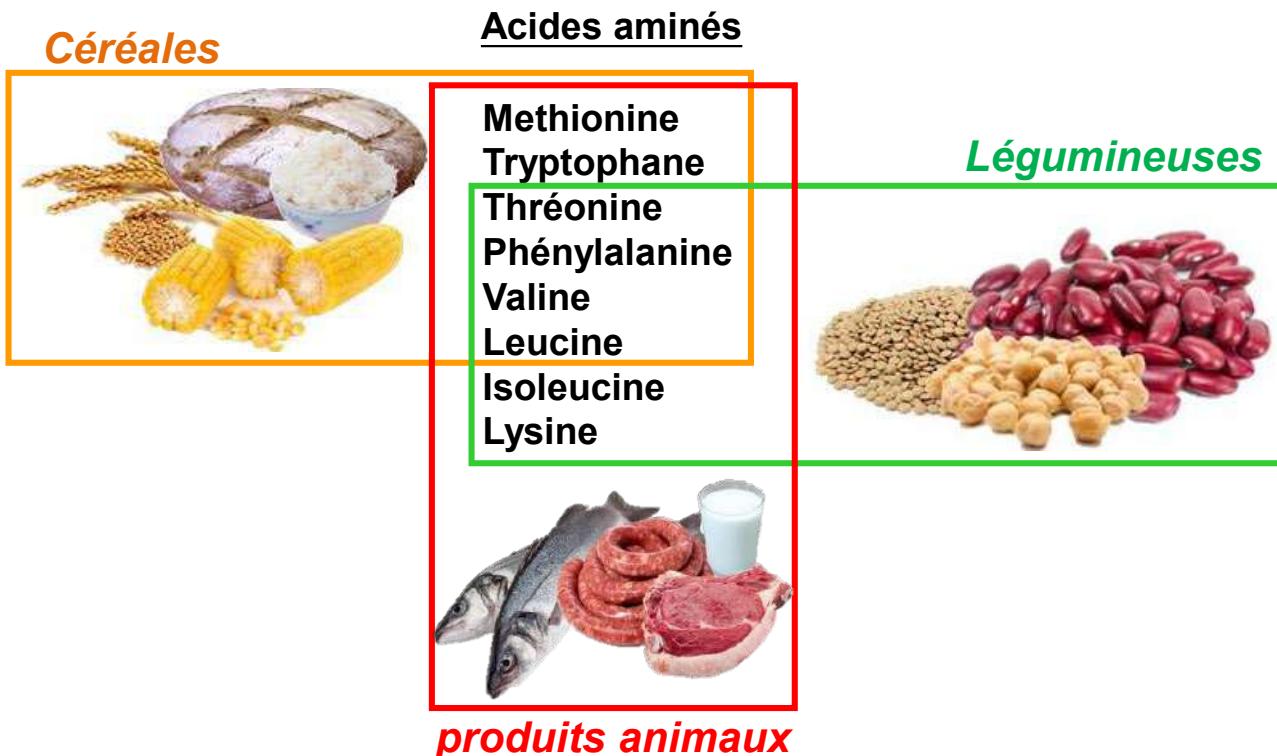
- Céréales
- Déchets et sous-produits



15 - 30 %

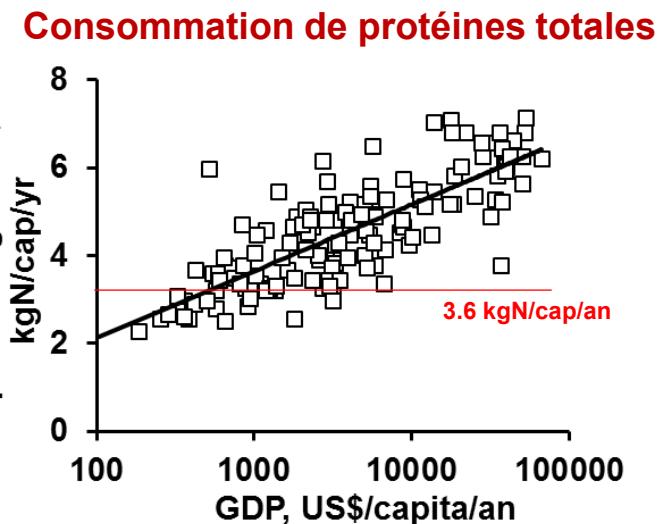
3. Le régime alimentaire humain

- Minimum vital : 2000-3000 kcal / pers. jour
contenant **60 g protéines / pers.jour** (=10 gN/ pers.jour = 3.6 kgN/pers.an)
= 200 kg equiv. céréales / pers. an

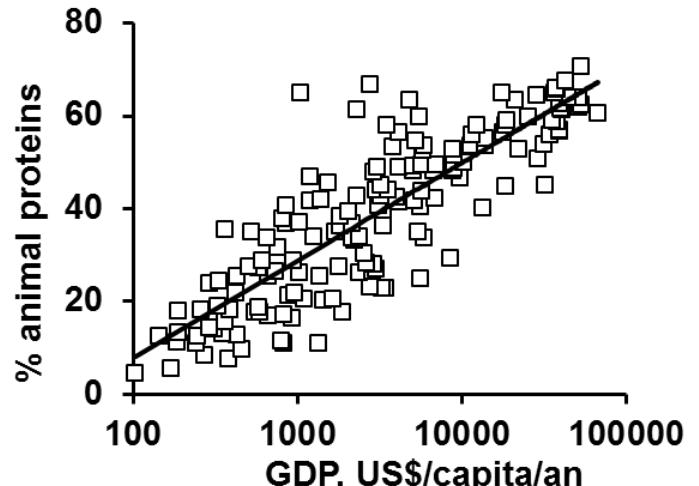


- L'alimentation traditionnelle de base associe :
 - Céréales et légumineuses
 - Céréales et produits animaux
 - Légumineuses et produits animaux

