



# Qu'est ce que la cascade de l'azote? Conséquences sur notre vision du cycle de l'azote

*Pierre CELLIER*

UMR INRA-AgroParisTech  
"Environnement et Grandes Cultures"  
Grignon



# The Nitrogen Cascade

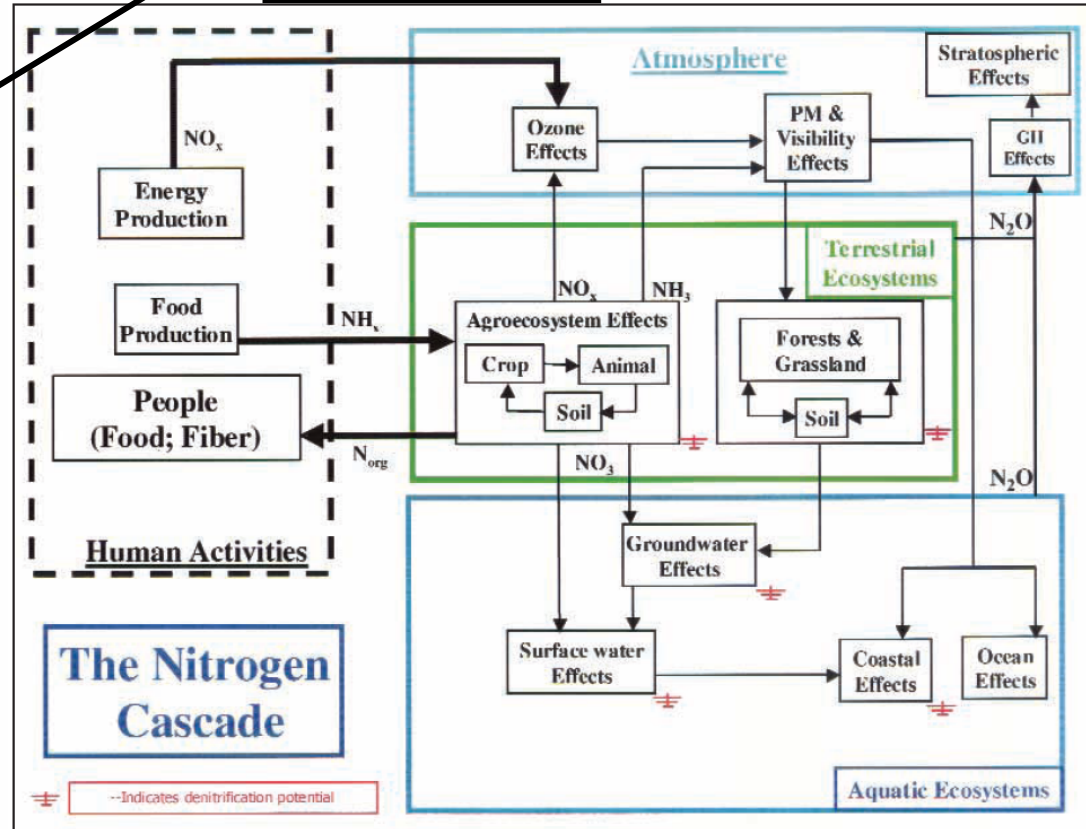
Azote réactif

Impacts

Milieux

JAMES N. GALLOWAY, JOHN D. ABER, JAN WILLEM ERISMAN, SYBIL P. SEITZINGER, ROBERT W. HOWARTH, ELLIS B. COWLING, AND B. JACK COSBY

This article focuses on the multiple linkages among the ecological and human health effects of Nr molecules as they move from one environmental system to another. This phenomenon is called the N cascade (Galloway 1998), which we define as the sequential transfer of Nr through environmental systems and which results in environmental changes as Nr moves through or is temporarily stored within each system.



