



projection

PROFESSIONNELS JUNIORS EN ACTION



# L'empreinte azote dans nos modes de vie



ESCULIER Fabien  
fabien.esculier@ponts.org  
Chercheur en écologie

21 janvier 2016

# Projet de recherche



**CSTB**  
*le futur en construction*



## OCAPI

# Optimisation des cycles Carbone, Azote et Phosphore en ville



# Quelques éléments sur l'élément azote



## Azote atmosphérique $N_2$ inerte

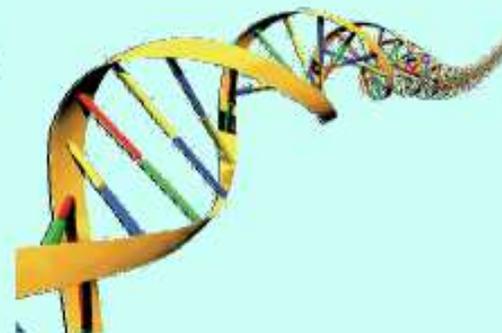
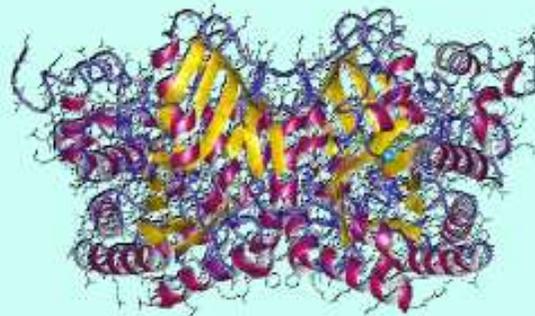
Avant 1900

**la Rareté Structurante**

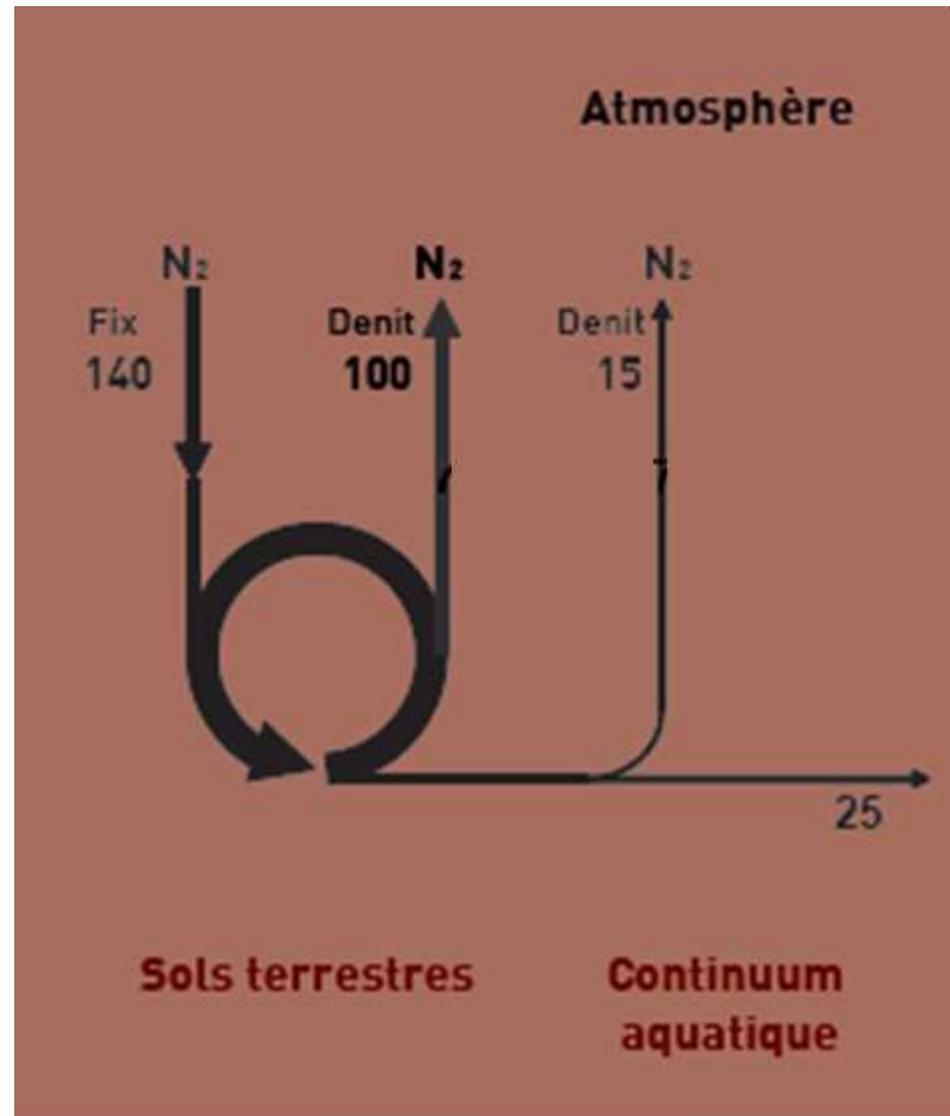
Azote réactif:

$NH_3$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ...

N organique: protéines, acides nucléiques

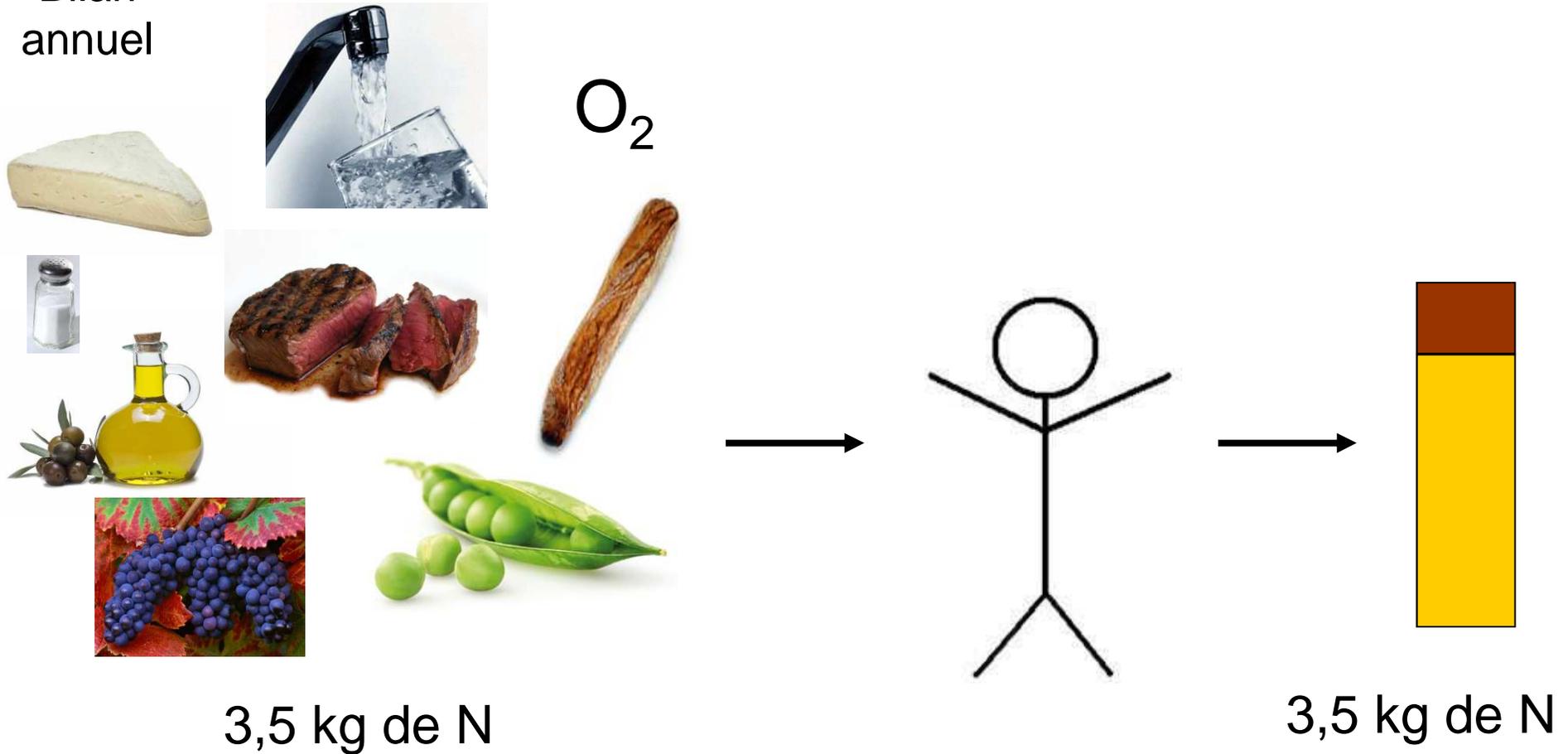


# Cycle azote terrestre pré-industriel (planète entière – TgN/an)



# Métabolisme basal de l'Homme

Bilan  
annuel



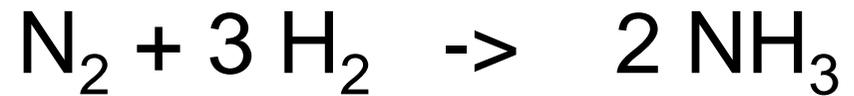
L'azote est présent dans les protéines  
100 g de protéines = 16 g de N

# La révolution du XXème siècle

- Synthèse industrielle de l'azote – Haber-Bosch (1914)



Usine Yara au Havre, ouverture fin années 60



~ 50 GJ/tN

4% des  
émissions de  
GES en France

AZF

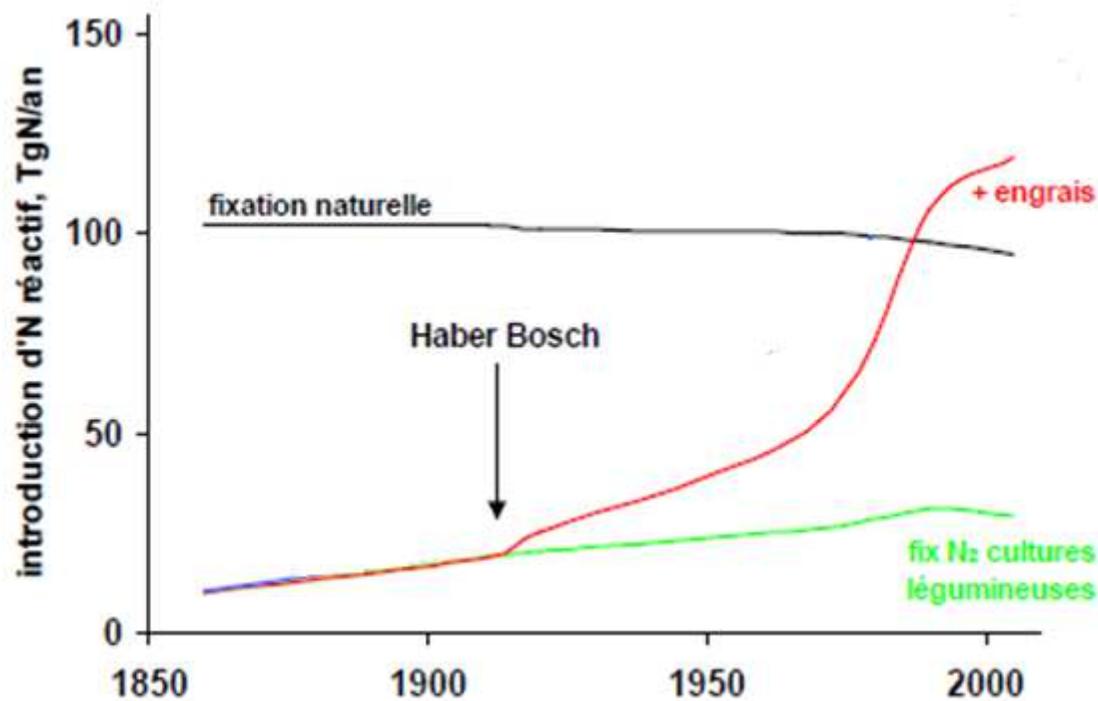
Nine twenty-one  
31 morts



# Plus qu'une révolution

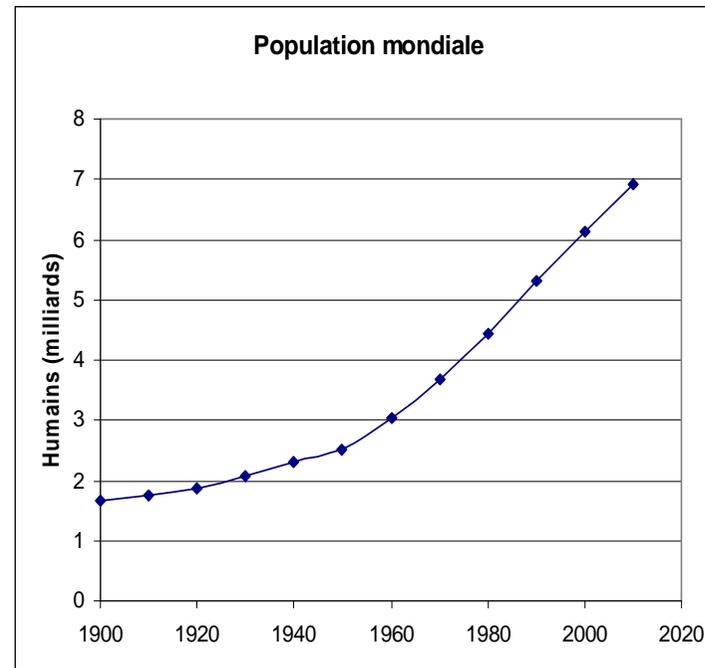
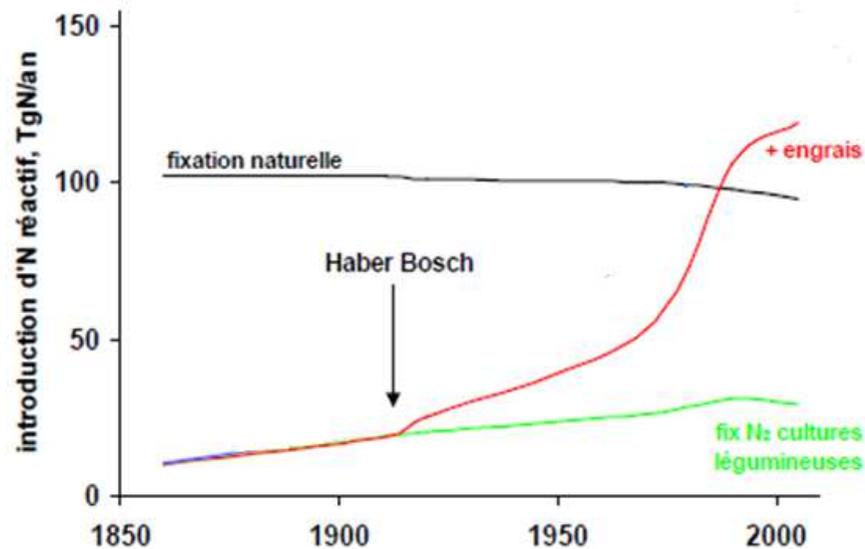
*"L'extraordinaire développement [de l'industrie de l'azote] représente rien moins que l'avènement d'une nouvelle ère dans l'histoire de l'humanité, une nouvelle époque planétaire. Dans le court laps de temps d'une douzaine d'années – en un instant géologiquement parlant- l'homme a initié des transformations d'un ordre de grandeur comparable aux processus planétaires."*