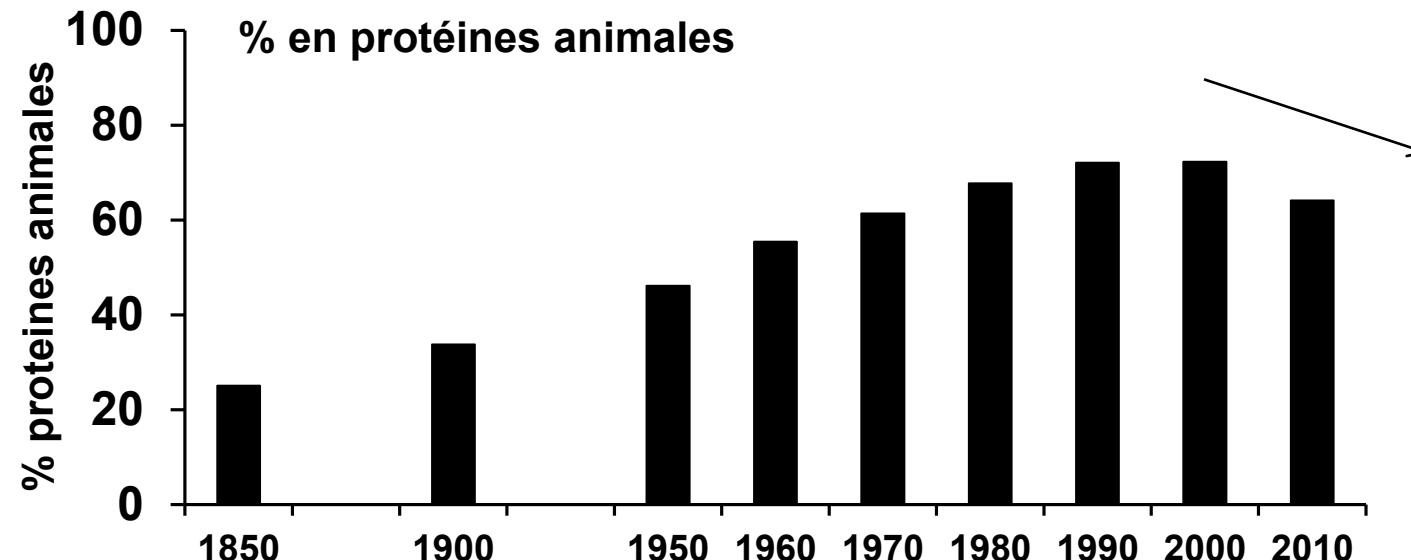
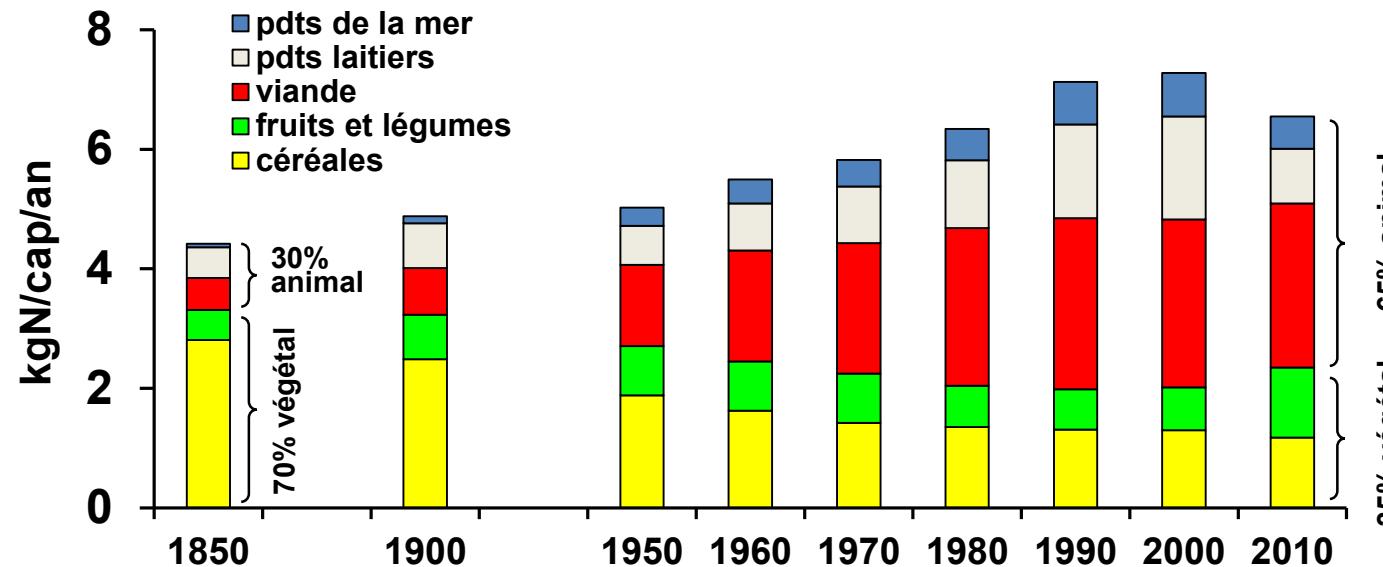
- Consommation effective



% en protéines animales

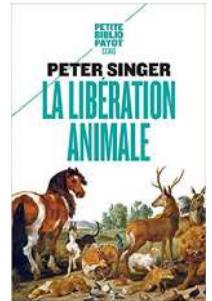


L'assiette française depuis deux siècles...



Net recul de la consommation de viande ?

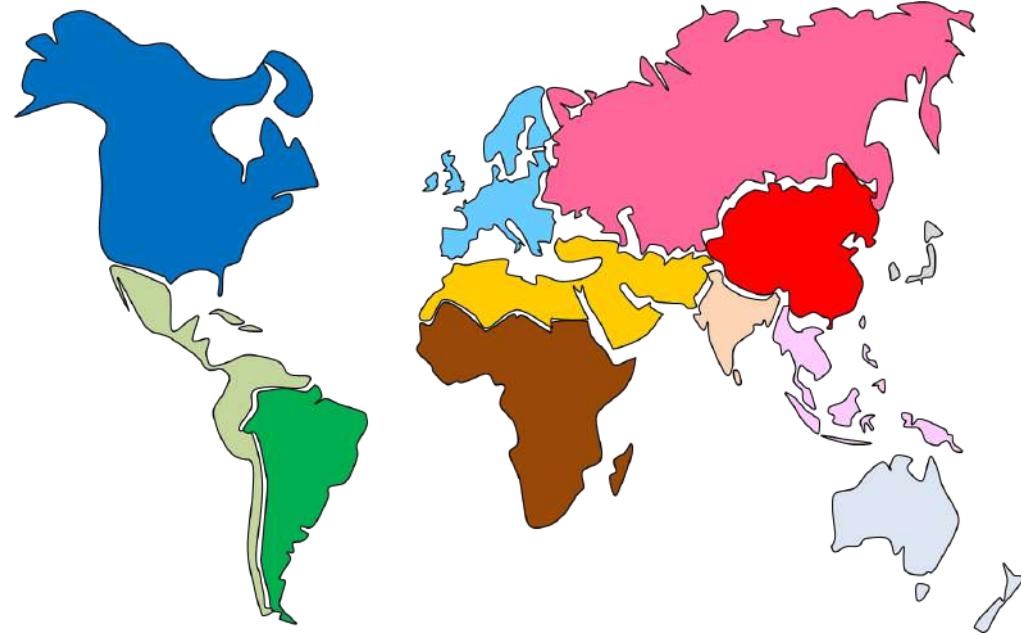
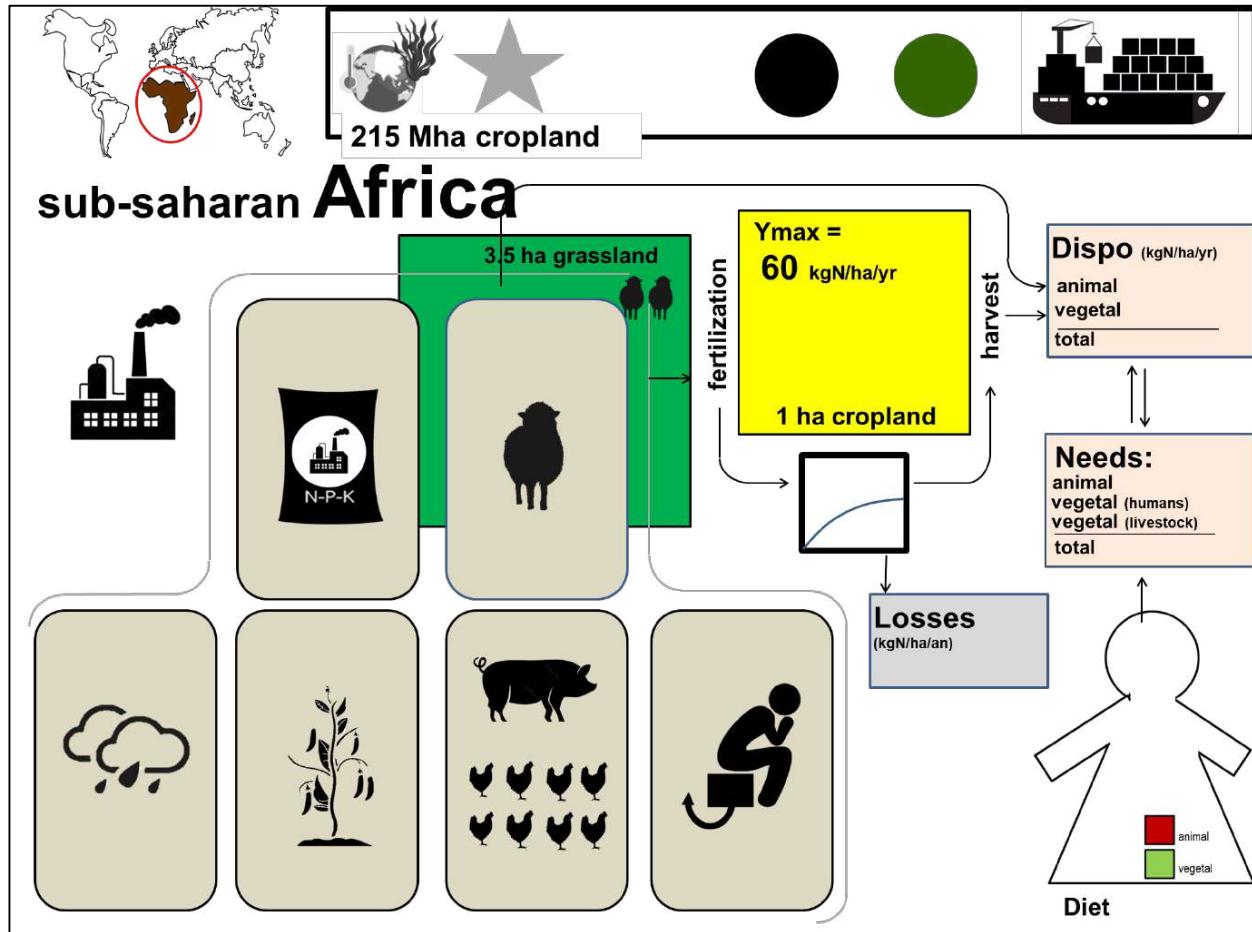
- *des raisons de santé
- *des raisons éthiques