Transferts



MENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

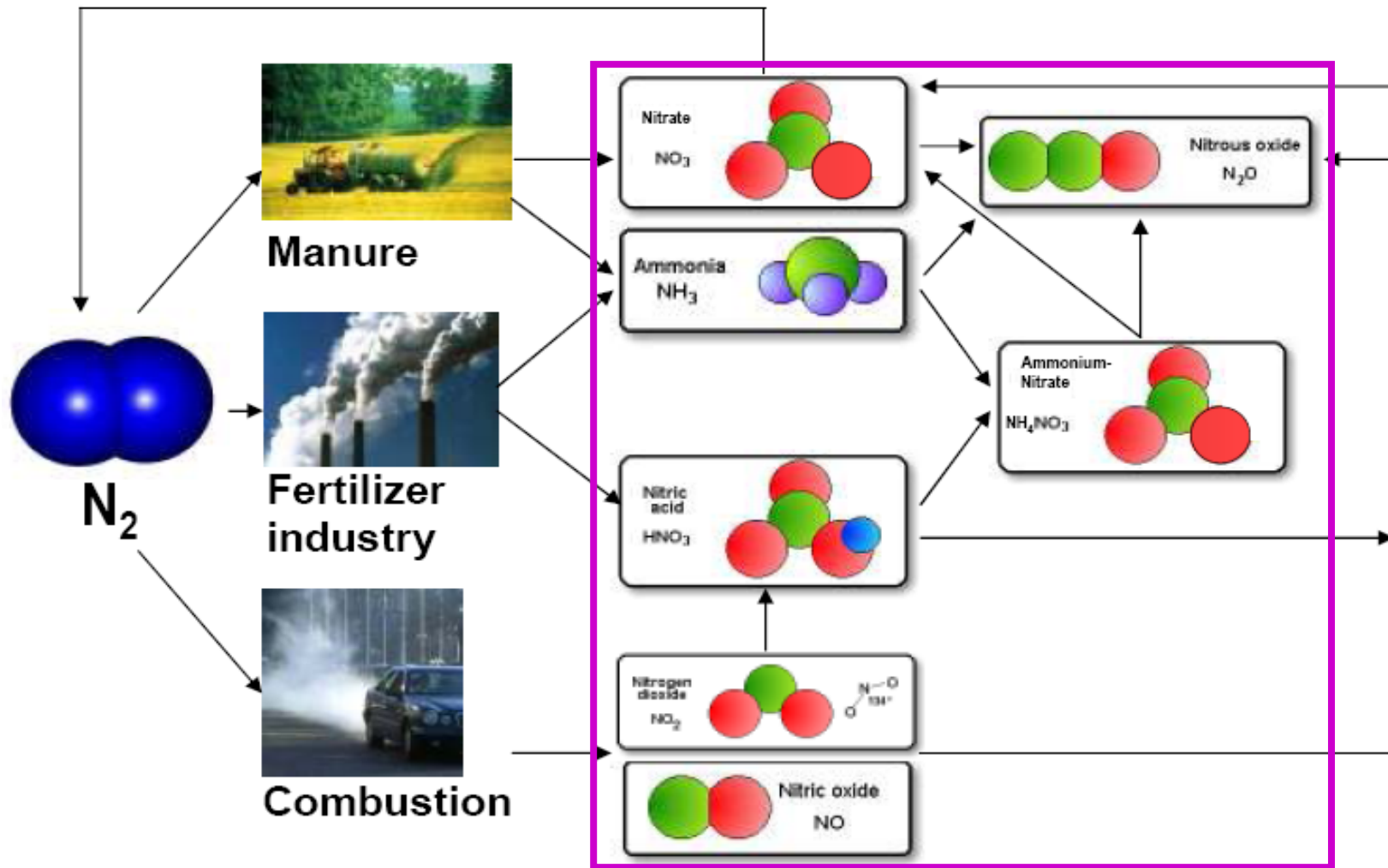


# Plan

- L'azote réactif: origine et évolution récente
- Les impacts de l'azote
- Quelques éléments sur les processus
- La cascade de l'azote à l'échelle du paysage



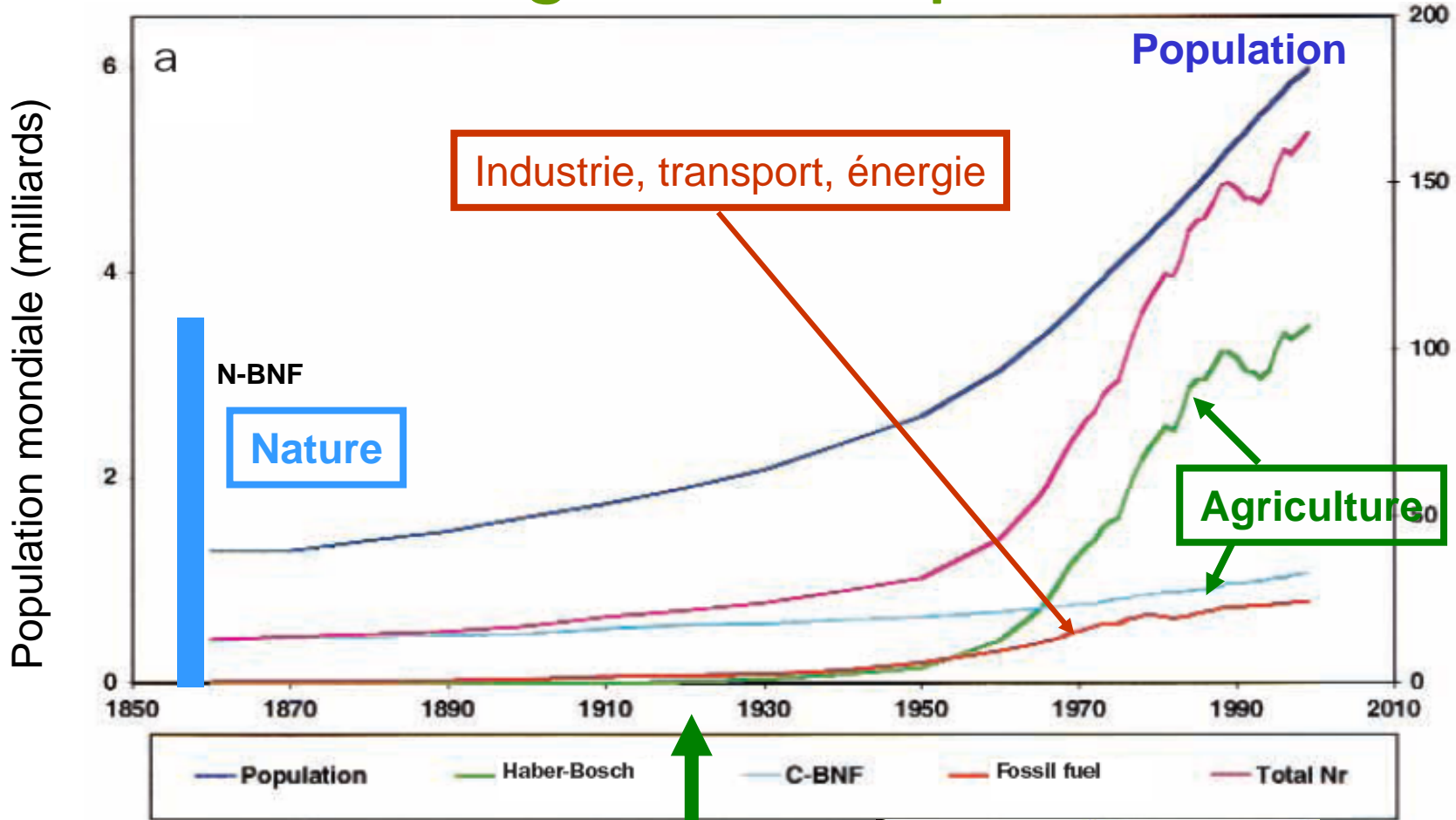
# L'azote dit « réactif » recouvre différentes formes d'azote



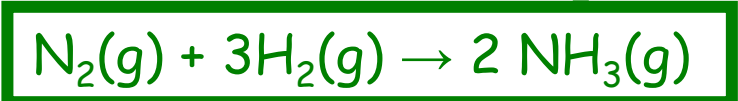
Formes réactives  
d'azote  
(+ N organique)

d'après J.W. Erisman, ECN, NL

# La production d'azote réactif a fortement augmenté depuis un siècle



Production d'azote réactif (Tg = Mtonnes)