A. Lotka, 1924



# Plus qu'une révolution

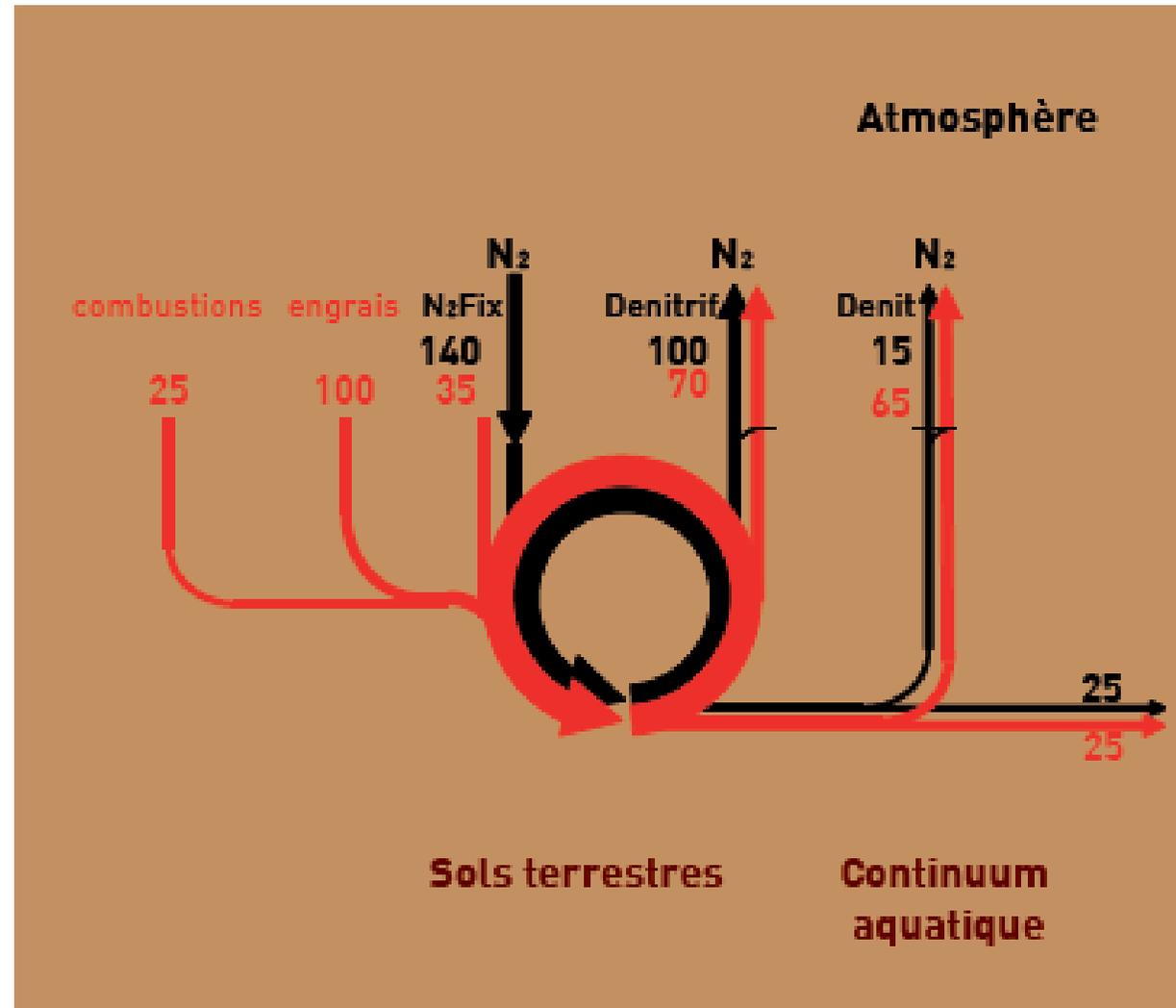
➤ « **Anthropocène** » (Crutzen, 2002 ; 80 ans après Lotka !)



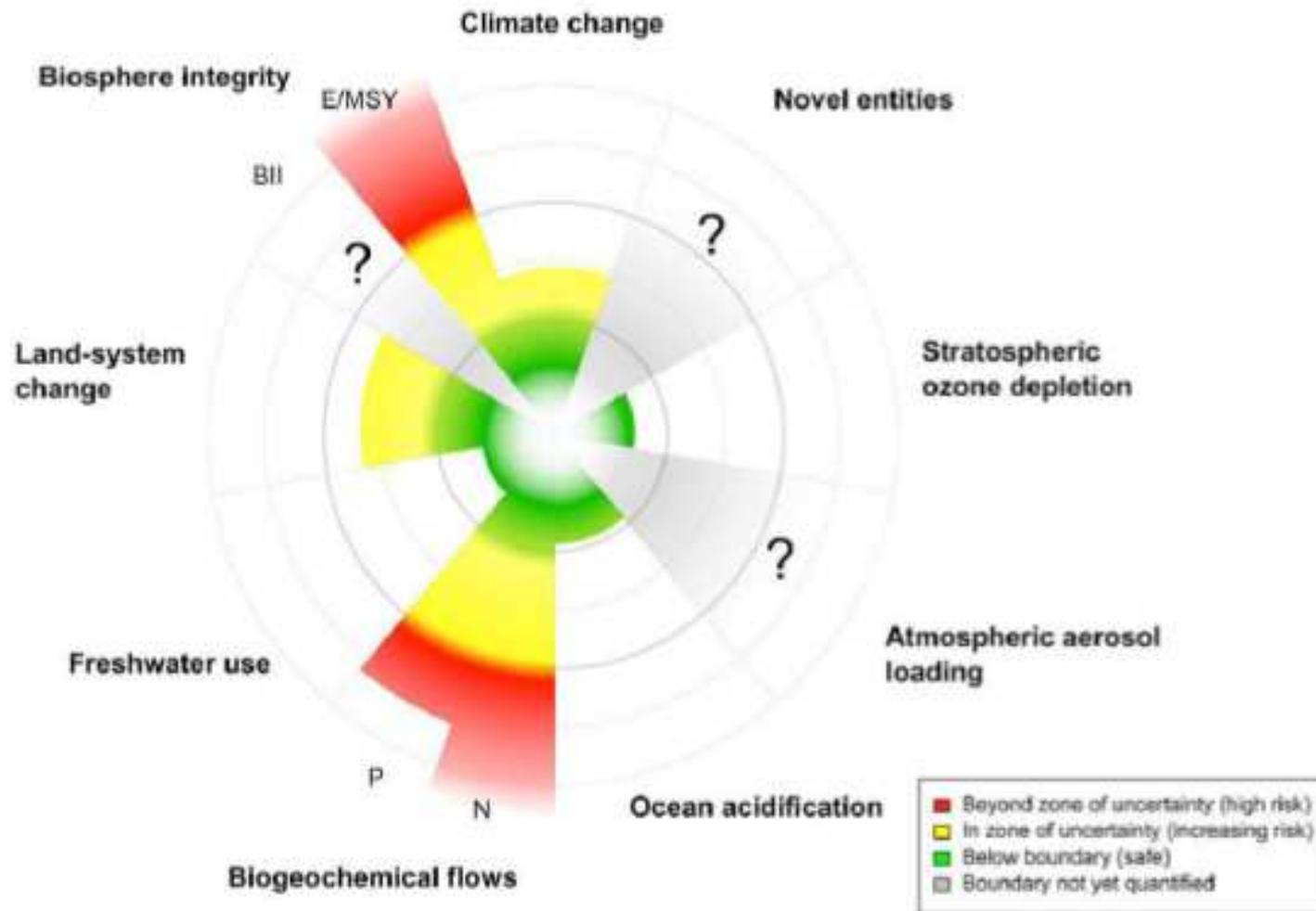
US Census Bureau ; ONU, 2012

# Cycle azote terrestre aujourd'hui (planète entière – TgN/an)

- Cycle perturbé à 100%
- Le plus perturbé des cycles naturels
- Cycle du carbone : perturbation 10% !



# Les limites de la planète



# Les 9 plaies de l'azote



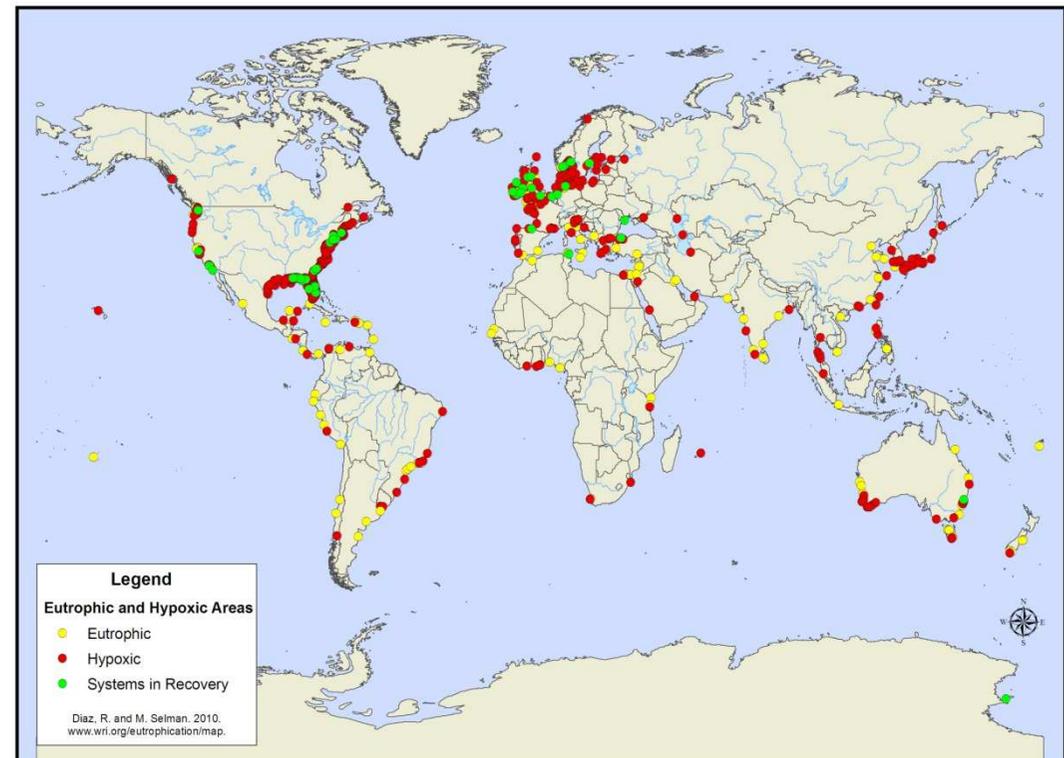
- *A pour Aquatic pollution*
- *C pour Coastal eutrophication*
- *T pour Terrestrial eutrophication and biodiversity loss*
- *A pour Acidification of soils and waters*
- *S pour Stratospheric chemistry and ozone*
- *Gr pour Greenhouse gas balance and warming*
- *O pour Ozone and plant damages*
- *U pour Urban air quality and health*
- *P pour Particles and human health*

# Conséquences médiatisées en France

- Marées vertes
- Fermetures de captages d'eau potable :  
Nitrates =  
1 captage fermé  
par semaine  
en France !