*des raisons environnementales

Place au Jeu !

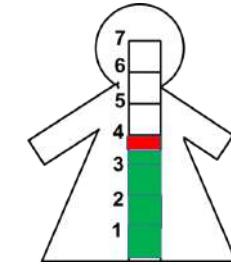
12 Macro-Régions



Le Plan de jeu:



**1 ha
de terres arables**



Bétail nourri à l'herbe
(offrant nourriture et fertilisation)

Surfaces de prairies semi-naturelles (par ha de terres arables)

Terres Arables
Ymax



Population
(nb pers/ha)

Régime alimentaire
(kgN/pers/an)

- █ Protéines animales
- █ Protéines végétales



Bétail nourri au grain
(offrant nourriture et fertilisation)

ressources de fertilisation:



Fixation symbiotique
Légumineuses

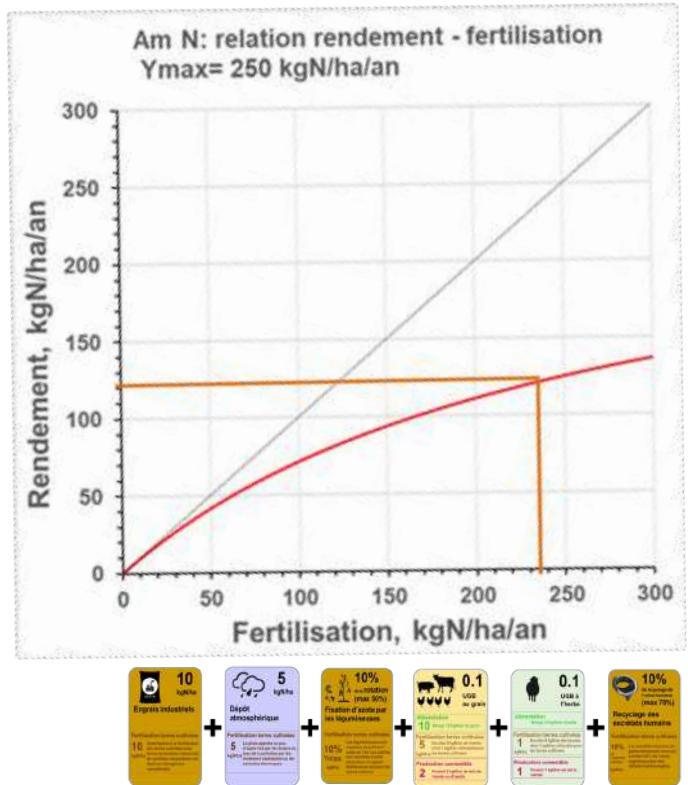
Engrais de synthèse

Dépot atmosphérique

Recyclage de l'urine humaine

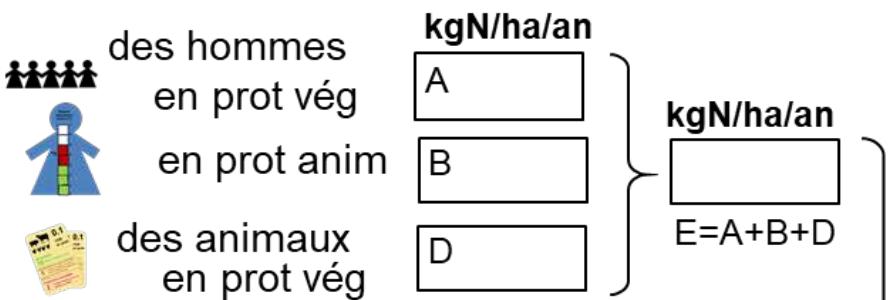
Bilan d'approvisionnement par ha de cultures:

2016 Région.....



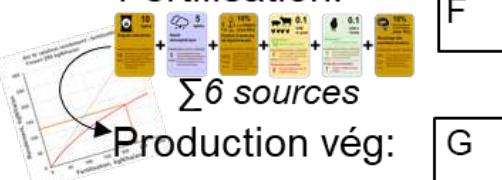
Bilan par ha de terres arables

▪ Besoins:



▪ Disponibilités:

Fertilisation



Prod anim herbe

Prod anim grain

kgN/ha/an

S, Surf totale terres arables

M ha/1000 =

Bilan en MtonN/an

= kgN/ha/an x Md ha

Déficit(+) ou Excédent(-) alimentaire:



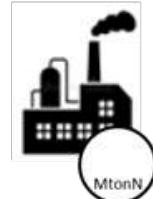
Le Bilan d'approvisionnement en engrais de synthèse

Engrais industriels



Utilisation

kgN/ha/an
N



Prod. intérieure

Déficit(+) ou Excédent(-)
Engrais industriels:

MtonN/an

$$O = S \times N$$

$$P$$

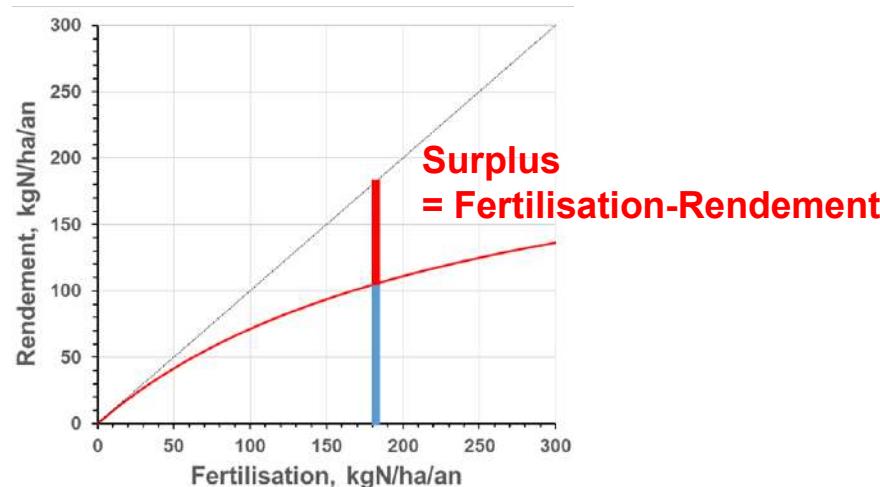


MtonN/an

$$Q = O - P$$

L'empreinte environnementale

Surplus terres cultivées



30% des excréts animaux volatilisés en NH₃

Fraction non recyclée des excréts humains

Pertes environnementales

Surplus fertilis°
(fertil tot - prod veg)