Carl Bosch Fritz Haber

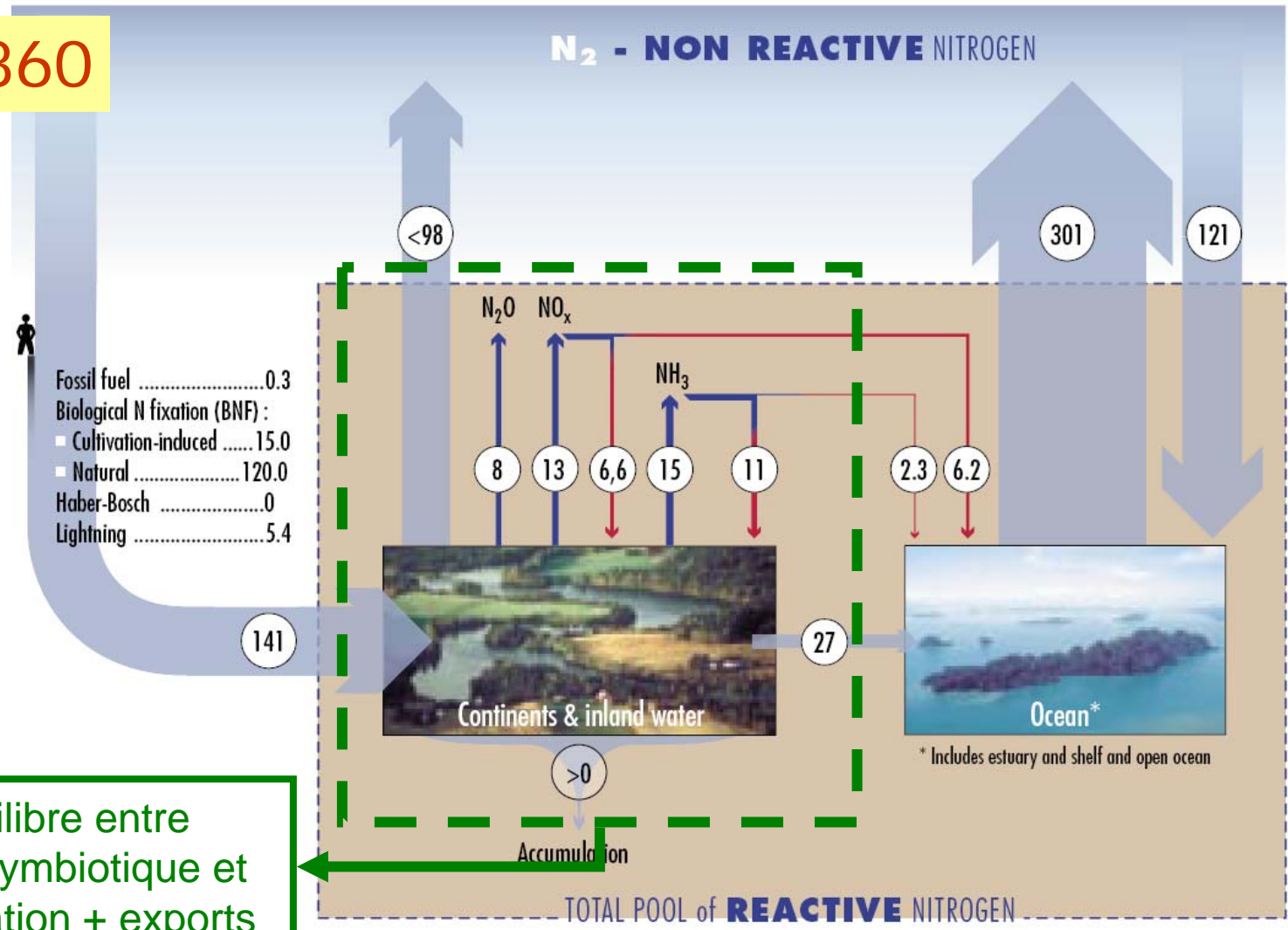


d'après Galloway et al. (2003) et J.W. Erisman (2006)

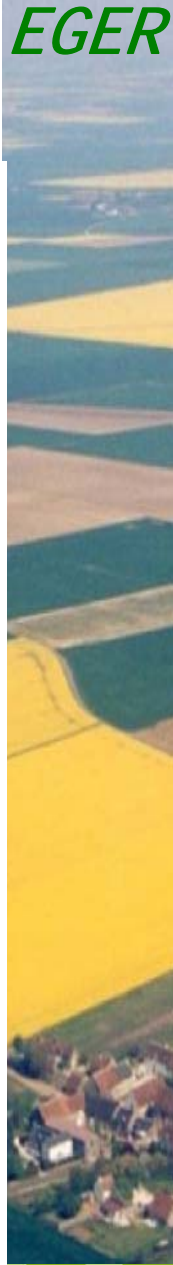


# Le bilan global de l'azote

En 1860



± équilibre entre fixation symbiotique et dénitrification + exports



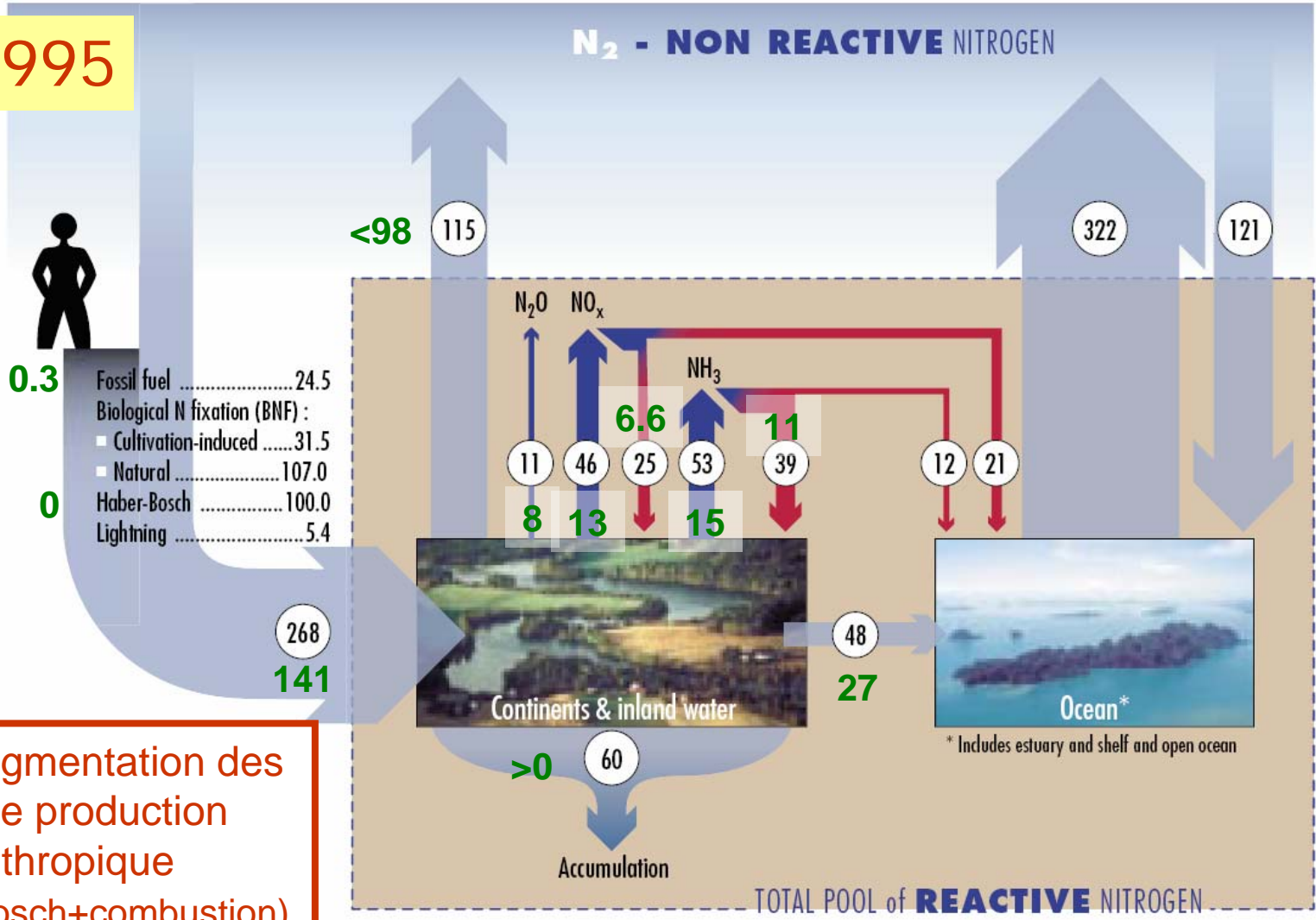
ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Le bilan global de l'azote