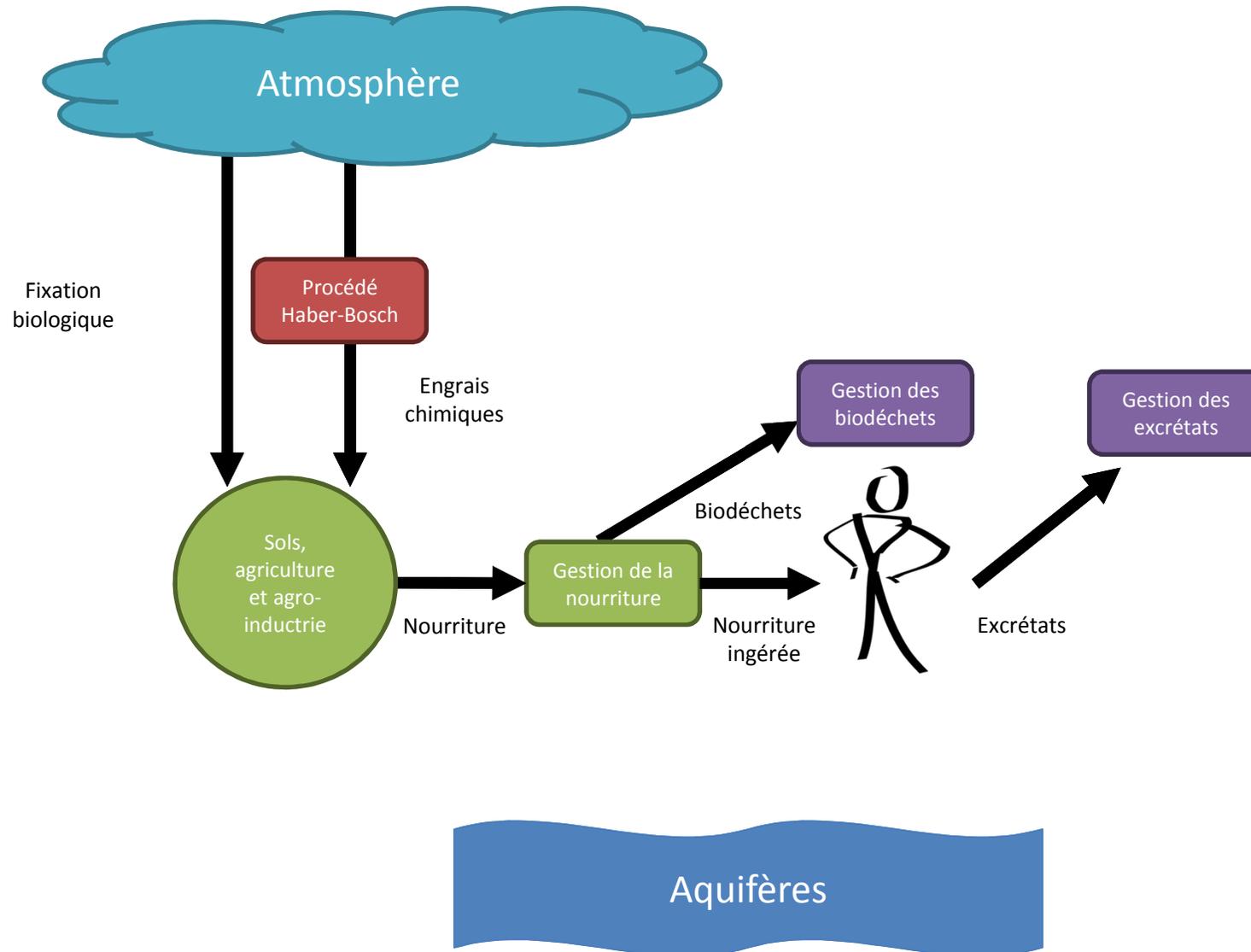


World Hypoxic and Eutrophic Coastal Areas

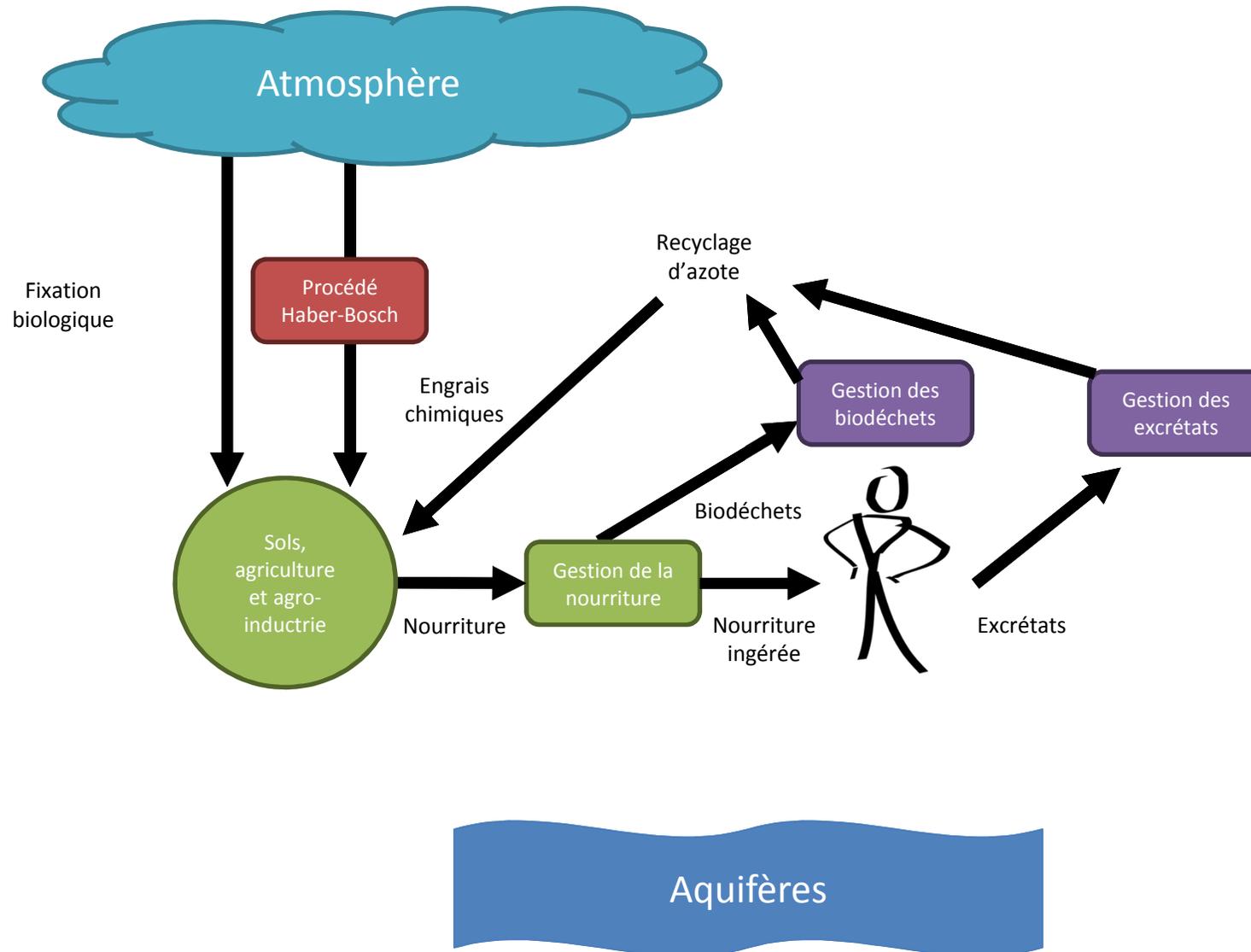


# L'azote et le citadin

# Flux d'azote



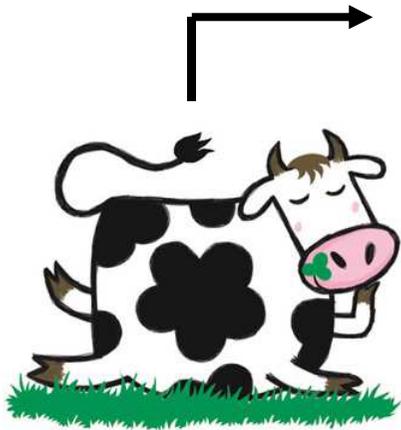
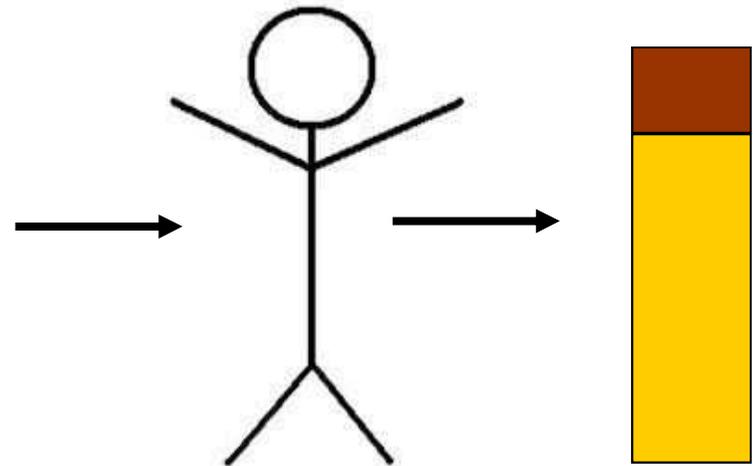
# Flux d'azote



Encore 2 infos avant de jouer

# Viande ou pas viande

Bilan  
annuel



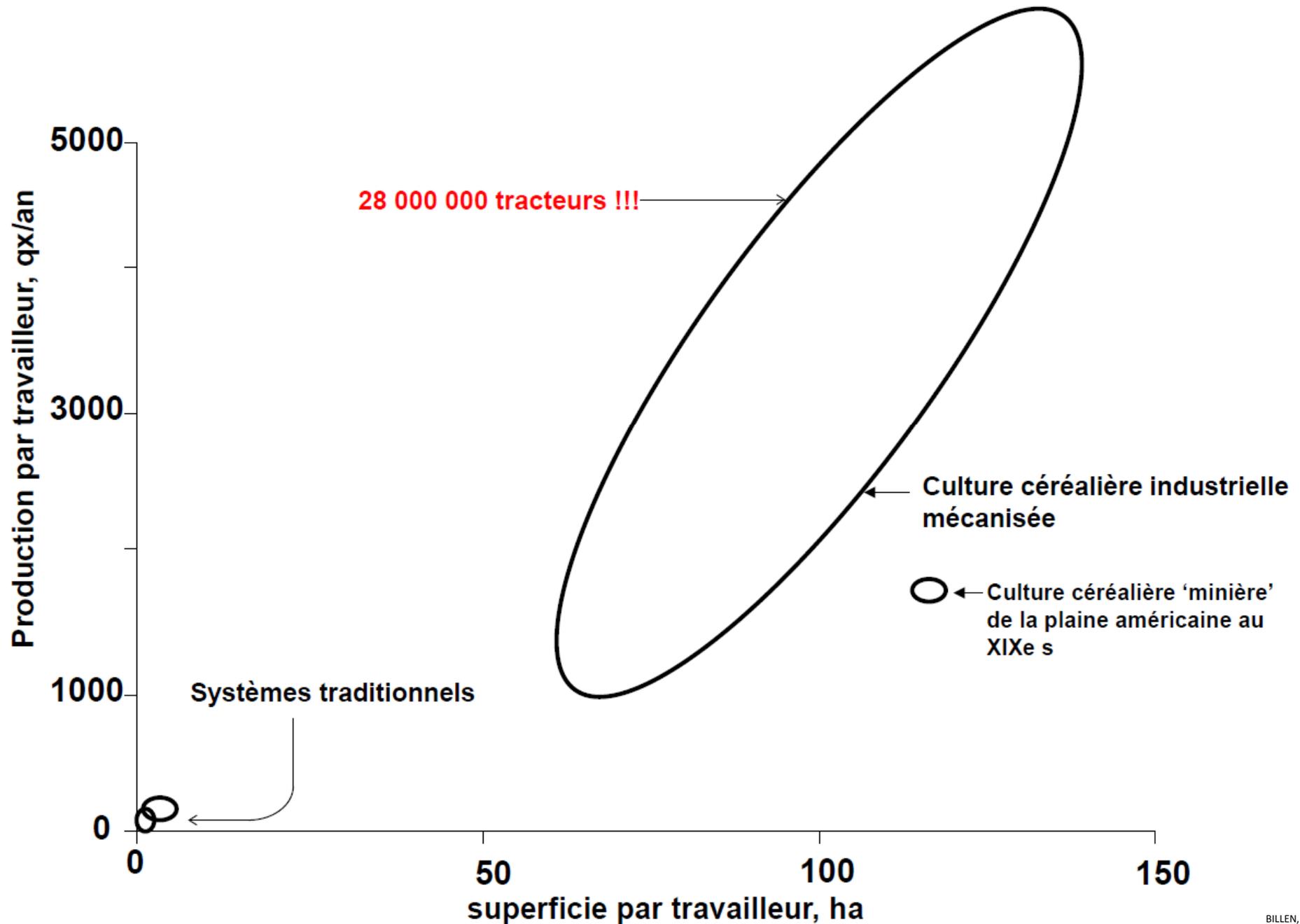
3,5 kg de N

3,5 kg de N

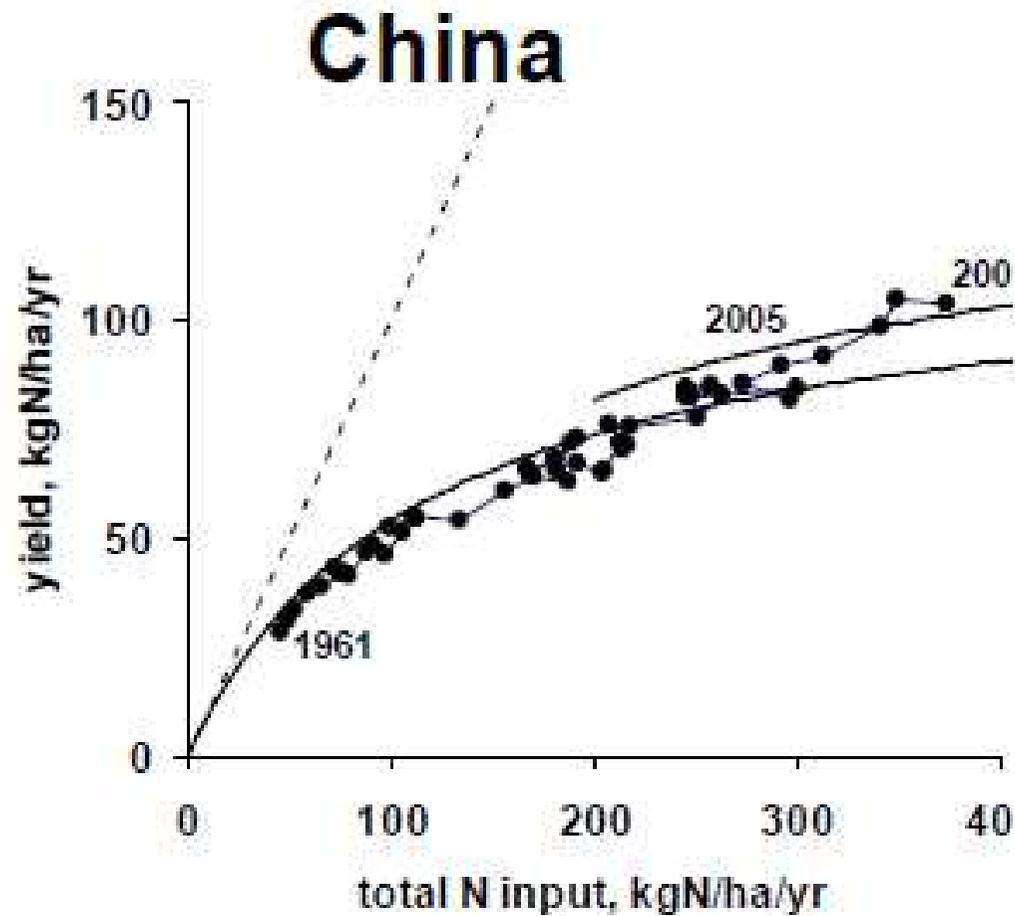
20 kg de N (France)

# Les « miracles » des engrais chimiques

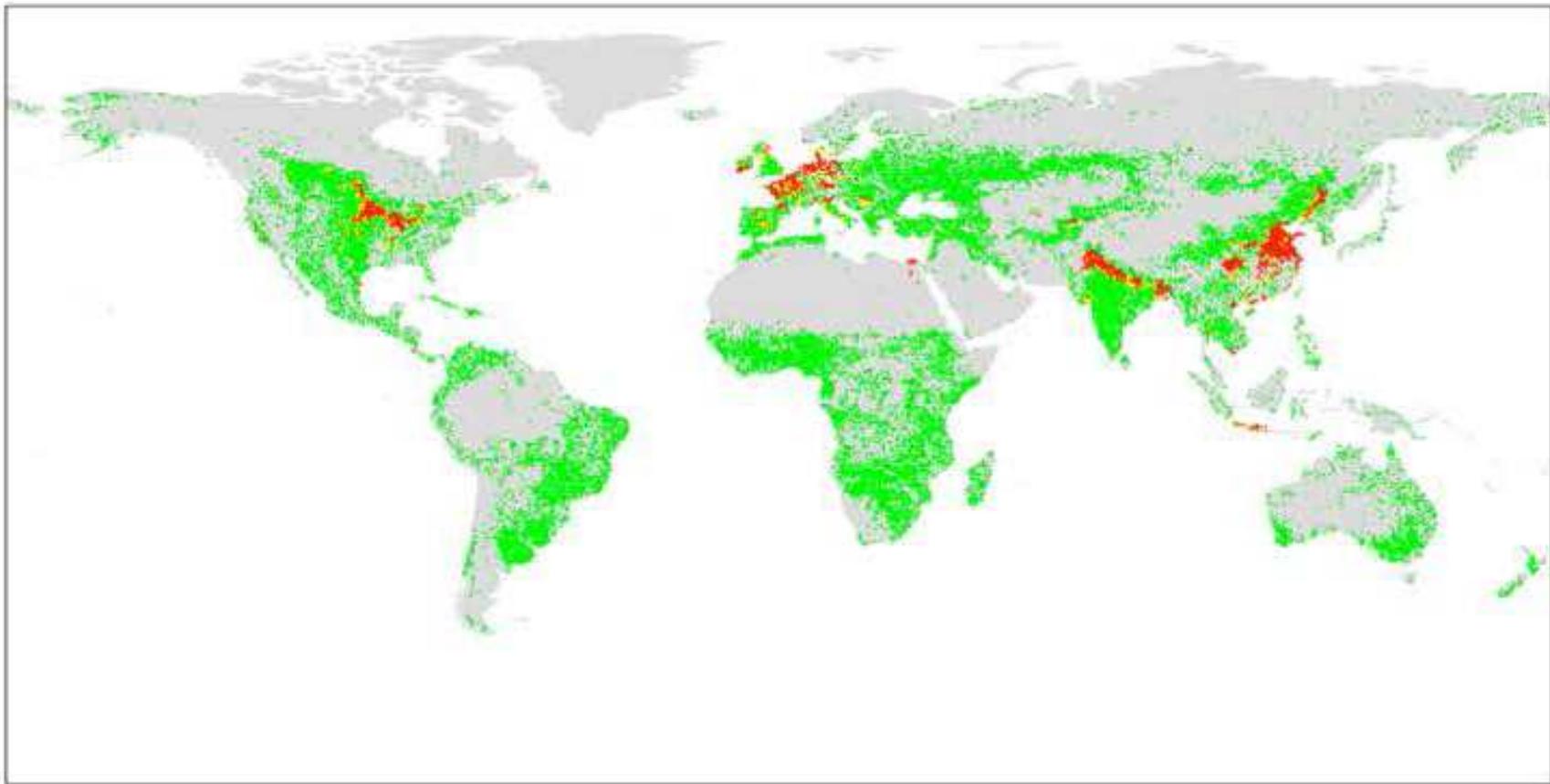
# Contraste avec le système agricole industriel occidental