H

+

kgN/ha/an

R=H+K+C



MtonN/an

S x R



Excrétion anim.
Volatilisée

K



Eaux usées
non récupérées

C

(Limite planétaire:
60 MtonN/an)

Bilan global

(pour la Macro-Région dans son ensemble, compte tenu de sa surface totale de terres arables)



Déficits ou excédents de nourriture (pour les hommes et les animaux)

Déficits ou excédents d'engrais industriels

Pertes environnementales d'azote

	Bilan Situation actuelle	import alimentaires MtonN/an	import engrais indus MtonN/an	pertes environnement MtonN/an
6 Europe	0.0	0	0	0
7 Amerique N	0.0	0	0	0
8 FSU	0.0	0	0	0
9 Am C&SW	0.0	0	0	0
10 Am SE (soya)	0.0	0	0	0
11 Chine	0.0	0	0	0
12 Inde	0.0	0	0	0
13 Asie SE	0.0	0	0	0
14 Japon	0.0	0	0	0
15 Maghreb & Pr Or	0.0	0	0	0
16 Afrique Sub Saharienne	0.0	0	0	0
17 Australie NZ	0.0	0	0	0
18				
19 Bilan	0.0	0.0	0	0
20 Commerce total	0.0	0.0	0	0

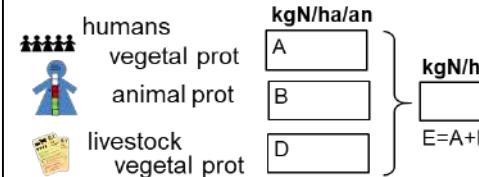
2016 Region.....

S, cropland surf area
M ha/1000 =
Md ha

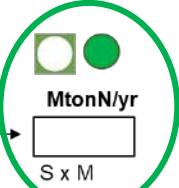
Balance in MtonN/yr
= kgN/ha/yr x Billion ha

Balance per ha cropland

- Needs:



Food and feed
Deficit(+) or Excedent(-)



- Disponibility:

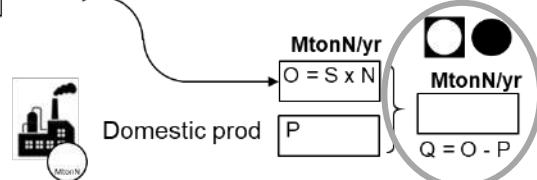


$$kgN/ha/yr
M = E - L$$

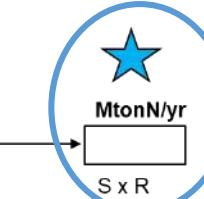
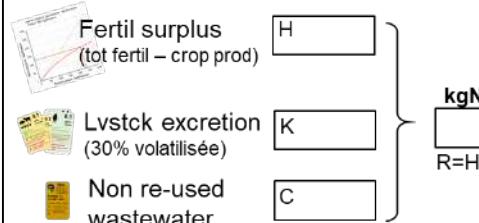
Industrial fertilizers



Industrial fertilizers
Deficit(+) or Excedent(-)



Environmental losses

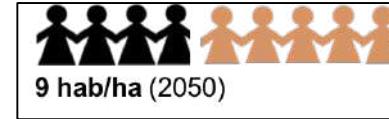


NB: planetary boundary= 60 MtonN/yr

Deuxième phase du jeu: Rêvons d'un monde meilleur

Des contraintes:

Nourrir tout le monde



sans déforestation (surf agricoles identiques)

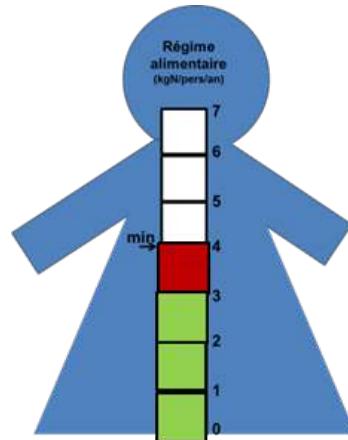
Des objectifs:

Respecter les limites planétaires (minimiser les pertes environnementales)

Assurer le maximum de souveraineté alimentaire (minimiser le commerce international)

Des leviers: rebattre les cartes

Ajuster le régime alimentaire et les modes de fertilisation



2ème phase du jeu:

Rebattre les cartes pour inventer un scénario avec

Des contraintes:

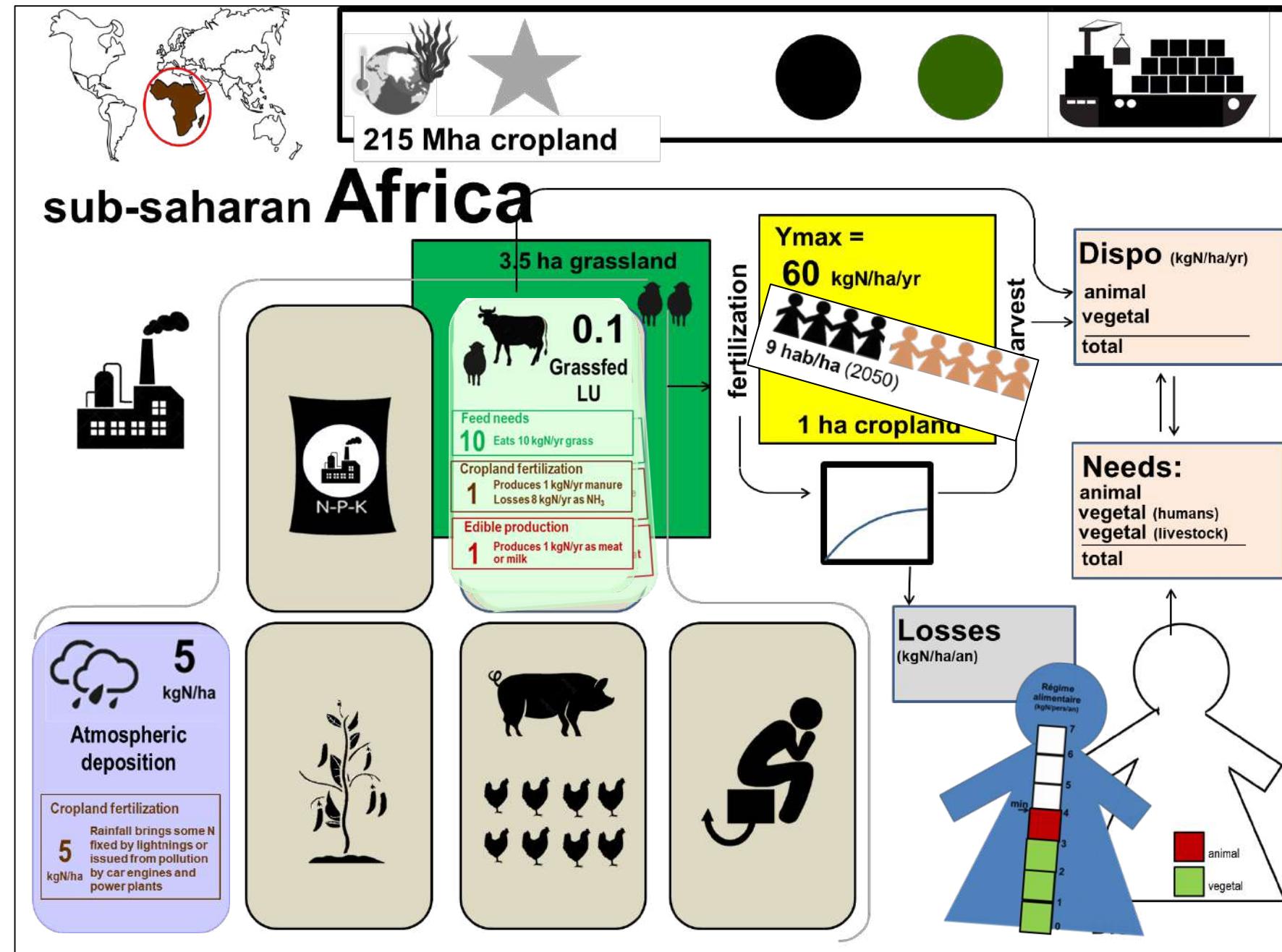
- La même surface cultivée*
- La population prédictée pour 2050*