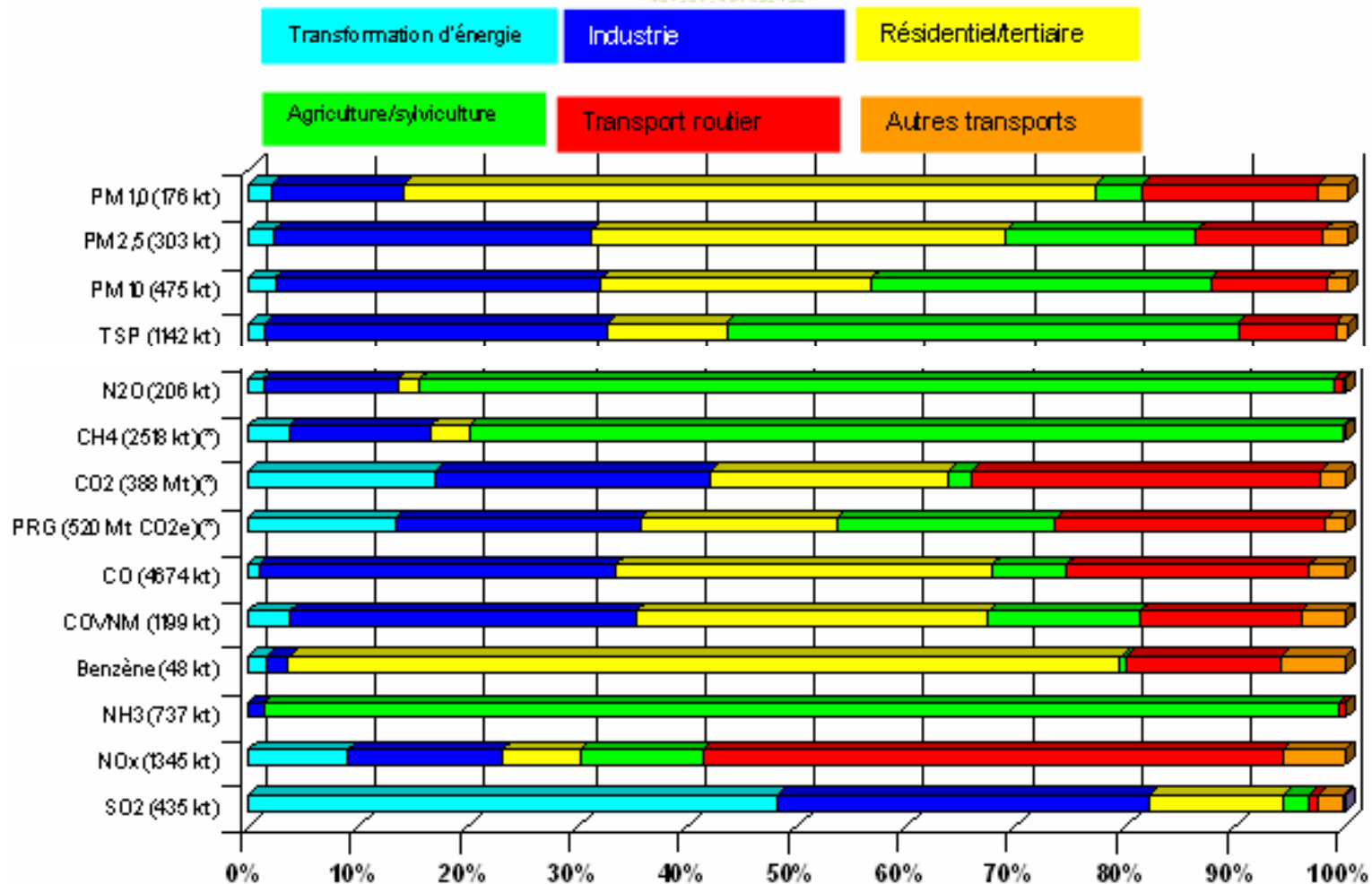
**En 1995**

(chiffres en vert = valeurs de 1860)



**Forte augmentation des flux de production anthropique (Haber-Bosch+combustion) et des transferts entre milieux**

# Di stri buti on sectori el le des émi ssi ons en France métropo li tai ne en 2007



PCB = polychlorobiphényles

PCDD/F = dioxines et furannes

COVNM = composés organiques volatils non méthaniques

HAP = hydrocarbures aromatiques polycycliques (somme des HAP tels que définis par la CEE-NU : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indeno(1,2,3)pyrène)

UTCf = Utilisation des Terres, leur Changement et la Forêt

(\*) hors UTCf





# Quels impacts sur notre environnement et la santé humaine?

- Qualité des eaux: nitrates, azote organique
- Qualité de l'air: particules, ozone
- Effet de serre:  $N_2O$ , particules, ozone, stockage de carbone, ...
- Biodiversité
- Sols: biodiversité, acidification