# Efficacité d'utilisation de l'azote



## **B** Nitrogen



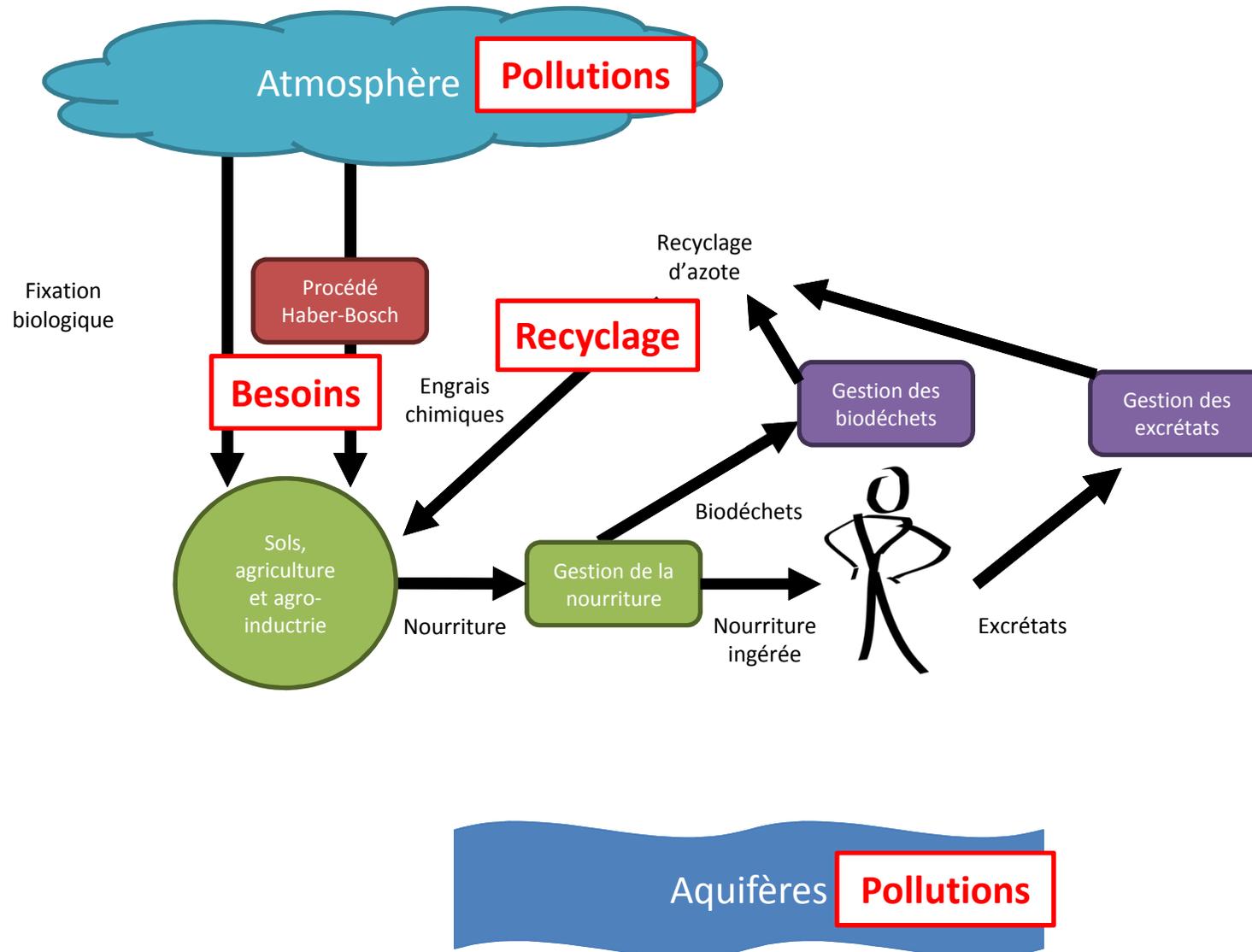
■ Beyond zone of uncertainty (high risk)

■ In zone of uncertainty (increasing risk)

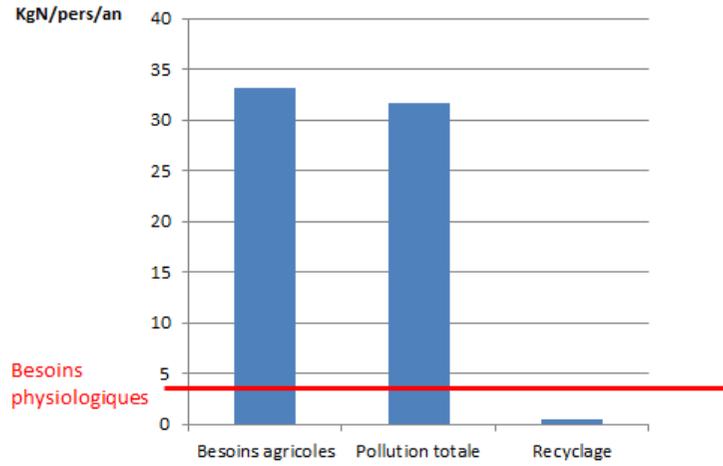
■ Below boundary (safe)

Jouons à l'empreinte azote

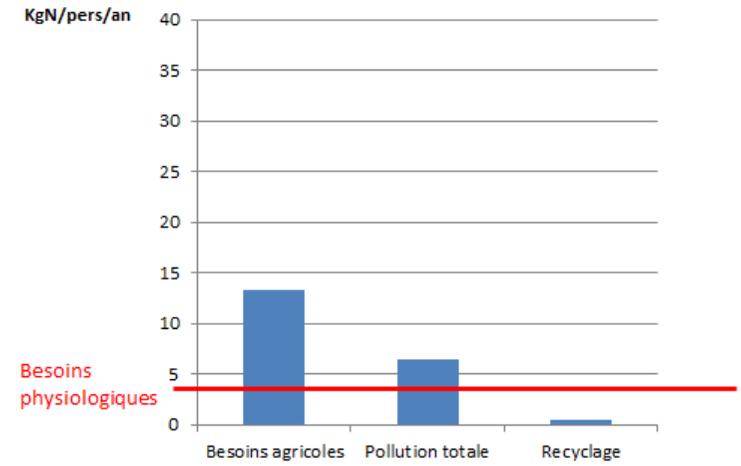
# Flux d'azote



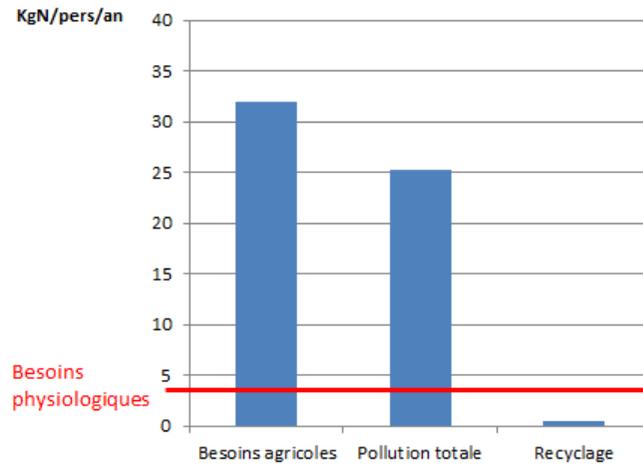
### Empreinte azote 1



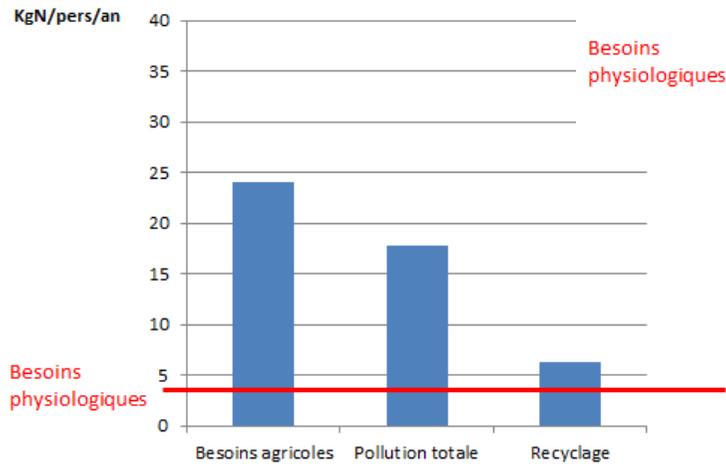
### Empreinte azote 4



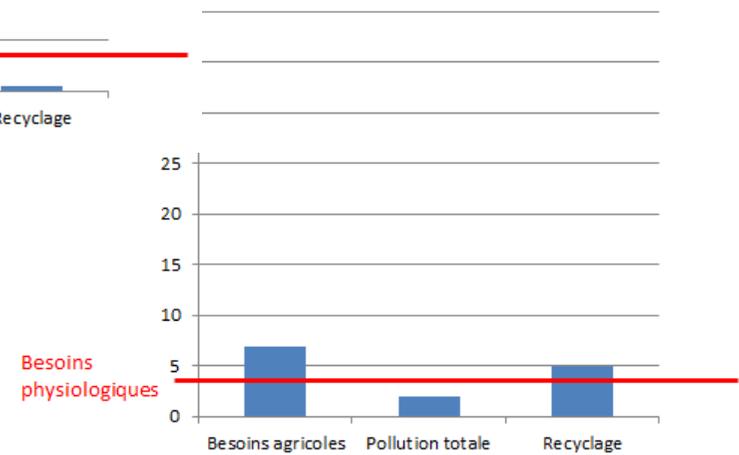
### Empreinte azote 3



### Empreinte azote 2



### Empreinte azote 5



# Résultats

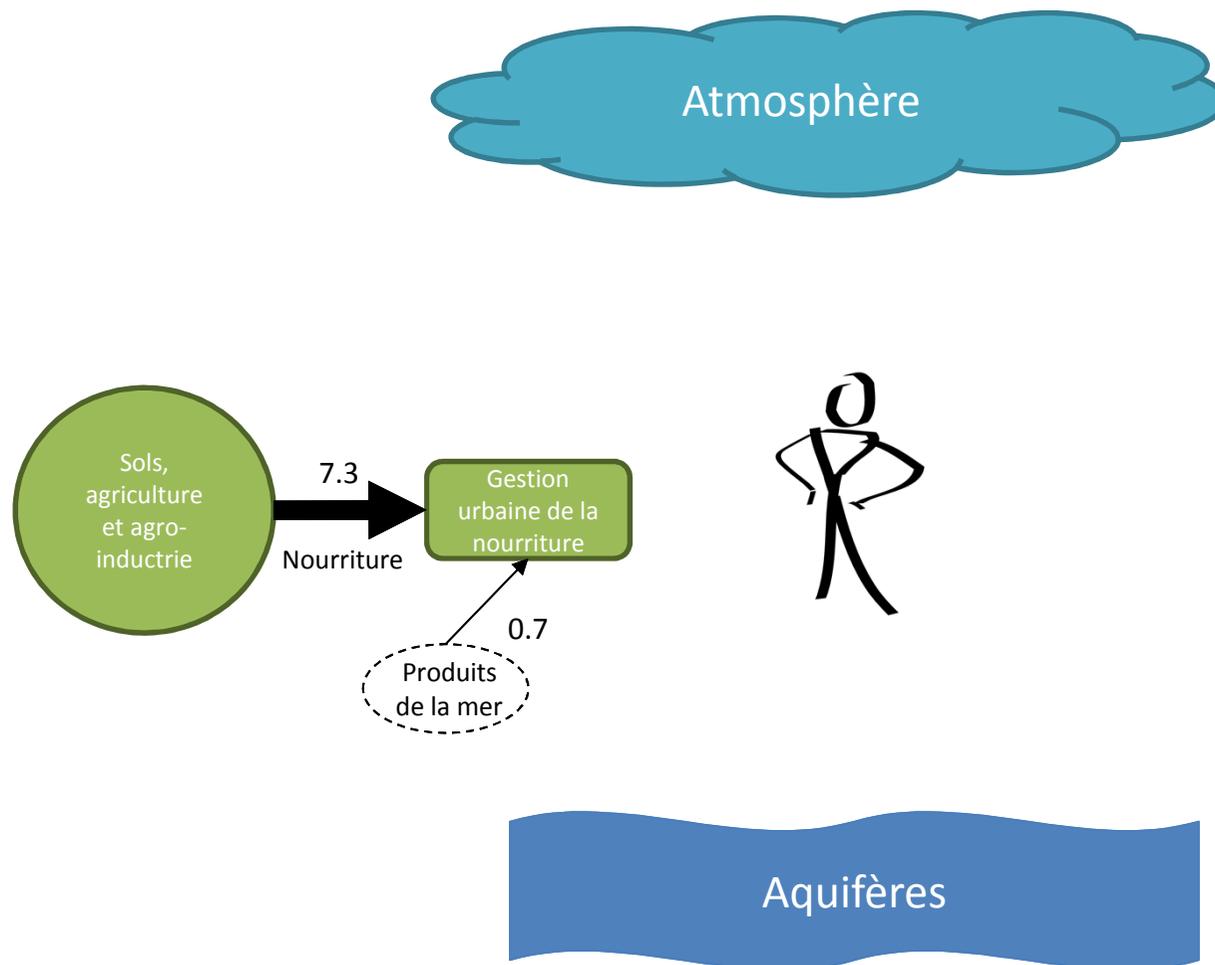
- Empreinte 1 = Paris 1985
- Empreinte 2 = Paris 20xx ? avec recyclage total des biodéchets et des excréments
- Empreinte 3 = Paris 2016
- Empreinte 4 = un Parisien végétalien conventionnel ou carnivore biologique
- Empreinte 5 = un Parisien demitarien biologique, à toilettes sèches et compostage des biodéchets