Des objectifs:

- Plus de souveraineté*
- Moins de pertes d'azote*

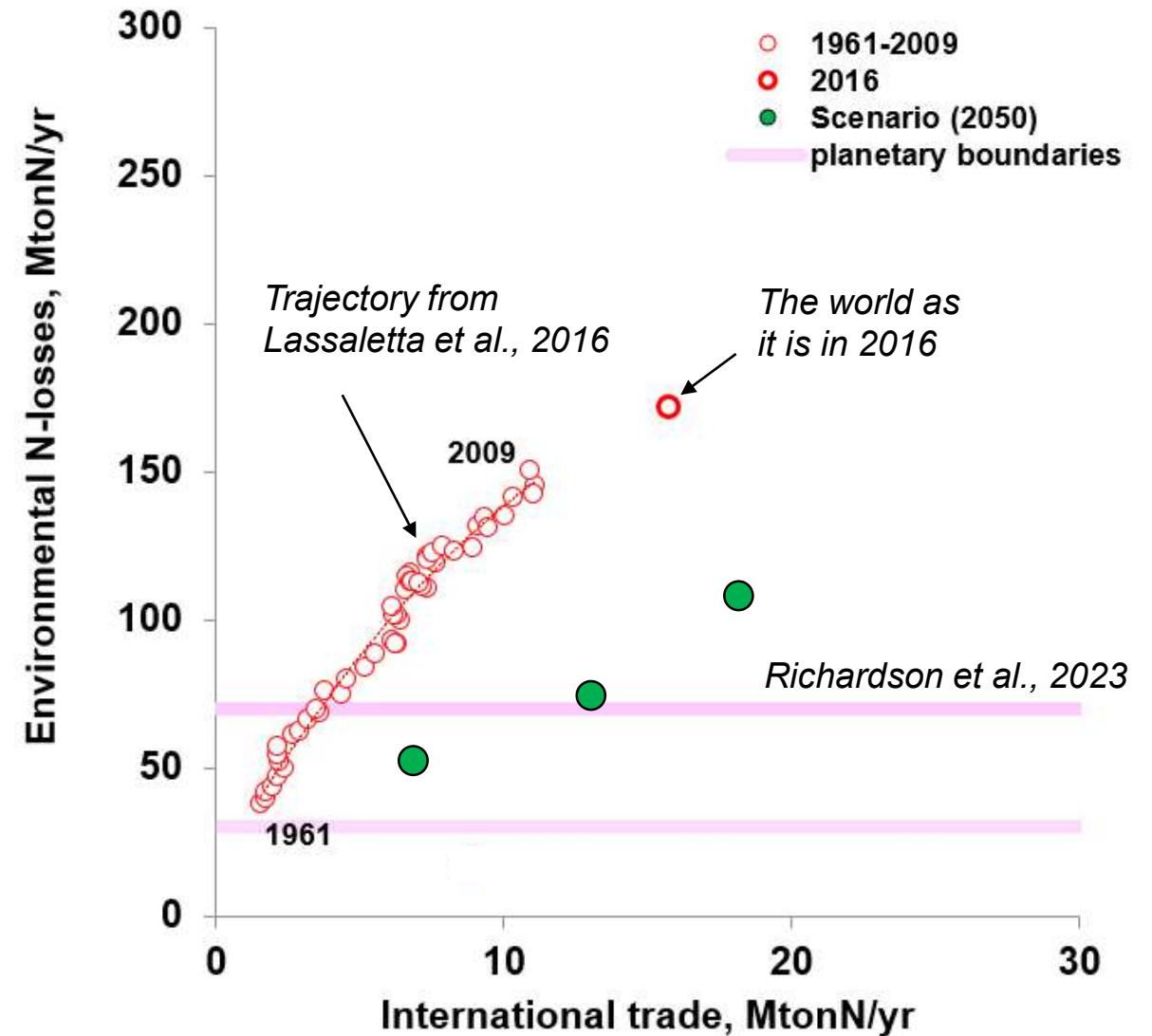
Des leviers:

- Le régime alimentaire*
- Les modes de fertilisation*



Debriefing 2ème phase du jeu

Trajectoire des pertes environnementales et du commerce international

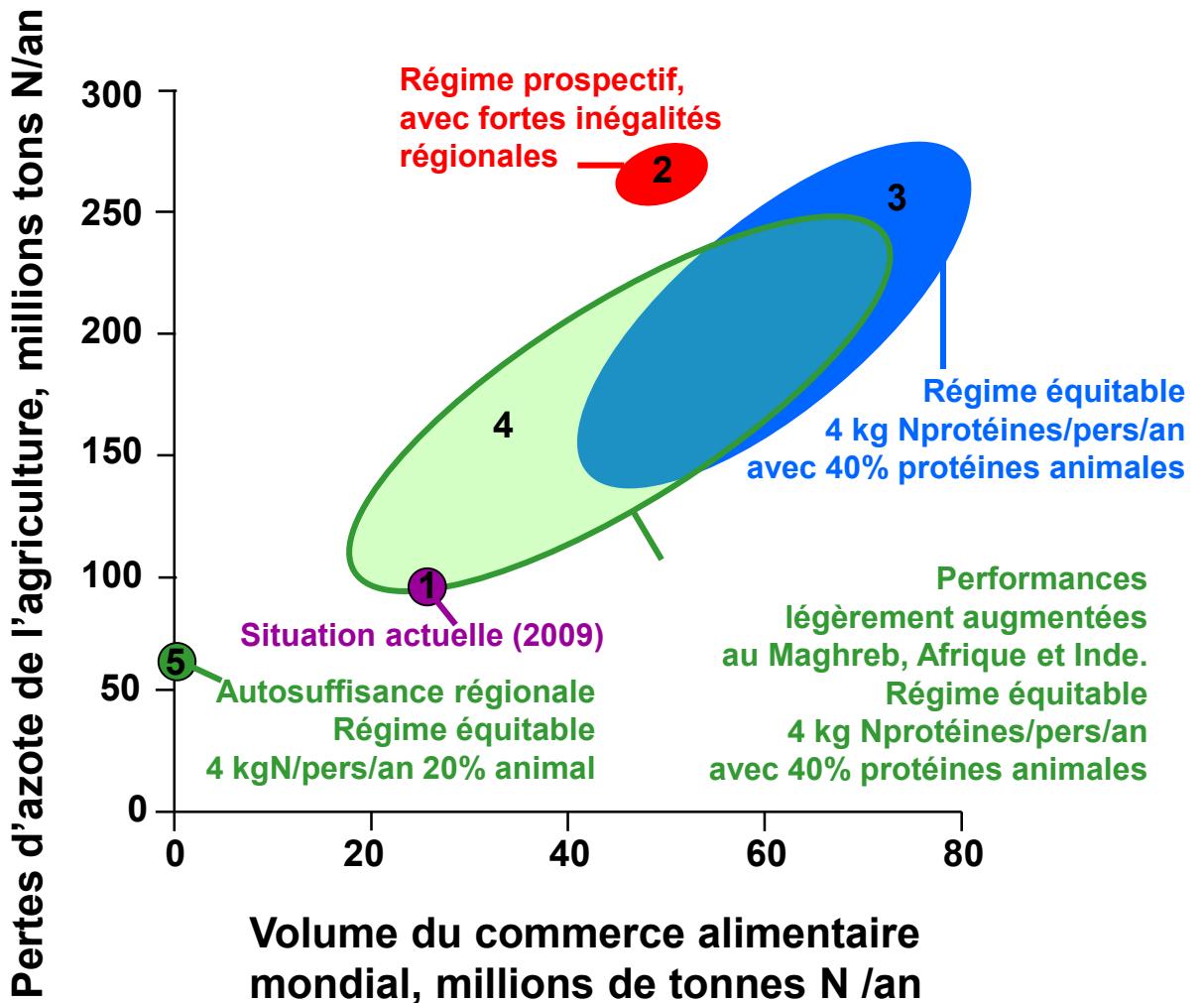


A vast range of opportunities for feeding the world in 2050: trade-off between diet, N contamination and international trade

Gilles Billen^{1,2}, Luis Lassaletta¹ and Josette Garnier^{1,2}

doi:10.1088/1748-9326/10/2/025001

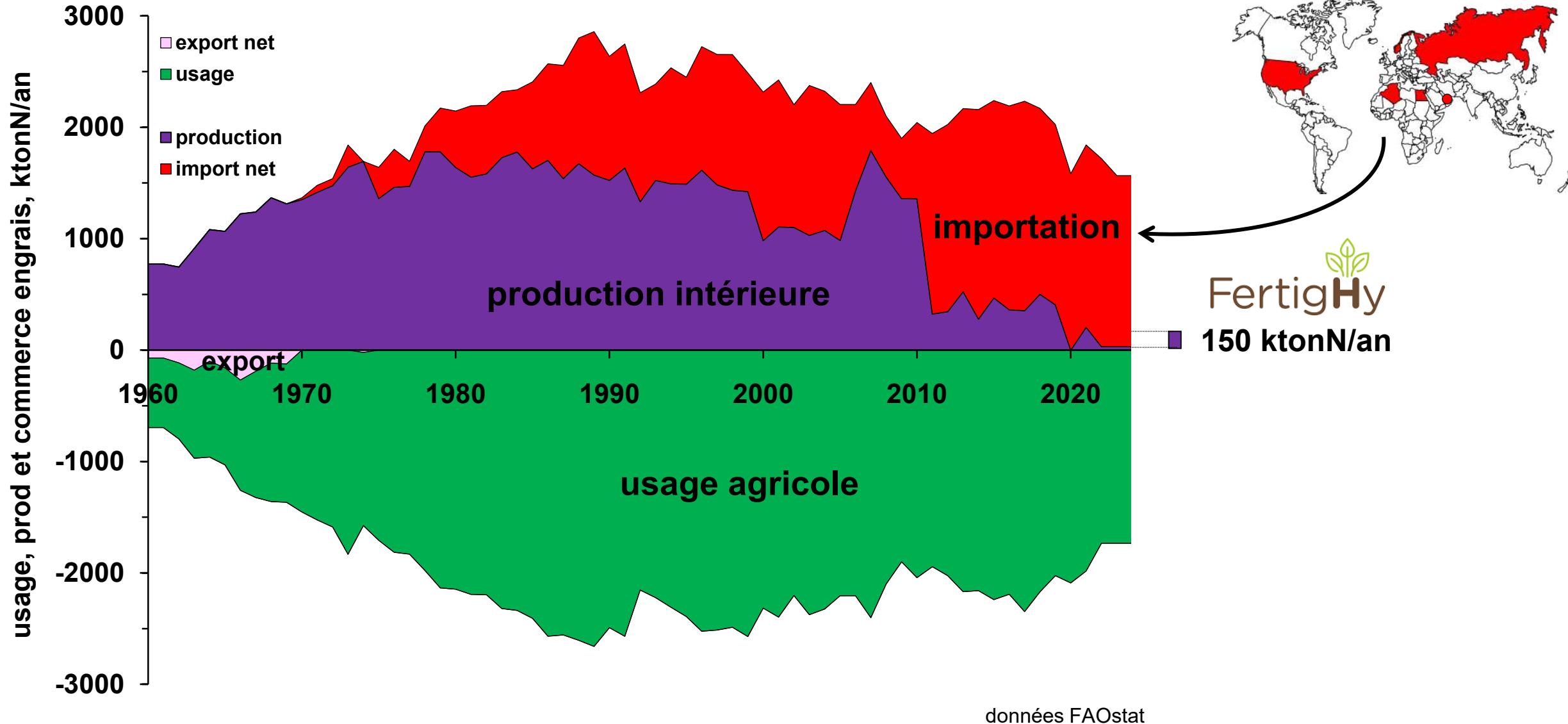
Independent Science News, March 9, 2015
<http://www.independentsciencenews.org/environment/will-food-sovereignty-starve-the-poor-and-punish-the-planet/>