# Effet des apports atmosphériques d'azote sur les milieux naturels

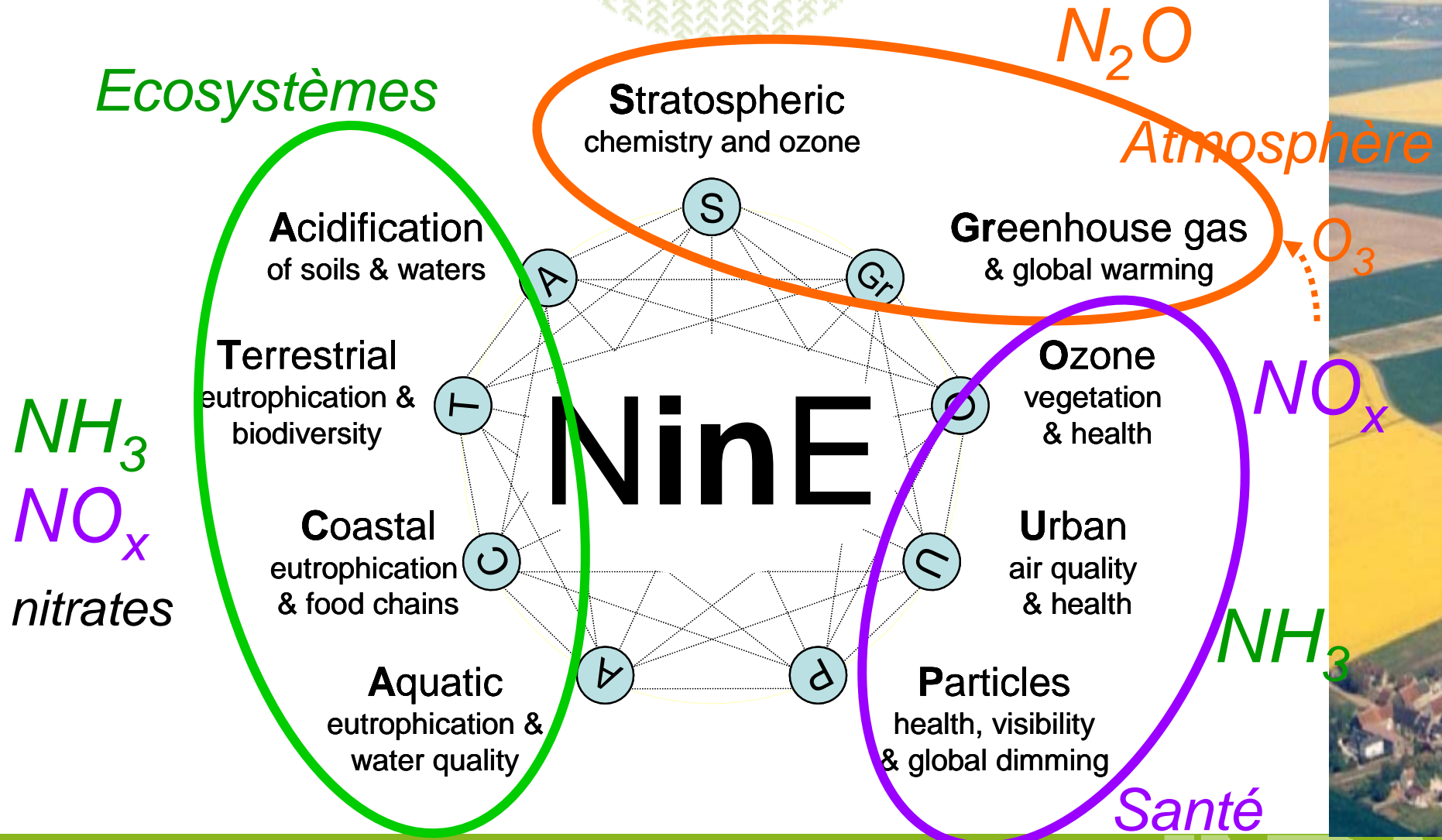


**Sous-bois des forêts suédoises**

+15 kgN/ha/an



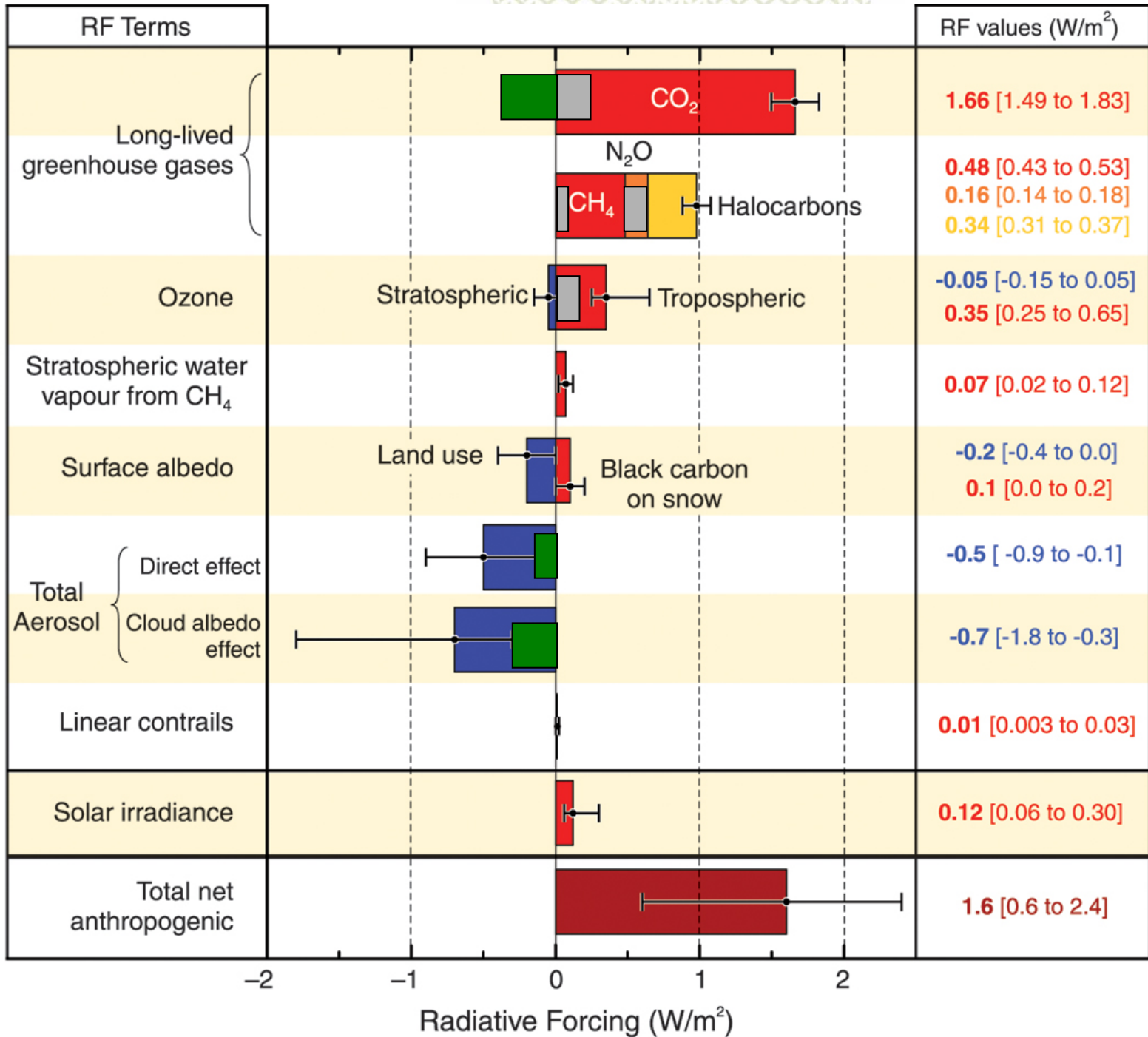
# Une diversité d'impacts



NinE = Nitrogen in Europe, projet de l'European Science Foundation; (actuellement, préparation de l'European Nitrogen Assessment)