# Les caractéristiques de Paris 2016

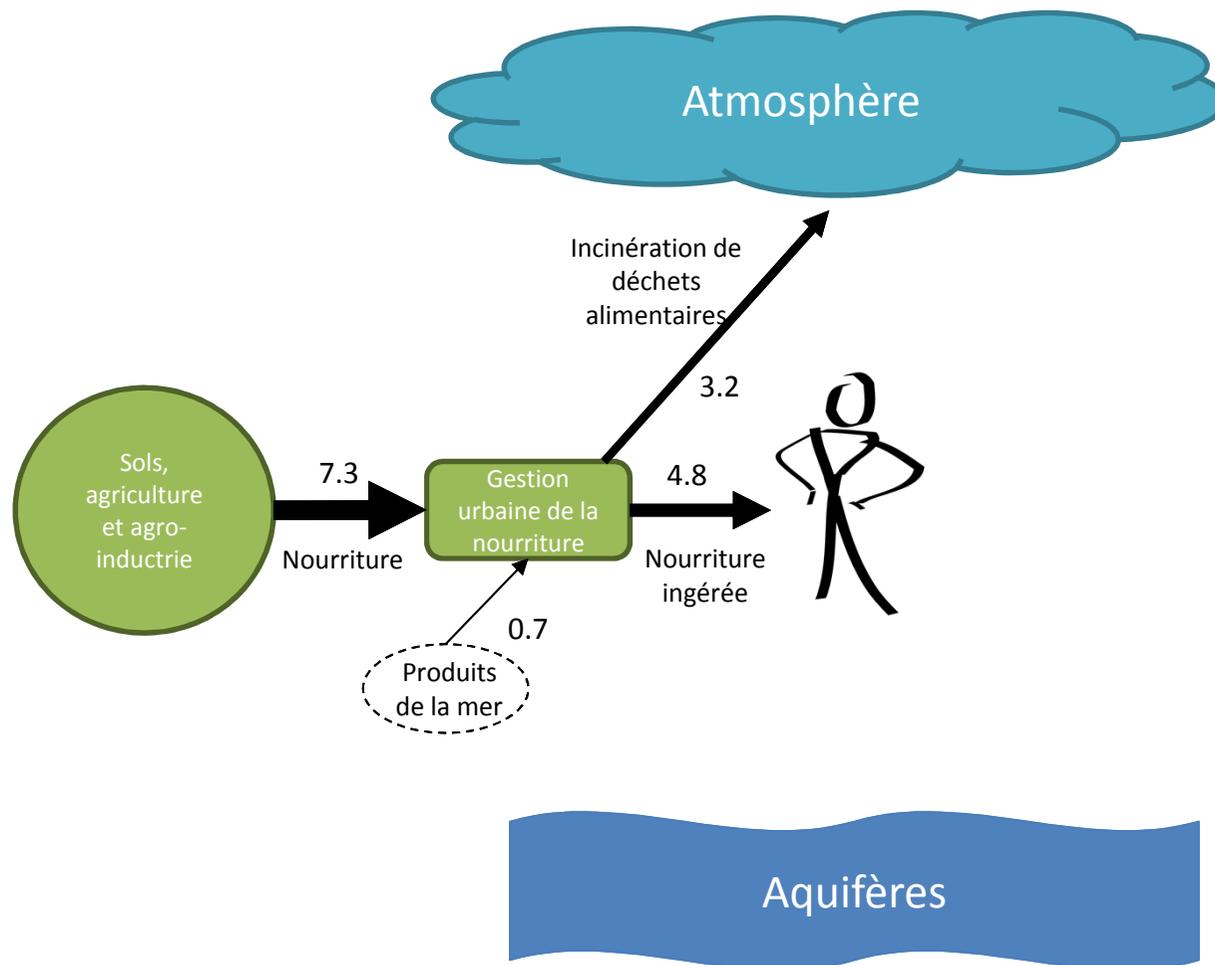
- Gaspillage alimentaire = 40%
- 5% de recyclage des biodéchets
- 5% de recyclage de l'azote des excréments
- 66% de protéines d'origine animale dans l'alimentation moyenne française
- 5 kg d'azote par personne par an ingérés VS un besoin physiologique de 3,5 kg.

# Calculs d'empreintes & discussions

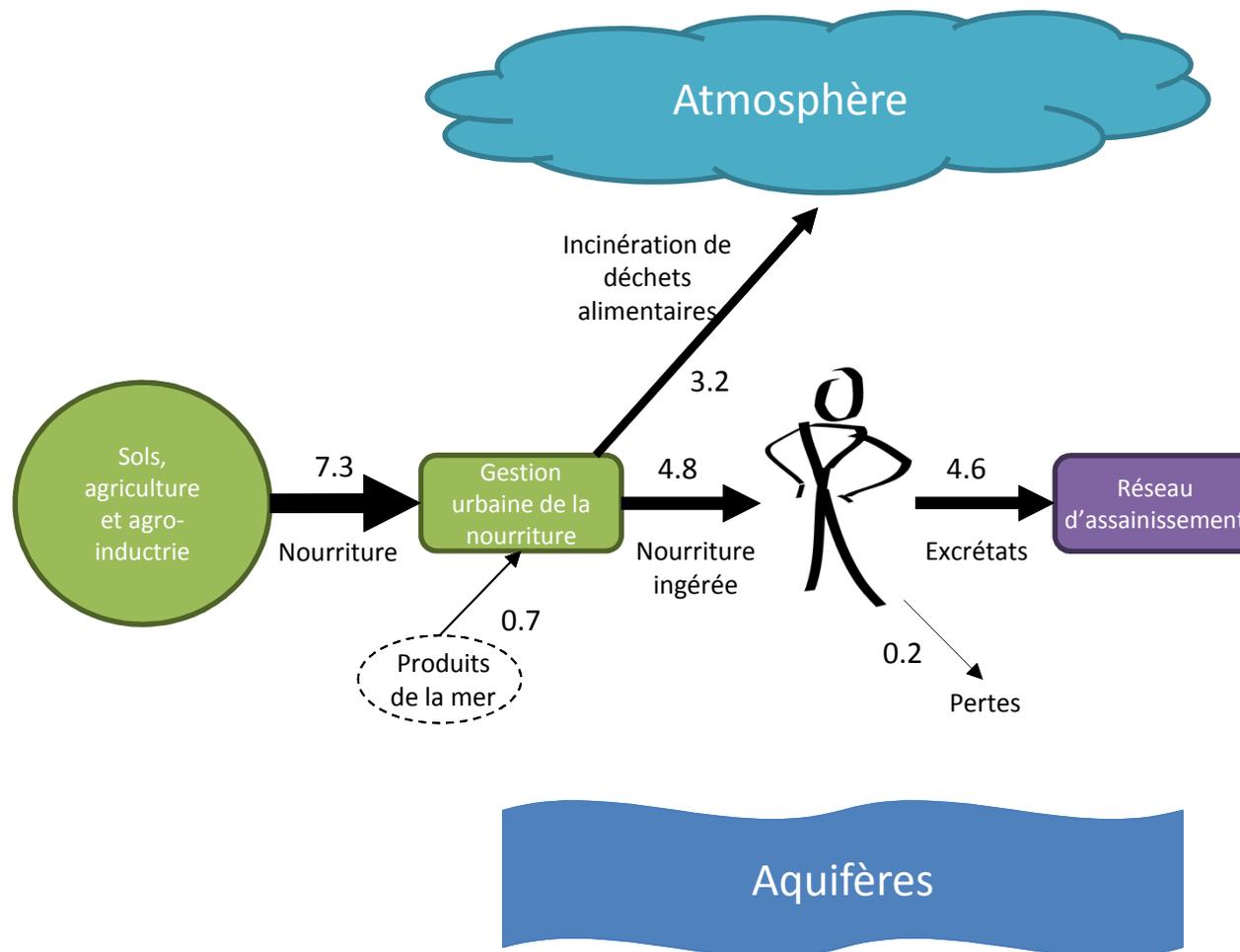
# Flux d'azote liés au métabolisme des Parisiens en 2013 (kgN/pers/an)



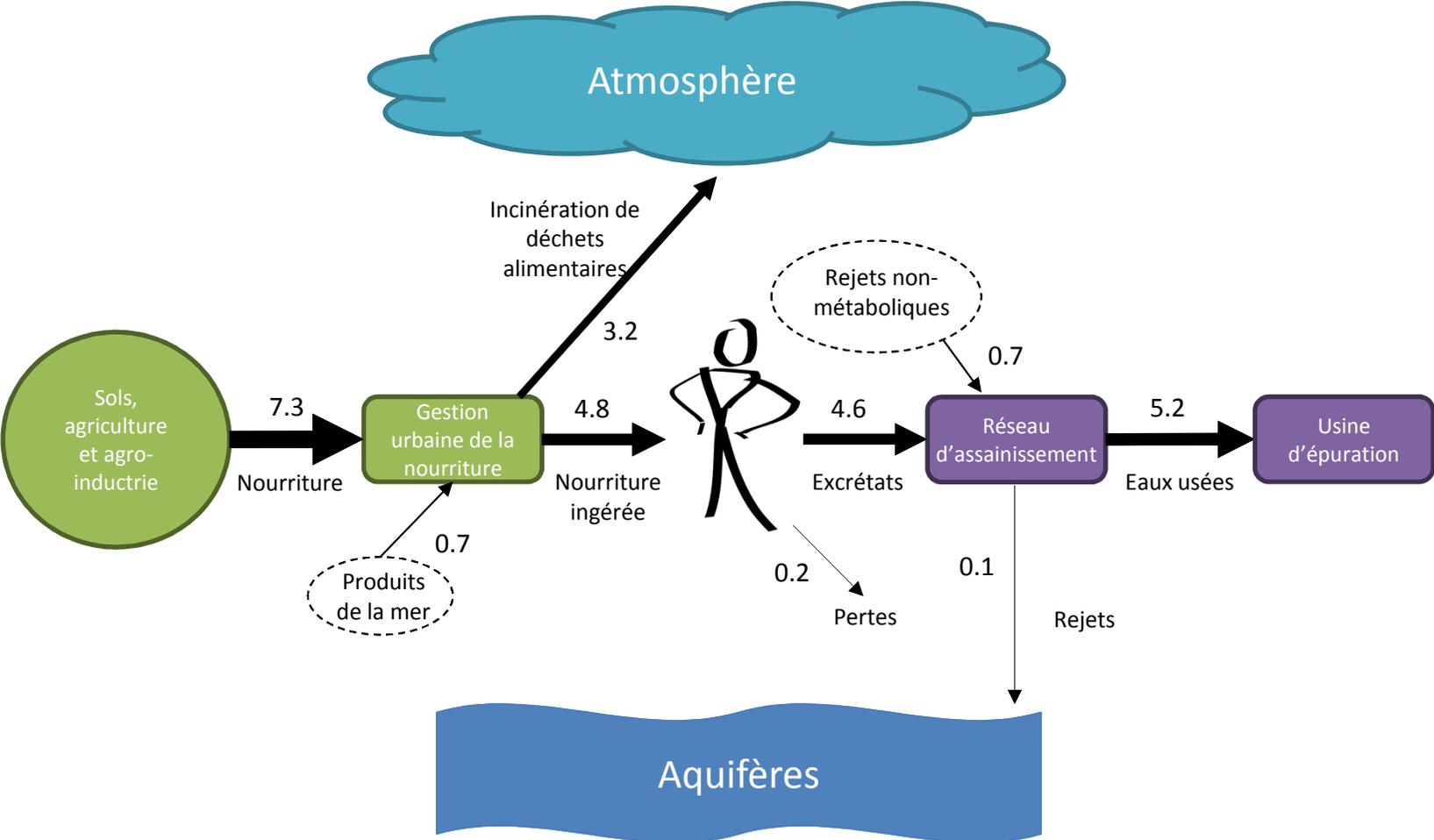
# Flux d'azote liés au métabolisme des Parisiens en 2013 (kgN/pers/an)



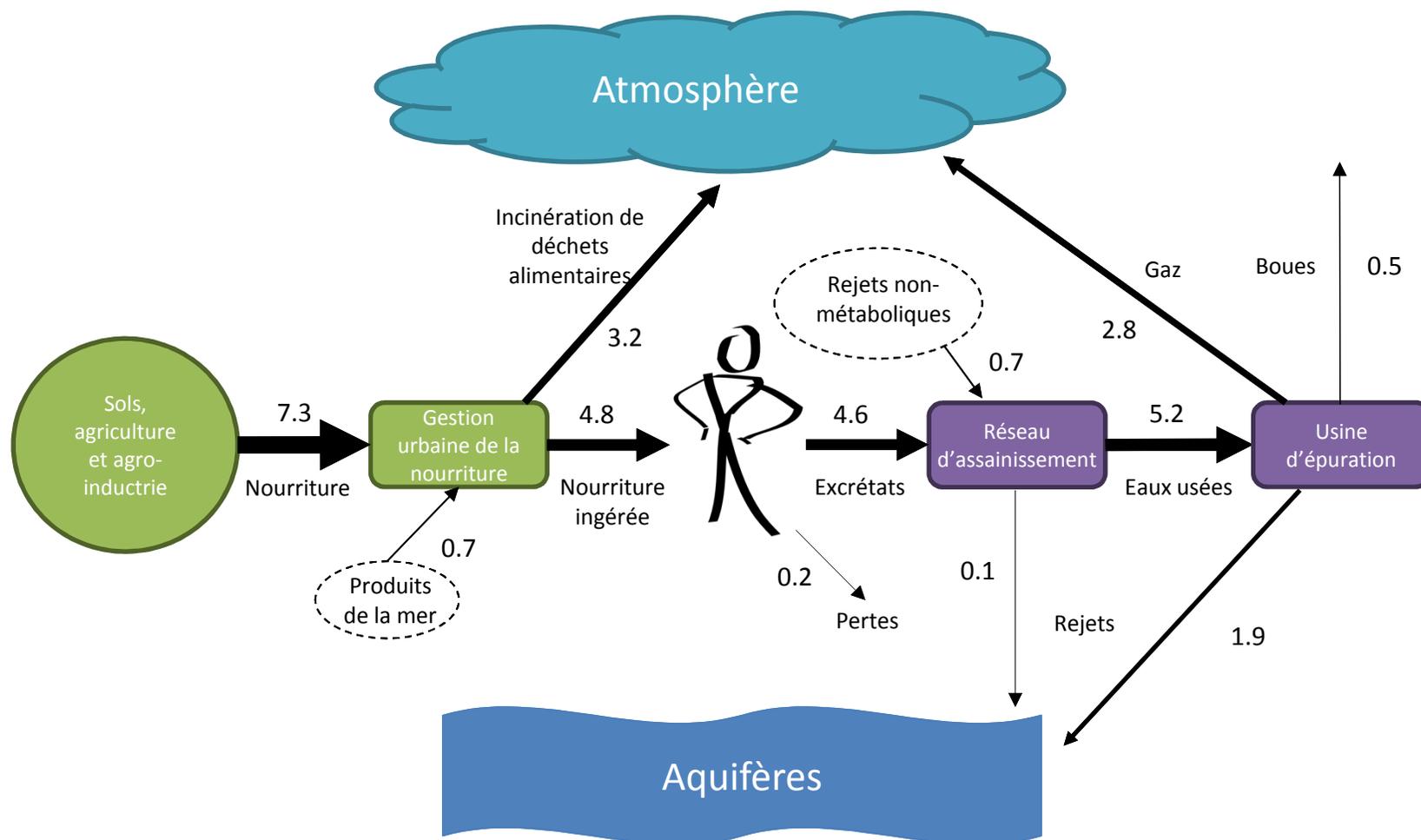
# Flux d'azote liés au métabolisme des Parisiens en 2013 (kgN/pers/an)