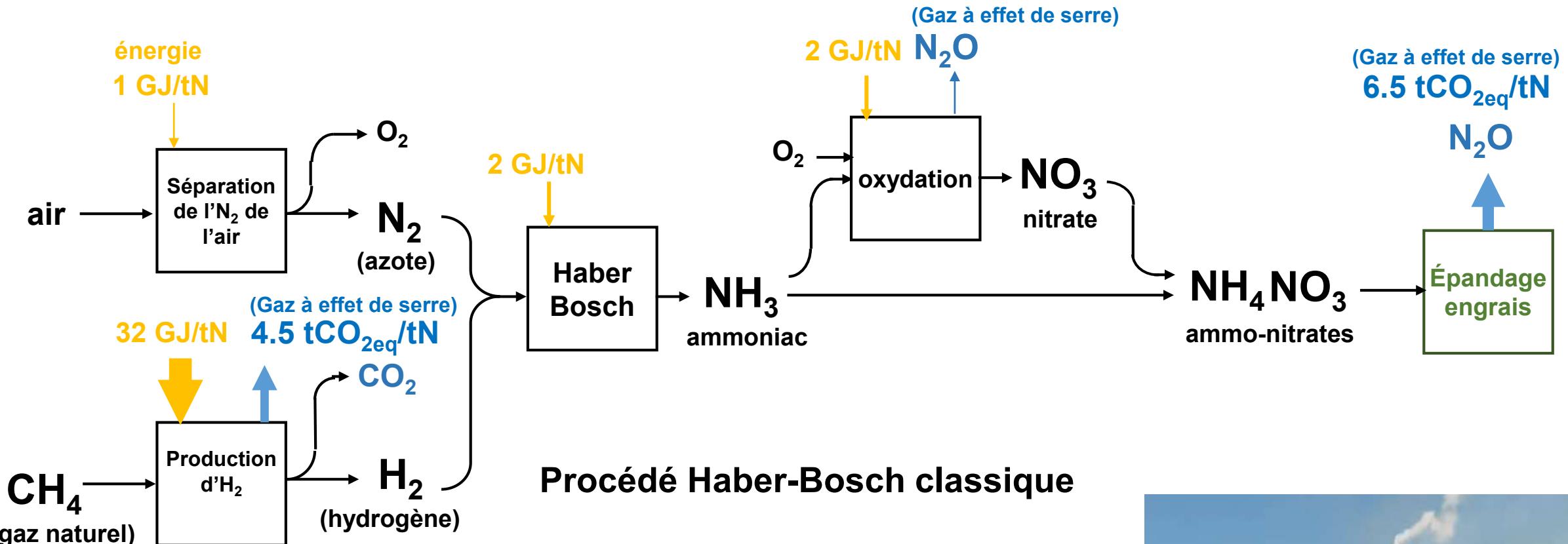
Eléments de débrief

L'usine FertigHy de Languevoisin-Quiquery

Utilisation, importation et production d'engrais azotés en France depuis 1960

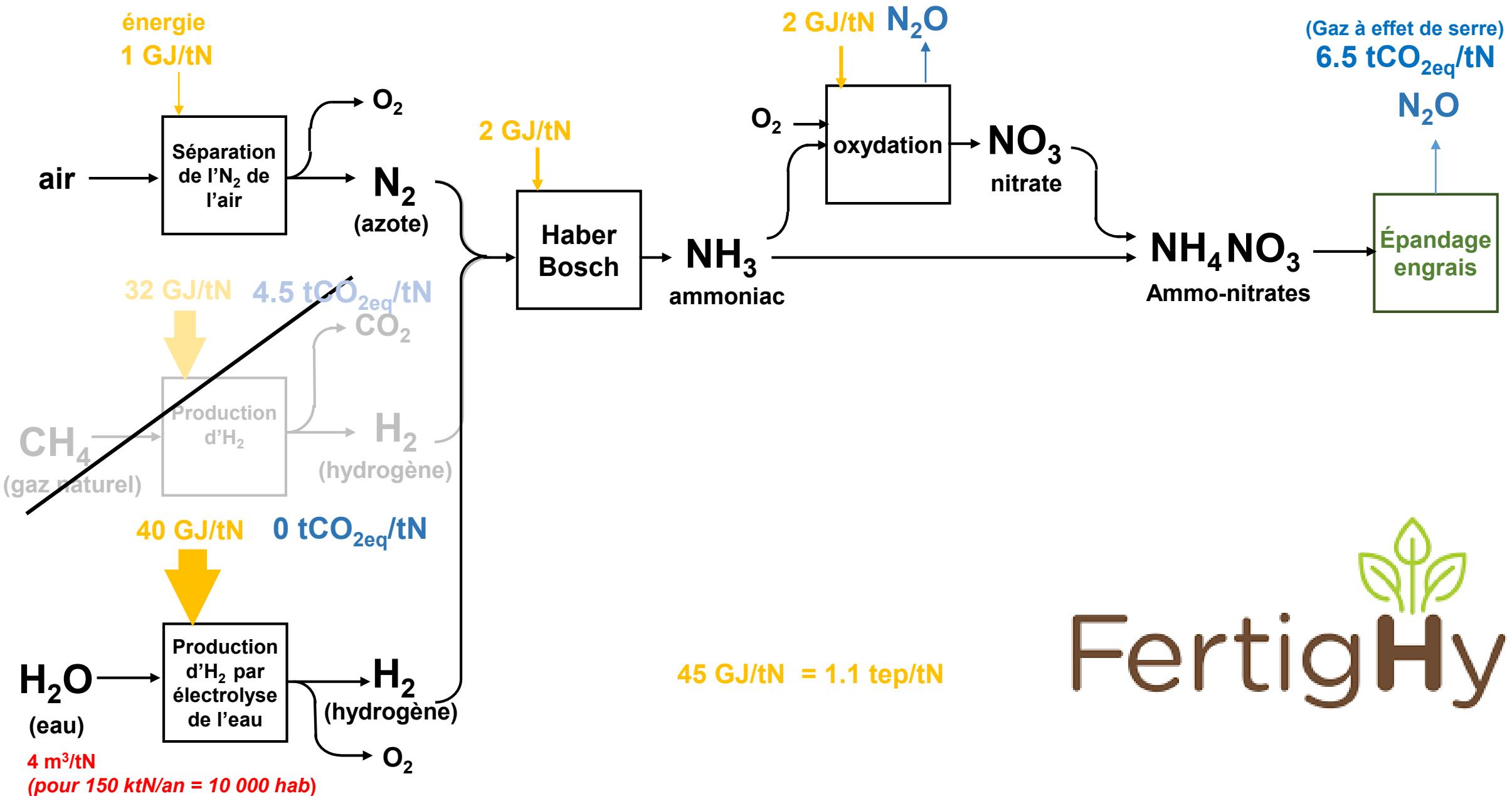


Comment sont produits les engrais azotés?



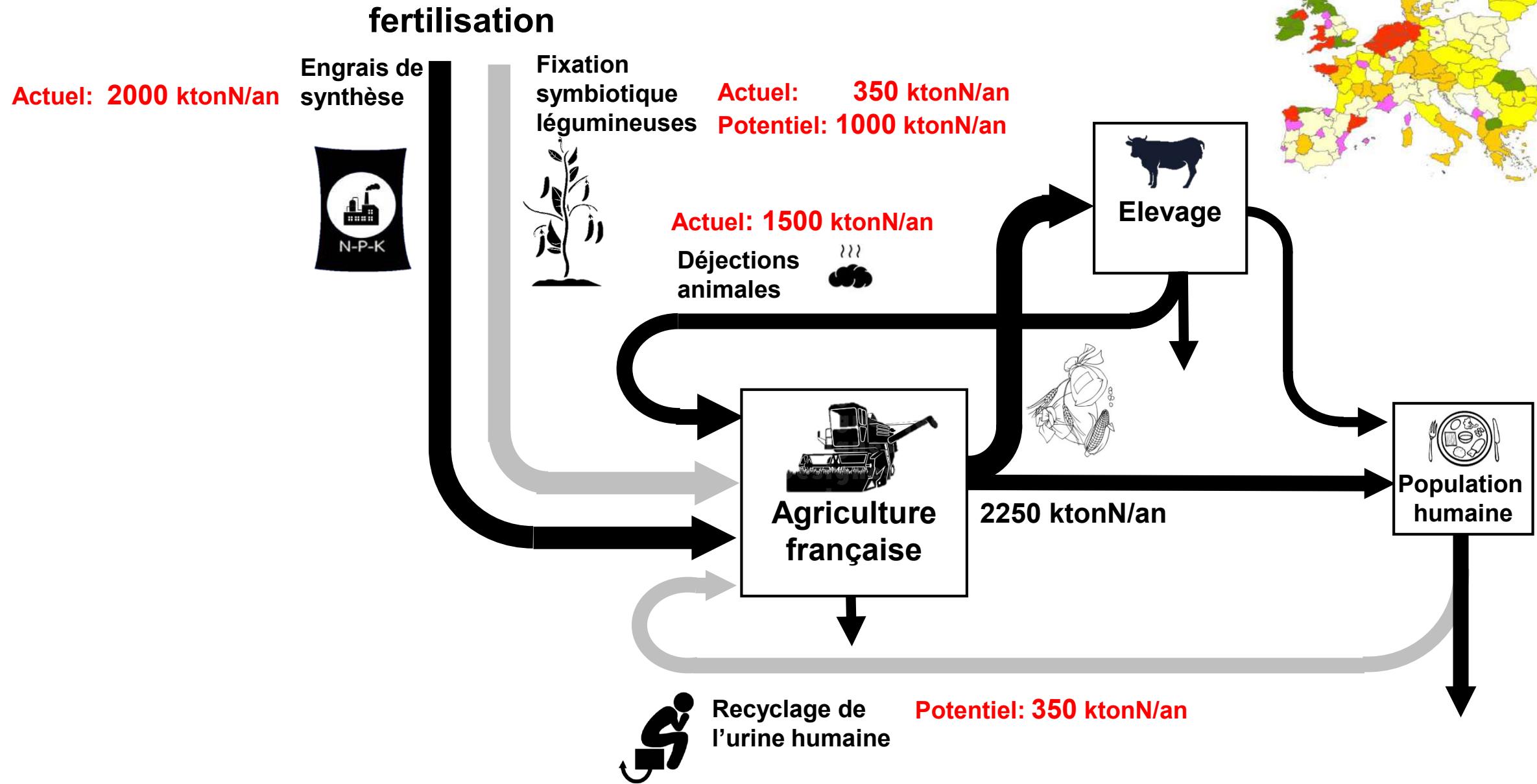
Yara,
usine d'engrais de Montoir-de-Bretagne

Comment sont produits les engrais azotés?