# Azote et effet de serre



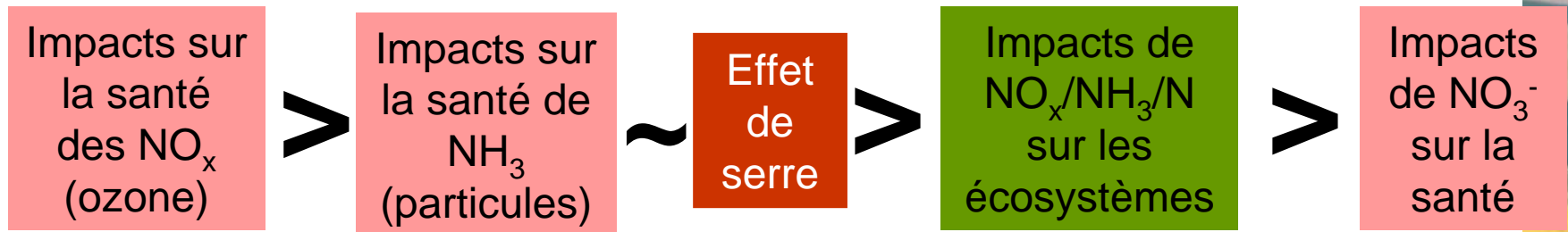
## Pour résumer ...

- La multiplicité des formes de l'azote induit une diversité de modalités d'impacts
- Atteintes aux différents milieux: eau ( $\text{NO}_3^-$ , DON), air ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , particules, ...), sols
- Différentes cibles: écosystèmes aquatiques, écosystèmes terrestres, qualité de l'air (→ santé humaine), atmosphère globale (stratosphère, effet de serre)



# Mais aussi ...

- Des coûts importants, et peut-être inattendus:

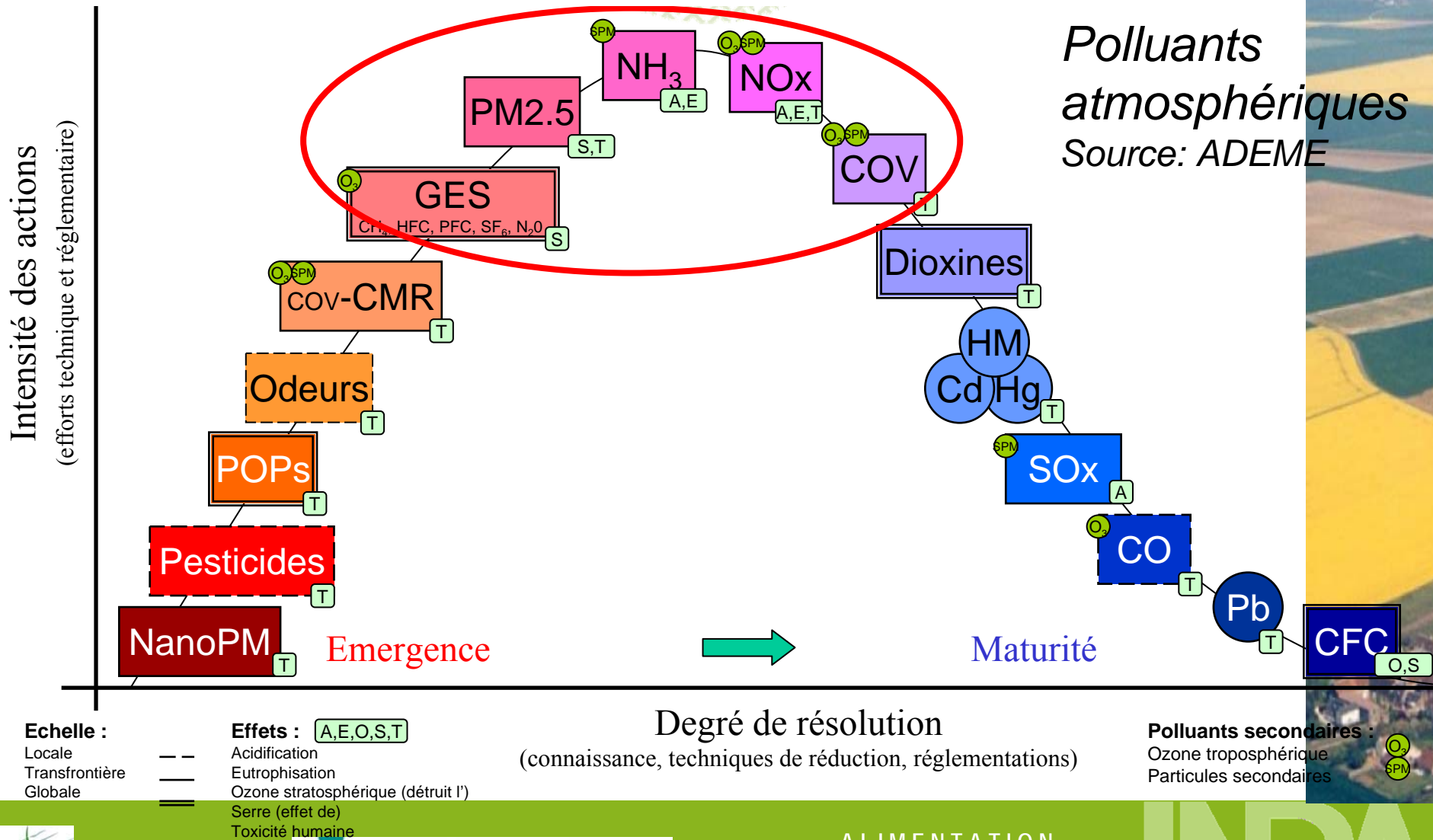


75% des coûts pour l'UE27

(d'après van Grinsvend et al., 2011, ENA chapter 22)