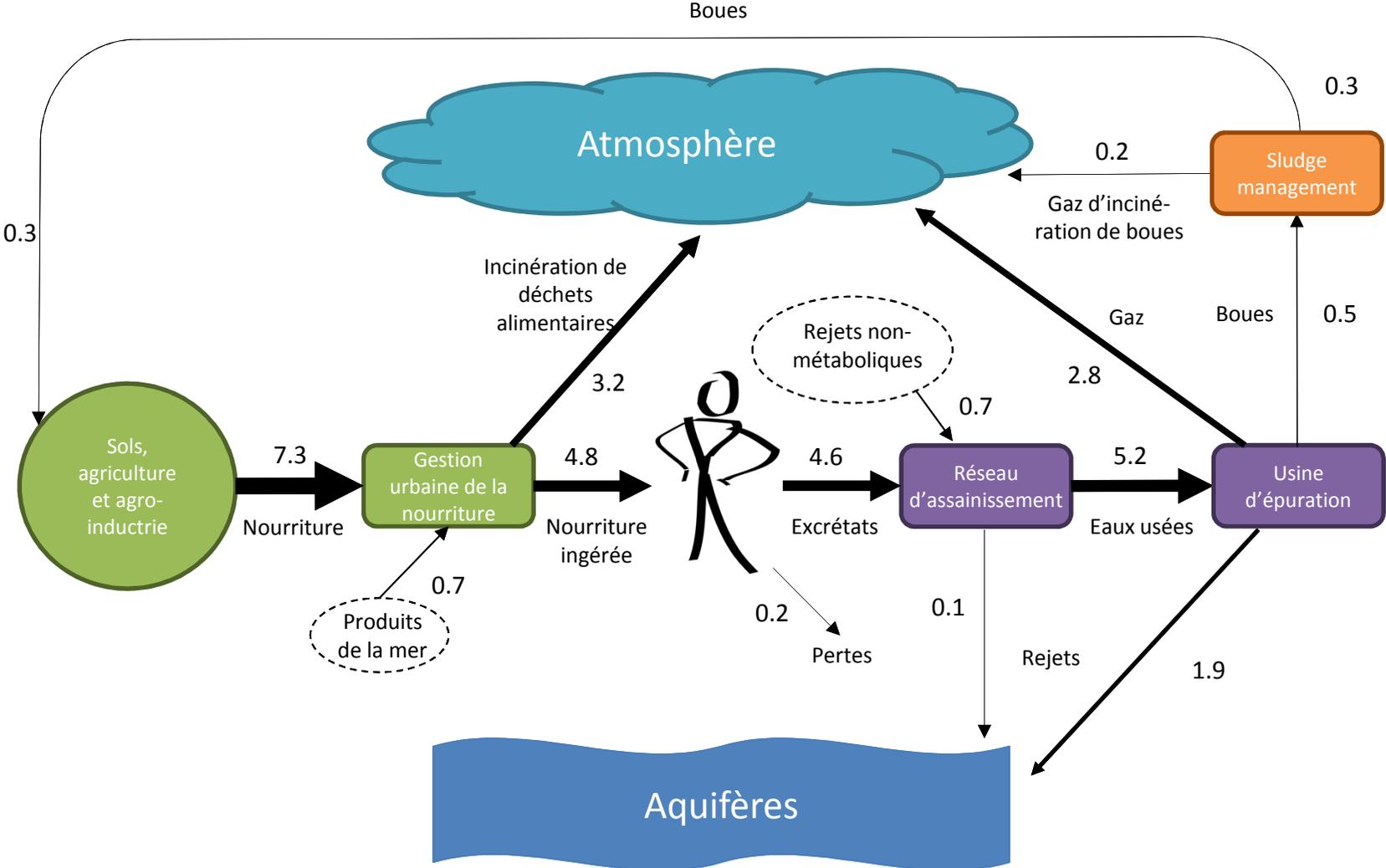
# Flux d'azote liés au métabolisme des Parisiens en 2013 (kgN/pers/an)



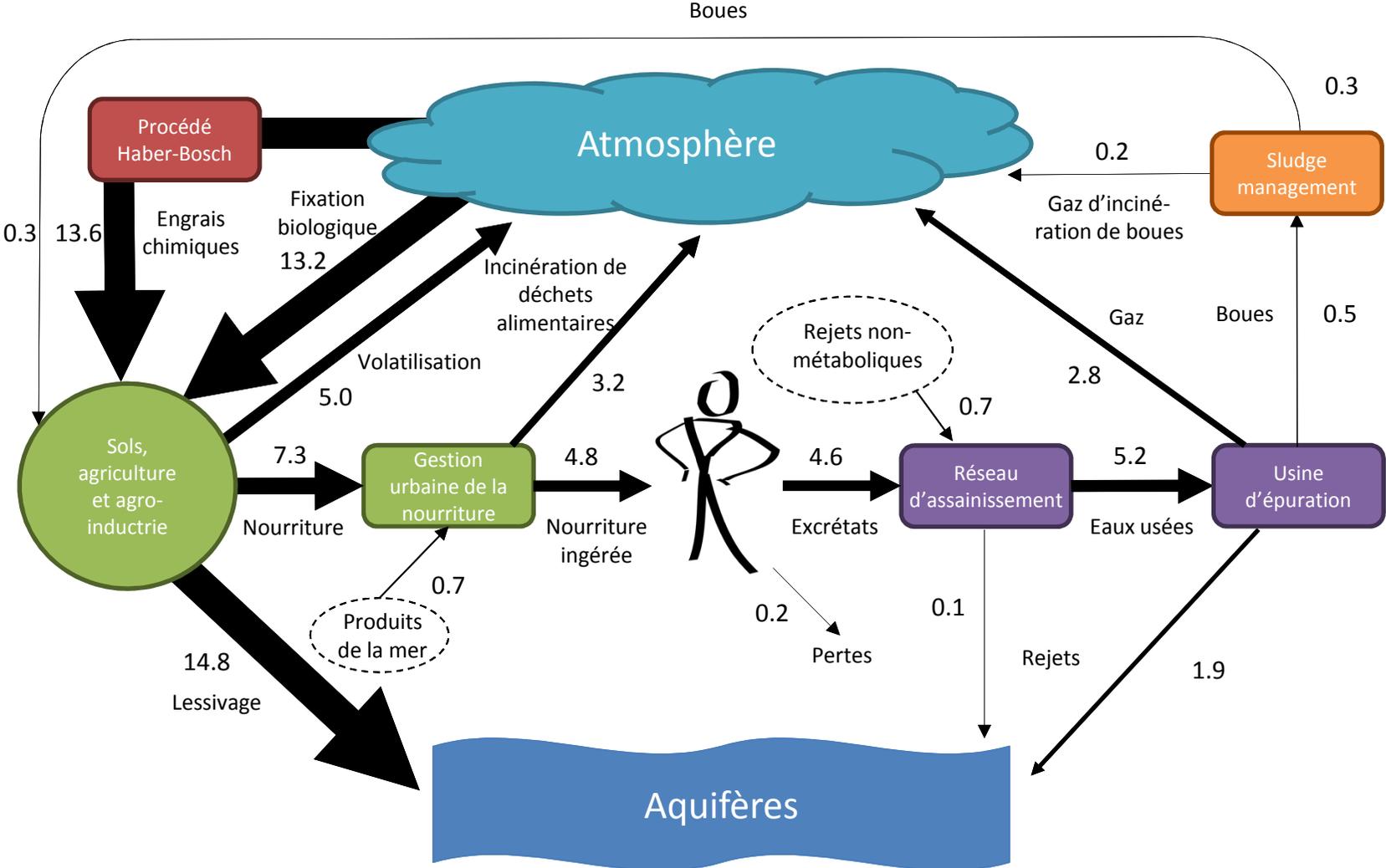
# Flux d'azote liés au métabolisme des Parisiens en 2013 (kgN/pers/an)



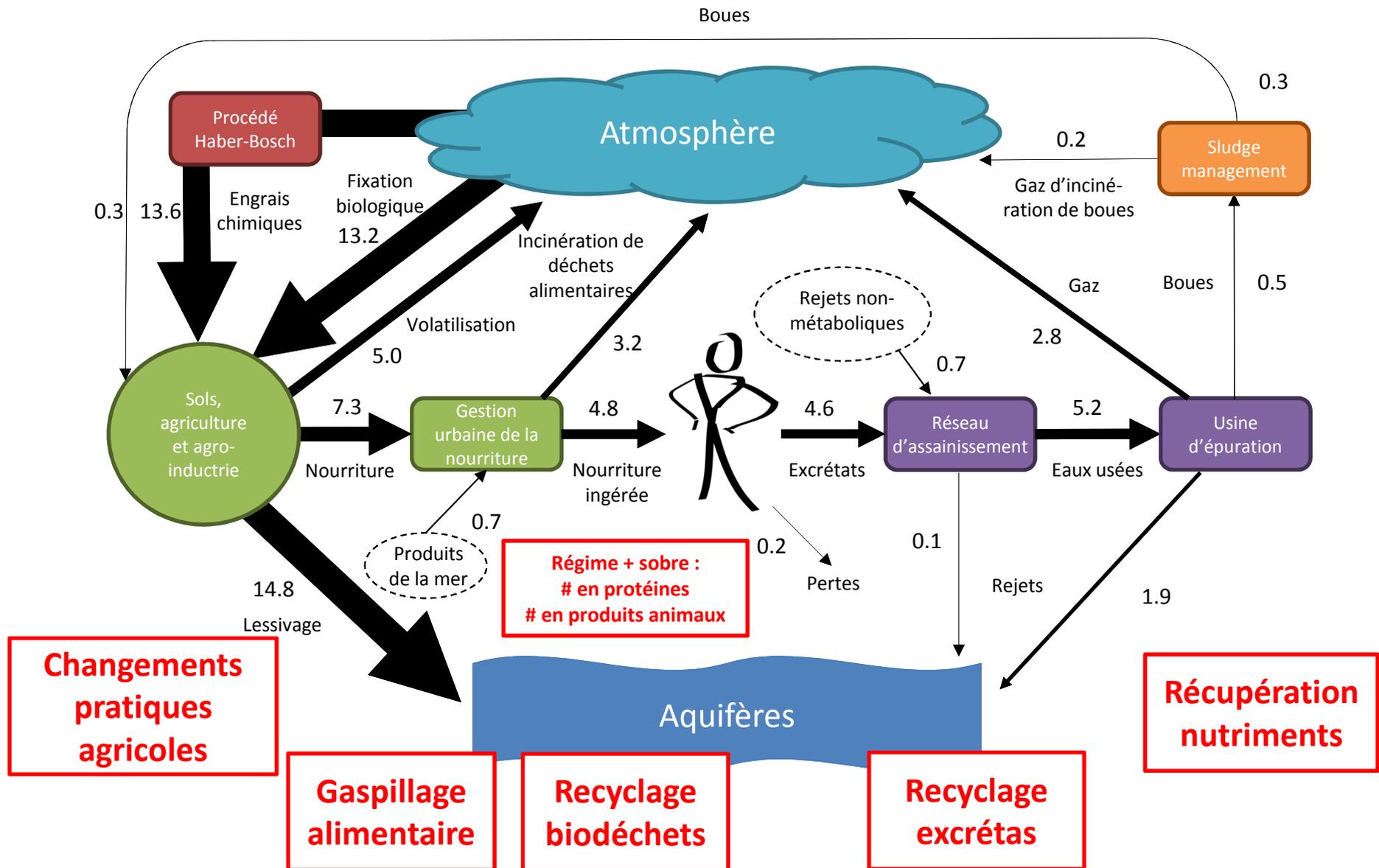
# Flux d'azote liés au métabolisme des Parisiens en 2013 (kgN/pers/an)