FertigHy

Peut-on se passer des engrais azotés?



Les trois leviers permettant de se passer des engrais industriels de synthèse



Généraliser les rotations culturales incluant des légumineuses



Reconnecter l'élevage et les grandes cultures

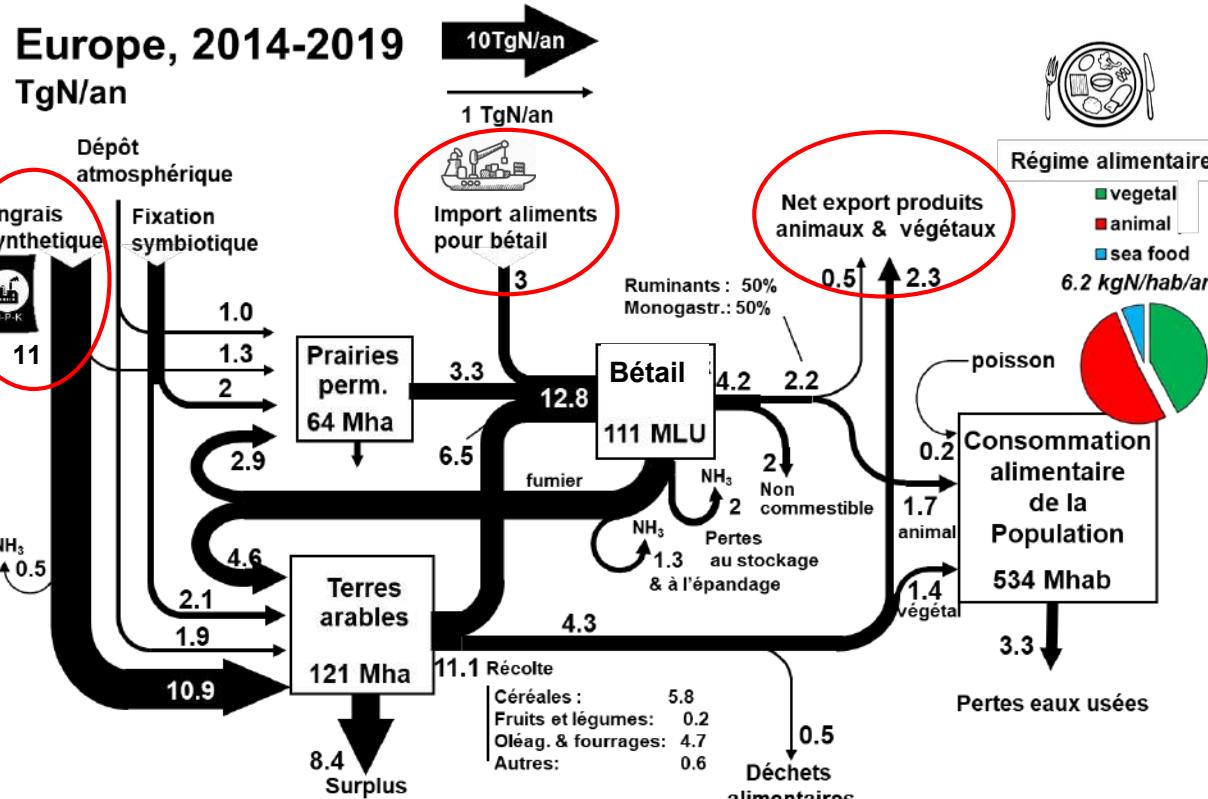


Recycler l'urine humaine

Un tel modèle agricole permet de nourrir la France et l'Europe

et même d'exporter encore des surplus

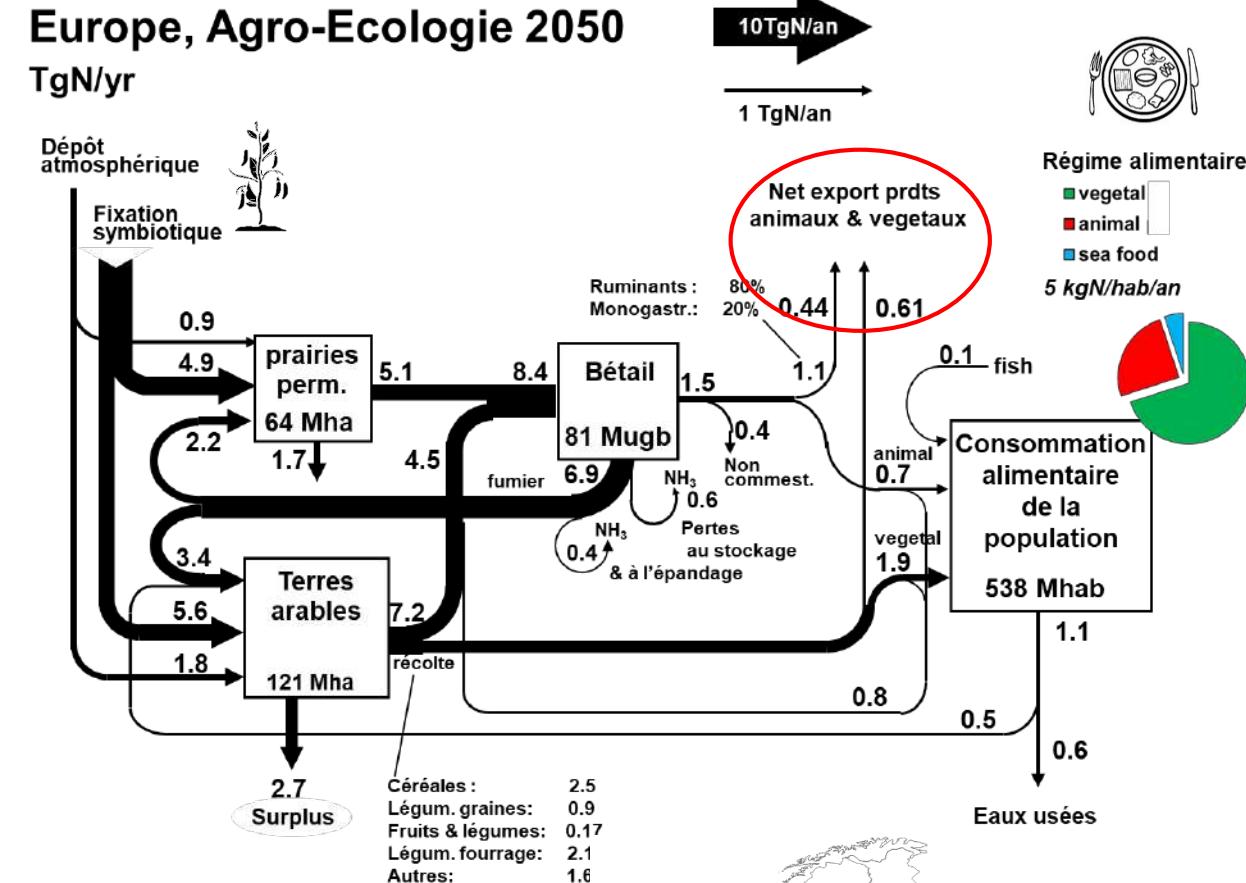
Billen et al, 2024. STOTEN



Émissions de GES (N₂O):



Total Europe: 297 ktN/an



161 ktN/an