→ *Orientations futures des politiques publiques?*

# L'azote est devenu une priorité pour de multiples raisons



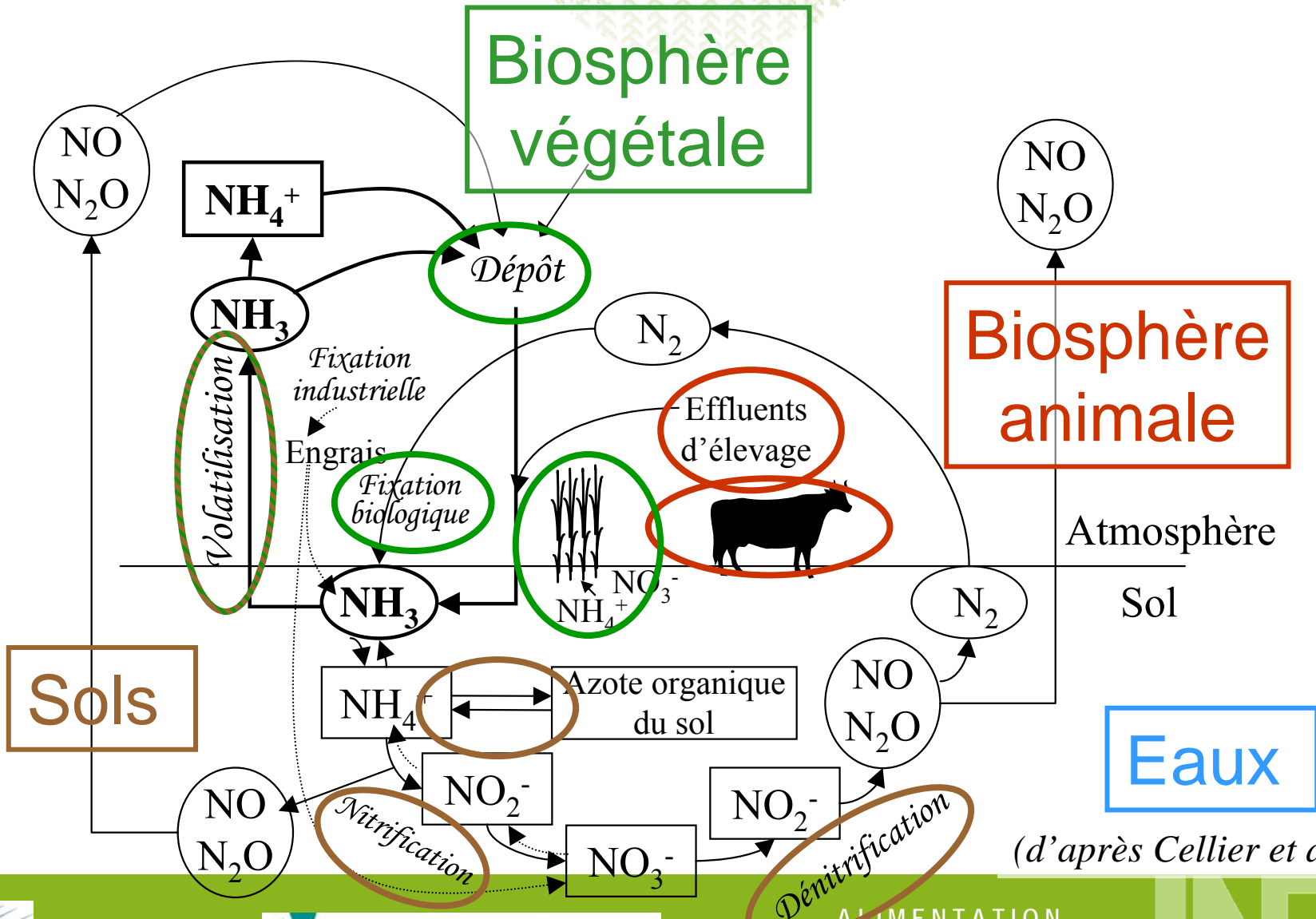
# Processus de production et transformation de l'azote

- Procédé Haber-Bosch:  $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2 NH_3$
- Combustion :  $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$  (et autres produits de combustion)
- Processus biologiques: volatilisation  $NH_3$ , nitrification, dénitrification, organisation/minéralisation, fixation symbiotique, métabolisme de la plante, ...





# Un rôle essentiel de la biosphère



(d'après Cellier et al., 1997)



ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Processus de production et transformation de l'azote