# Flux d'azote liés au métabolisme des Parisiens en 2013 (kgN/pers/an)

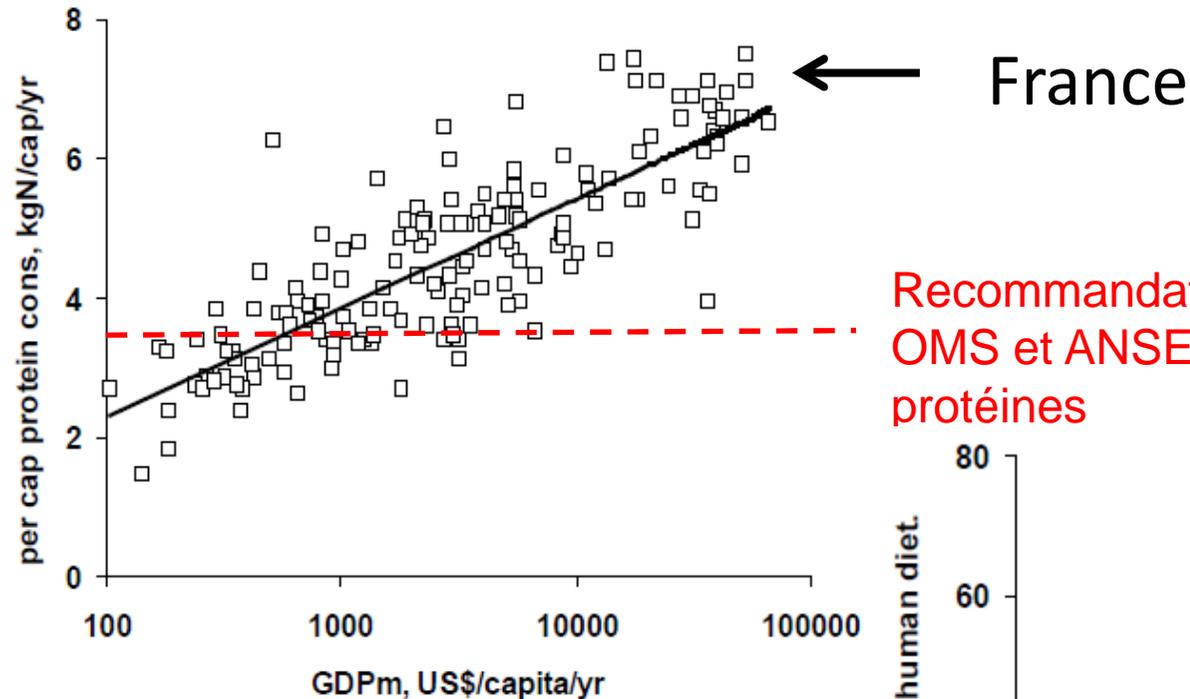


# Flux d'azote liés au métabolisme des Parisiens en 2013 (kgN/pers/an)

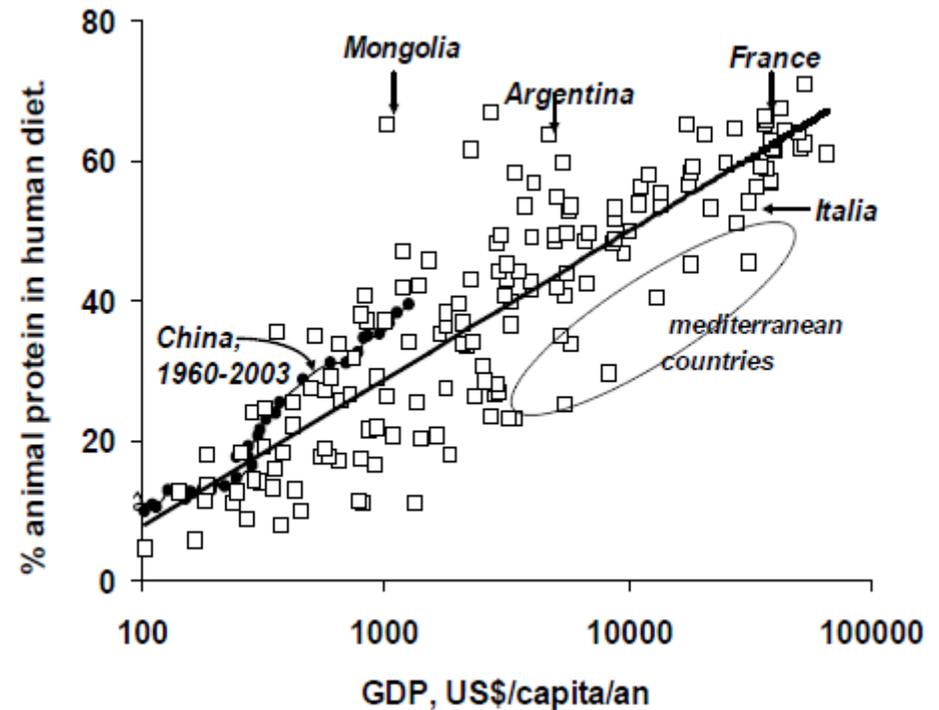


# Bonus discussion

# 1. Sobriété



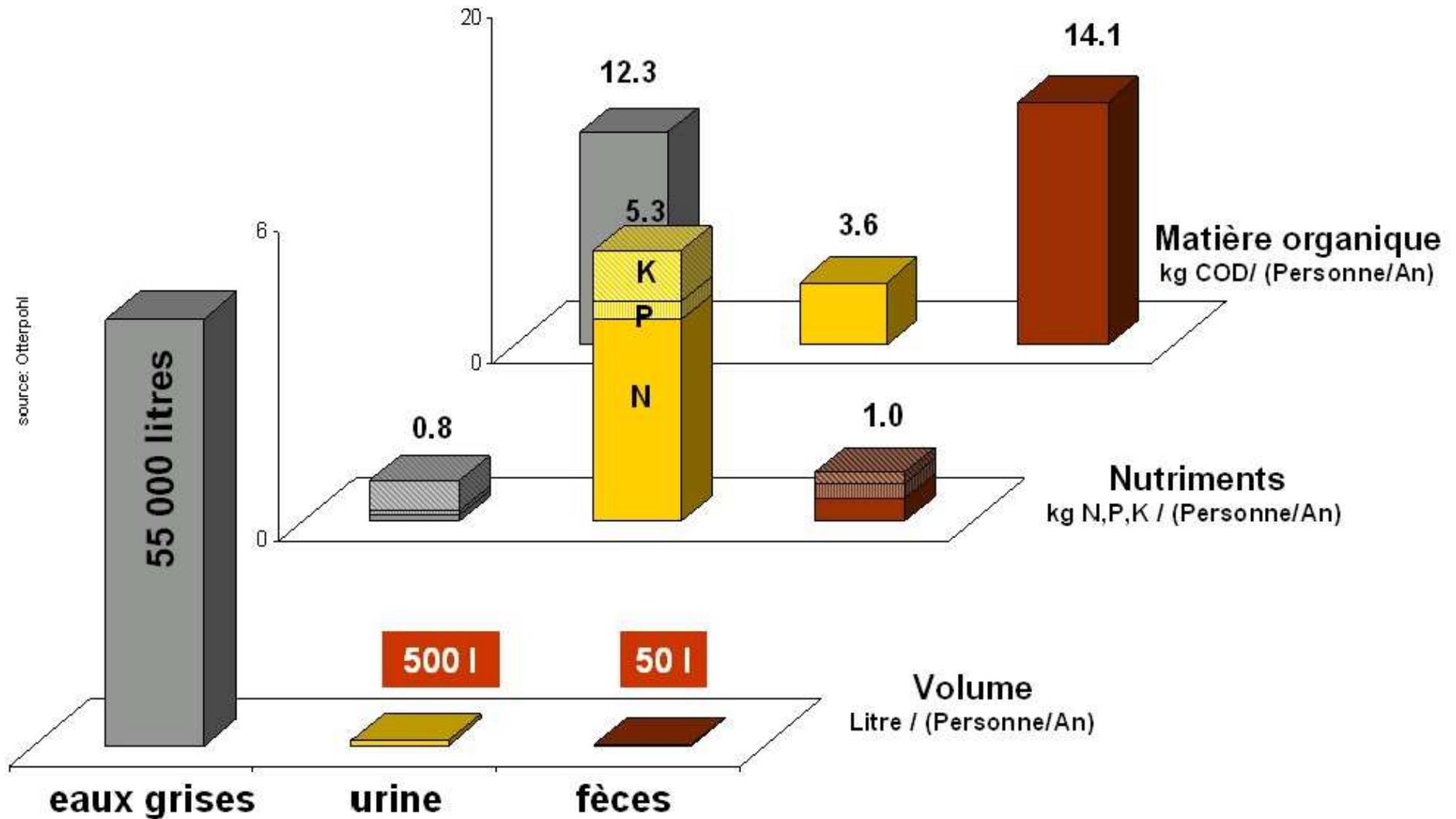
- Limiter les quantités de protéines
- Favoriser les protéines végétales



# La situation aujourd'hui à Paris

	<b>Rendements d'épuration pour la rivière</b>	<b>Valorisation</b>
<b>Carbone</b>	87%	36%
<b>Phosphore</b>	82%	41%
<b>Azote</b>	62%	5%

# Faire du tri à la source !



# Empereur Vespasien (70 ap. JC)



« Atqui e lotio est »

# Paris XIXème siècle



10.000 tonneaux  
de 120 L par jour  
pour 700.000  
habitants

Fosse de Cazeneuve

# Suède : depuis 1990



2006 : (Vinneras, 2013)

- 120.000 toilettes sèches à séparation d'urine
- 15.000 toilettes à eau à séparation d'urine



# Suisse : EAWAG depuis 1996



Rapport VUNA 2015

# Hollande



Hollande - Wetsus



Synthèse de sulfate d'ammonium et de struvite à partir de l'urine (Saniphos)



**« From piss to pilsner »  
Roskilde Festival, Danemark Eté  
2015**



# Allemagne

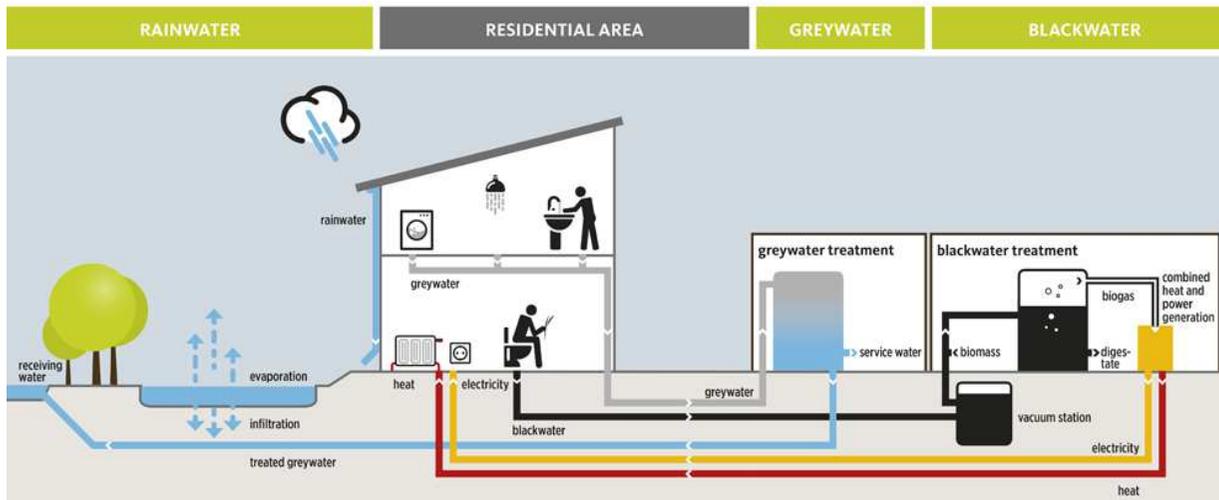
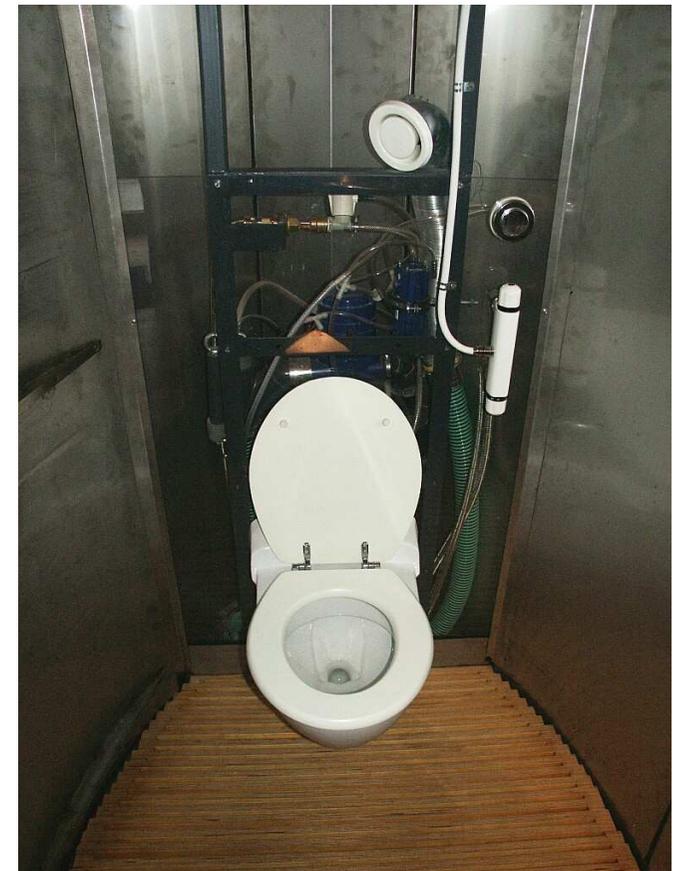
## Quartier Vauban Friburg

Toilettes sous vide puis méthanisation

Allermöhe – Hamburg

Compostage

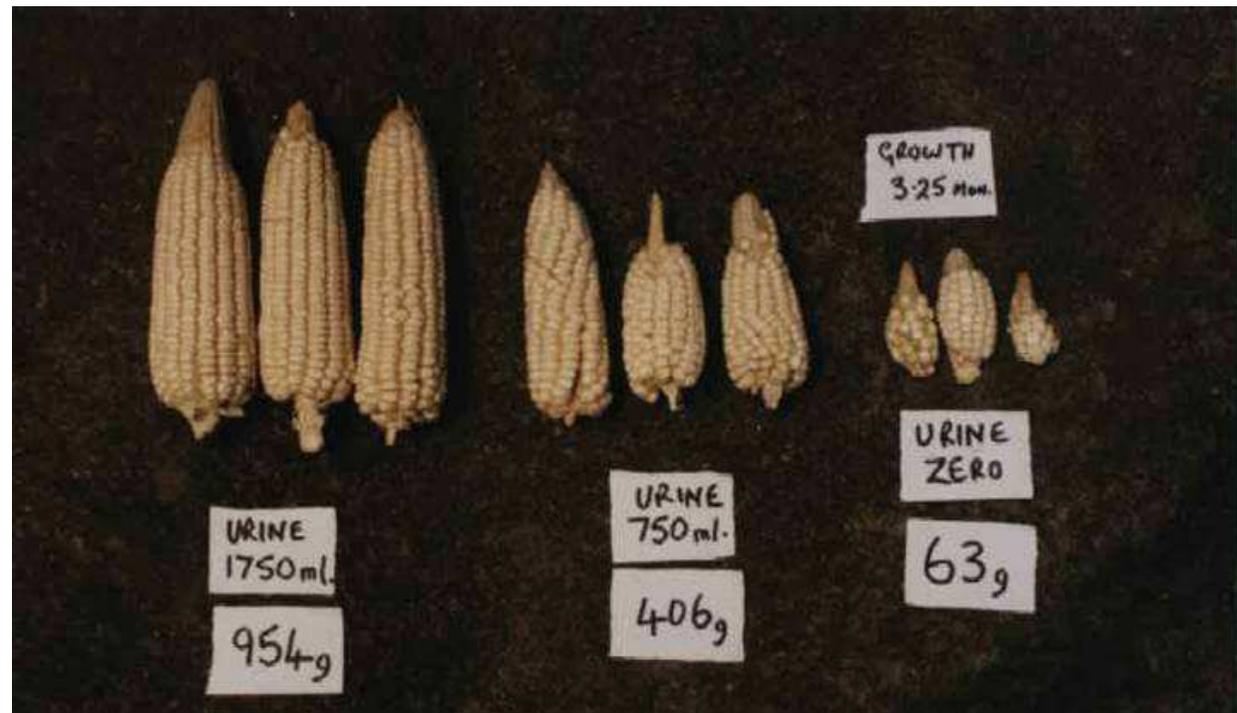
## Jenfelder Au - Hamburg



# Pays non équipés en égouts

- Urine = engrais pas cher !

Une journée  
d'urine donne un  
kilo de nourriture



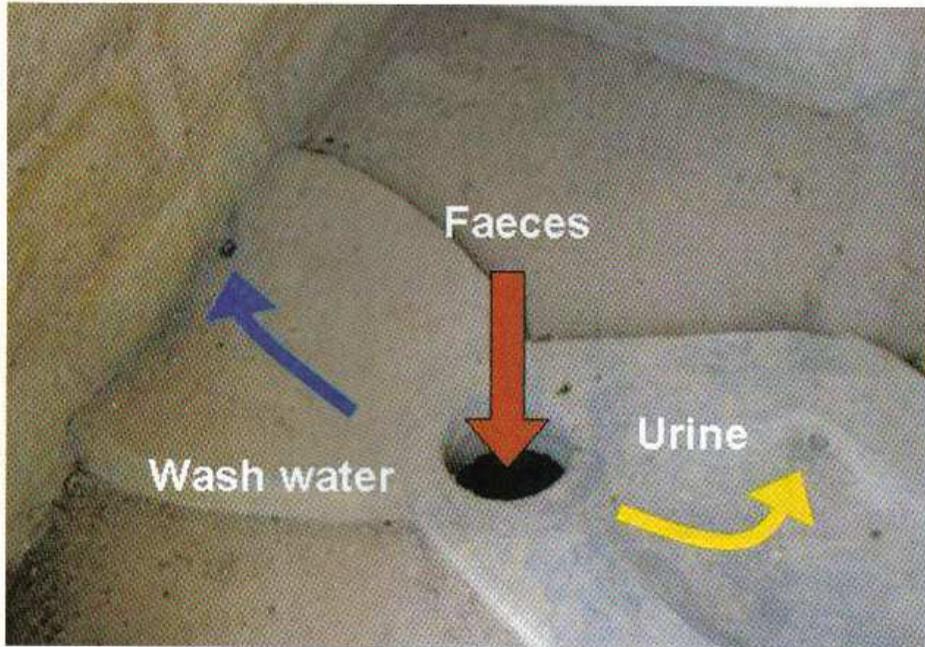
# Bad excreta management = triple penalty !

- Health impact
- Environmental impact



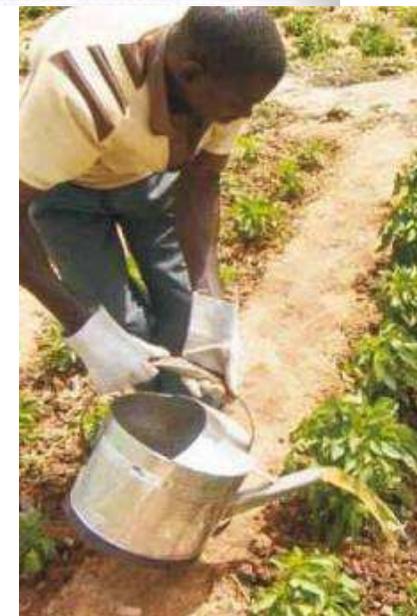
- Agricultural impoverishment

# Exemples en Afrique



Ouaga-  
dougou

Burkina  
Faso



Sweetest Apples Company

Tianshui, Gansu, Chine

天水, 甘肃, 中国



# Chine

Plus de 2 millions de toilettes sèches à séparation d'urine construites entre 2000 et 2010



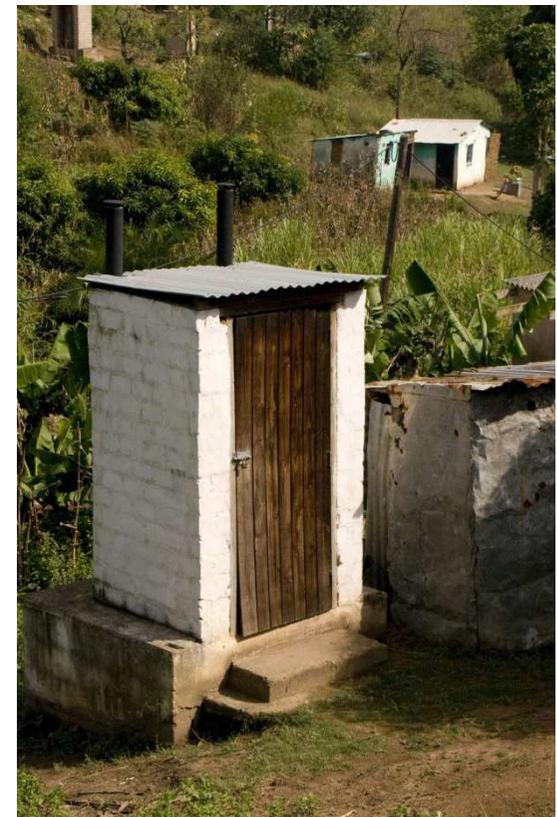
# Kenya

Nairobi : bio-centre pour production de biogaz



# Afrique du Sud

90.000 toilettes sèches à séparation d'urine en périphérie d'eThekwinini



Thermal compost chambers (each 6 m<sup>3</sup>) in onsite plant at Erdos – 35 day cycle that reaches 55-60°C.

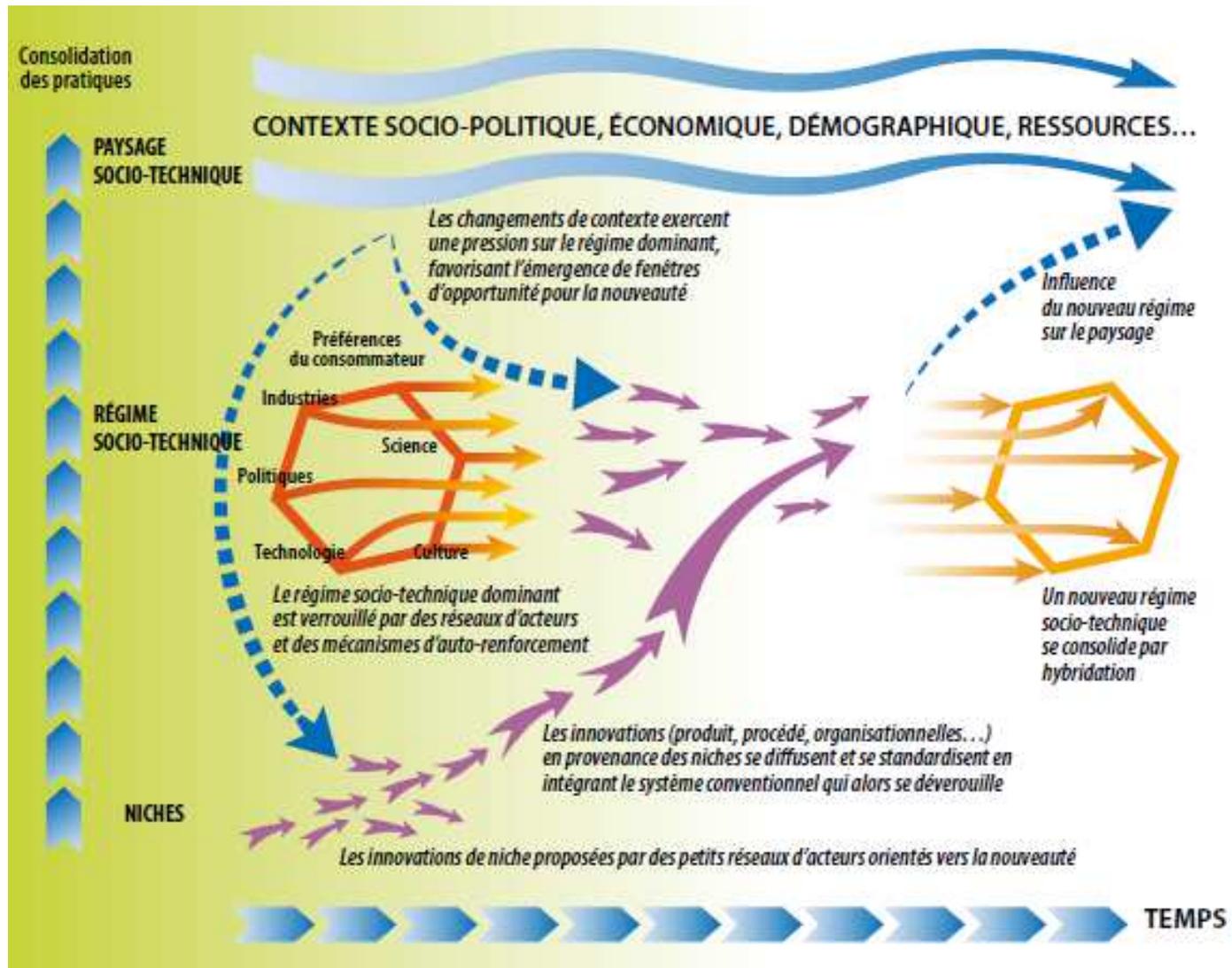
# Des modèles pour tous les goûts



Urinoir féminin



# La principale difficulté en France : un système socio-technique verrouillé



# Des verrouillages à tous les niveaux

- Juridique
- Economique
- Culturel
- Sanitaire
- Scientifique
- Technologique
- Politique
- Etc.



# Lancement de projets pilotes

- Réseau assainissement écologique (RAE)
- Projet SMS
- Projet de collecte d'urine dans un futur bâtiment d'exploitation d'Achères

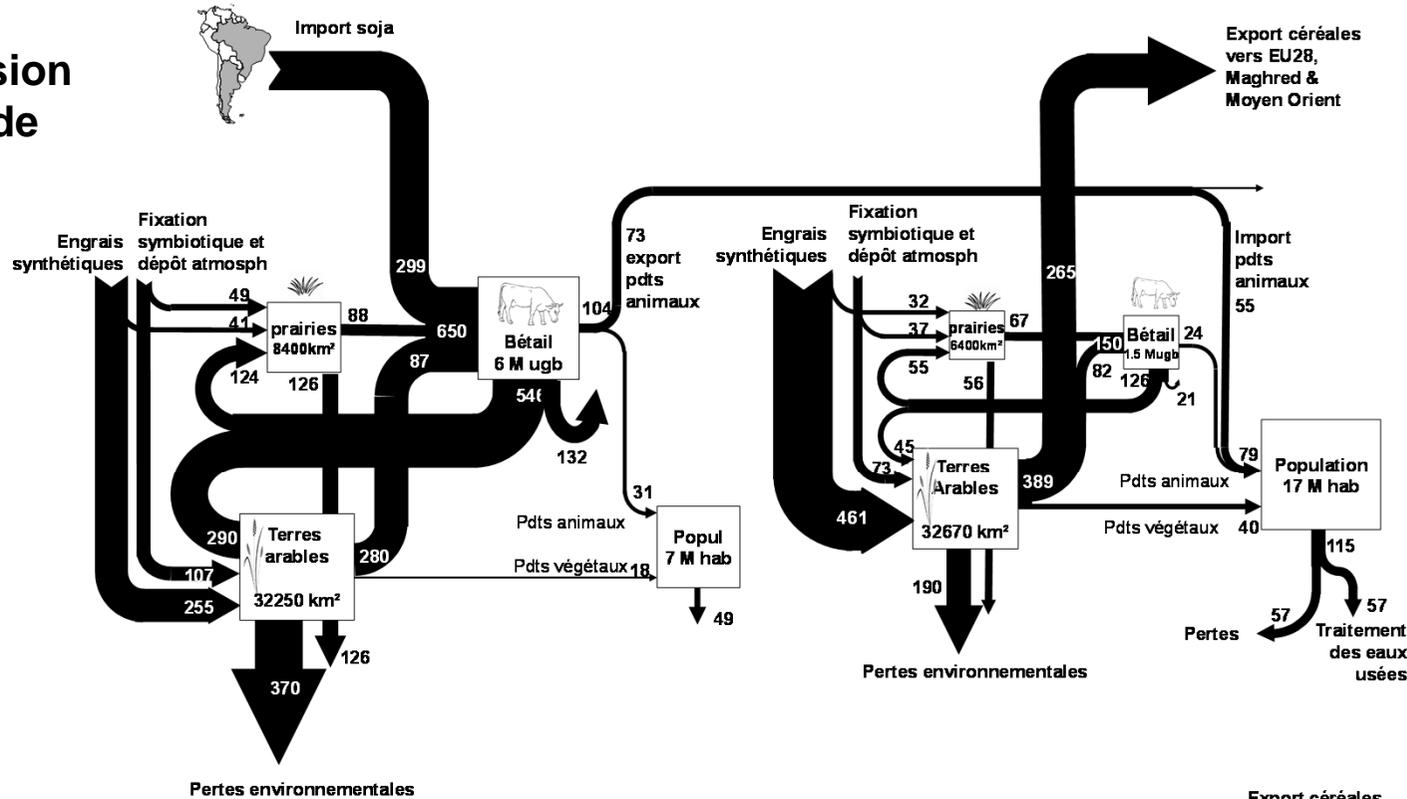
**INSA**  
TOULOUSE

Exemple de  
verrouillage :

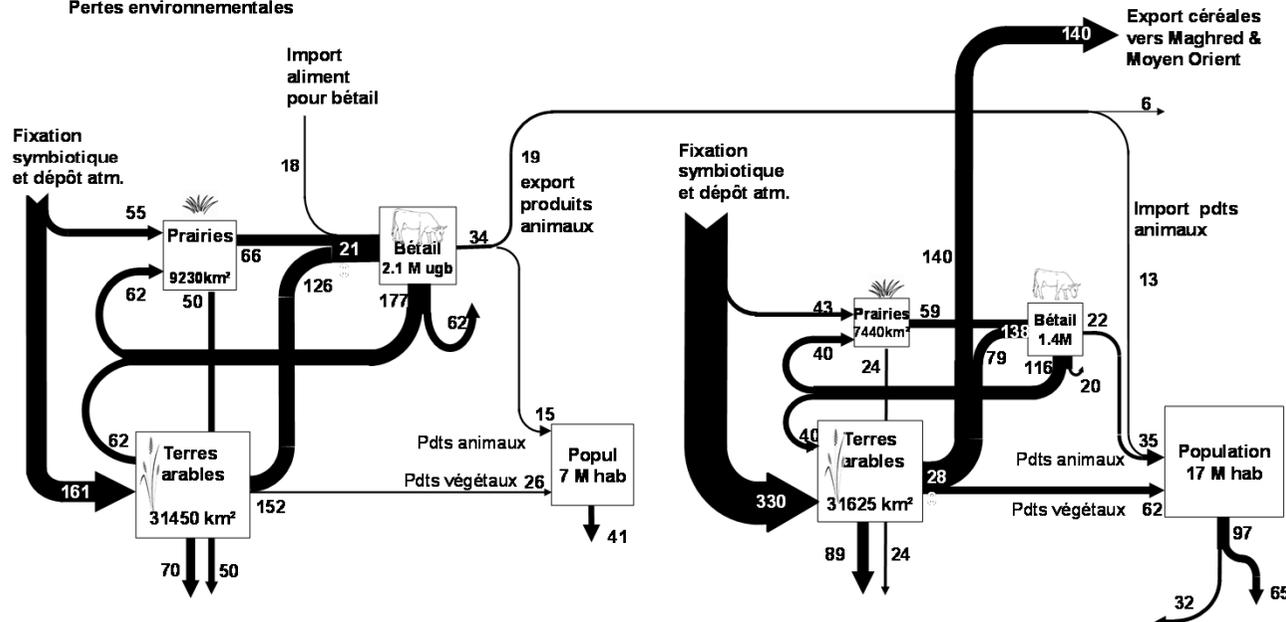


**SIAAP**  
Service public de l'assainissement francilien

# Approvisionnement de Paris en 2006



# Scénario Bio-Local-demitarien



# Quelques références

- Billen, Gilles, Josette Garnier, Vincent Thieu, et et al. *La cascade de l'azote dans le bassin de la Seine: comprendre les processus pour inverser les tendances*. Nanterre: Agence de l'eau Seine-Normandie, 2011.
  - Dont description du scénario bio-local-demitarien : <http://www.sisyphes.upmc.fr/piren/?q=book/1335>
- Site internet N-print : <http://www.n-print.org>
- Site internet assainissement : <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>
- Practical Guidance on the Use of Urine in Crop Production:
  - En français : [http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/EcoRanRes\\_Urine\\_Guide\\_FRENCH\\_111026.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/EcoRanRes_Urine_Guide_FRENCH_111026.pdf)