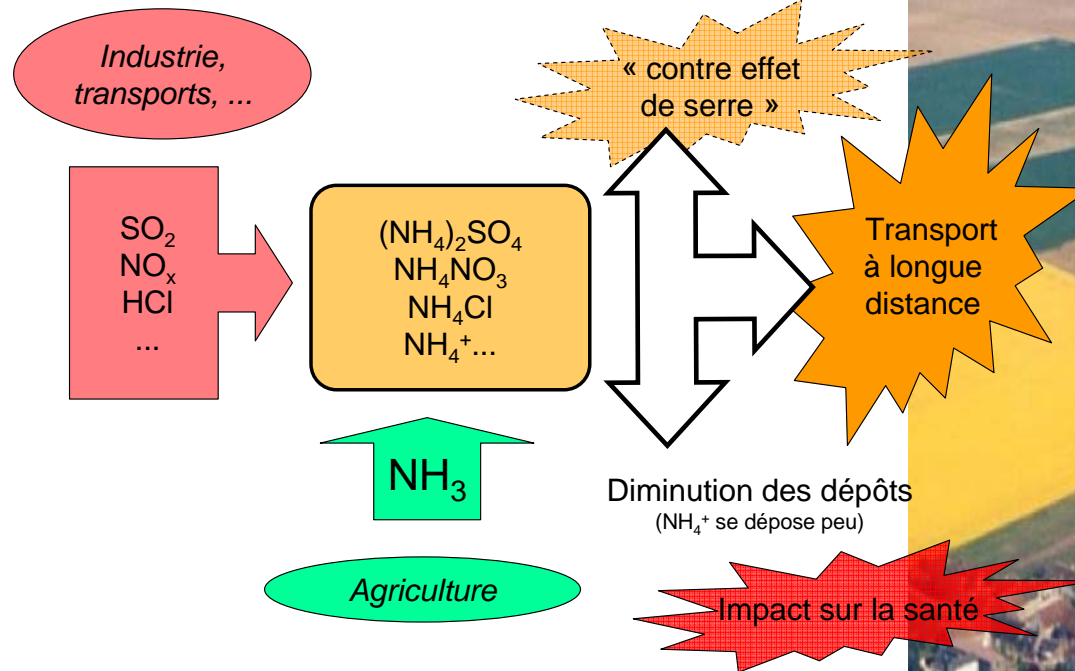
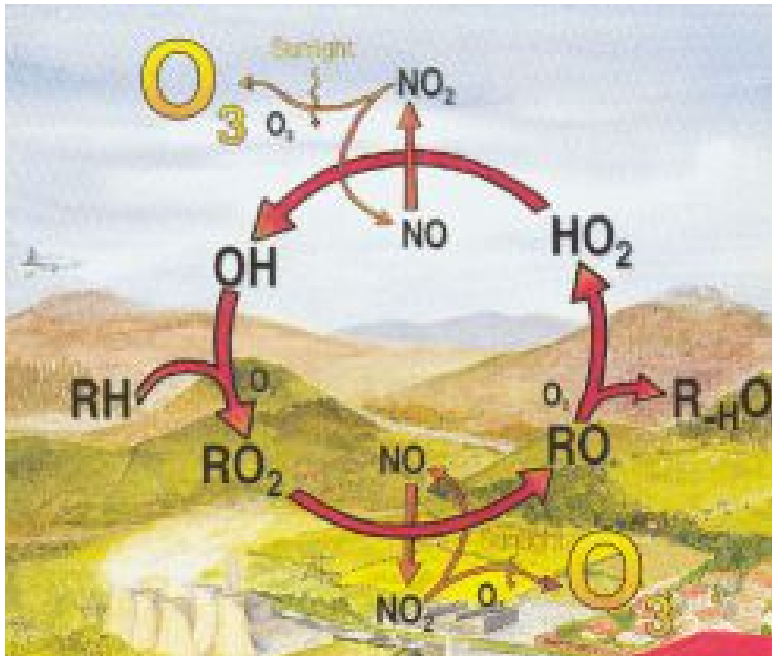
- Procédé Haber-Bosch:  $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2 NH_3$
- Combustion :  $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$  (et autres produits de combustion)
- Processus biologiques: volatilisation  $NH_3$ , nitrification, dénitrification, organisation/minéralisation, fixation symbiotique, métabolisme de la plante, ...
- Processus atmosphériques: réactivité  $NO_x/O_3$ , formation d'aérosols, dépôts d'azote, stratosphère
- Processus hydrologiques dans le sol/sous-sol et les cours d'eau



# Transformations atmosphériques de l'azote réactif

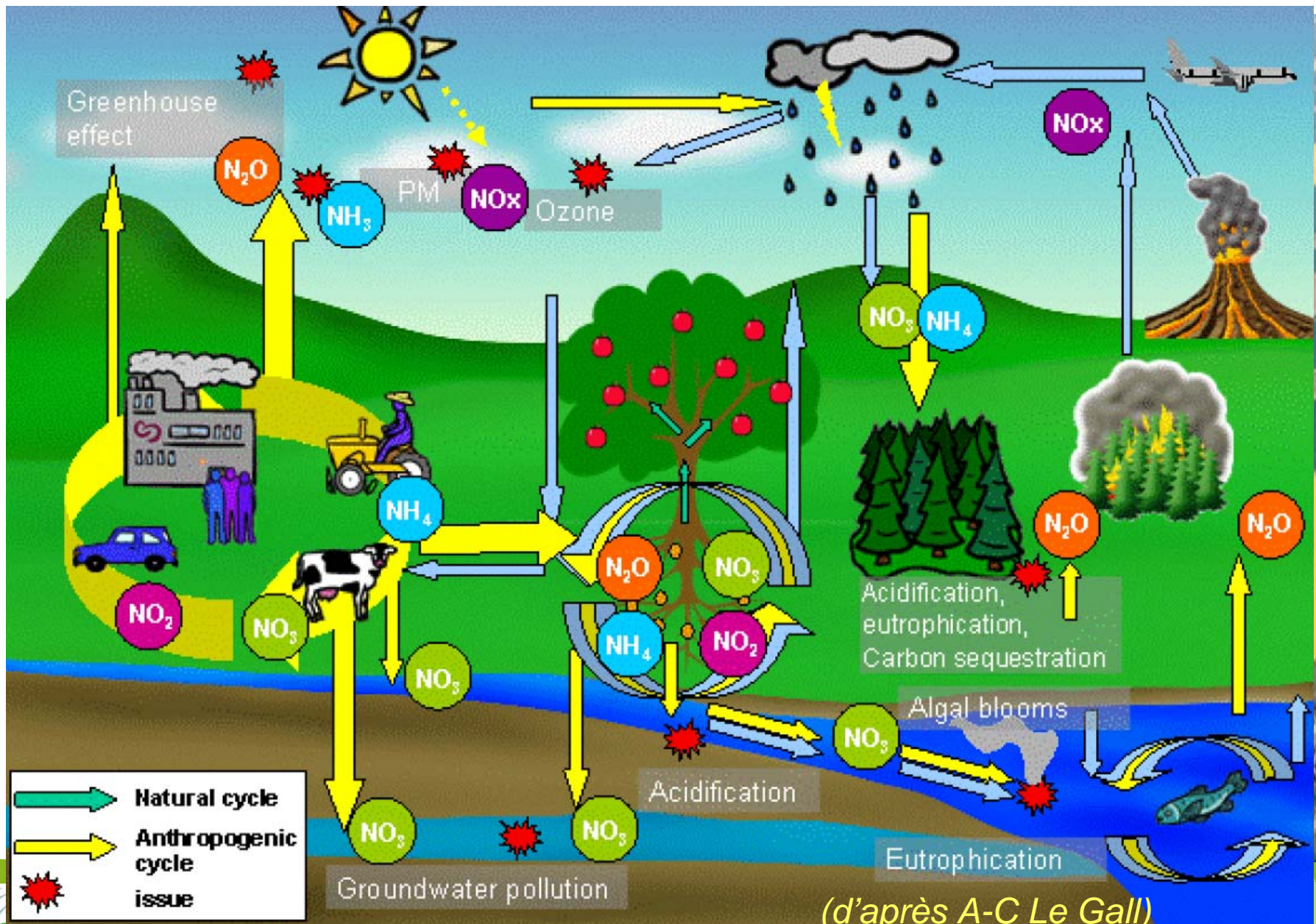
Production d'ozone troposphérique

Formation d'aérosols troposphériques



→ Importance du niveau de fond et des émissions de NO en zone rurale

# Cycle et principaux flux d'azote réactif



(d'après A-C Le Gall)

# Cascade de l'azote

Galloway et al. (2003) :

« *Multiples liens entre les effets écologiques et sanitaires de l'azote réactif, lorsqu'il se déplace d'un système environnemental à un autre* »

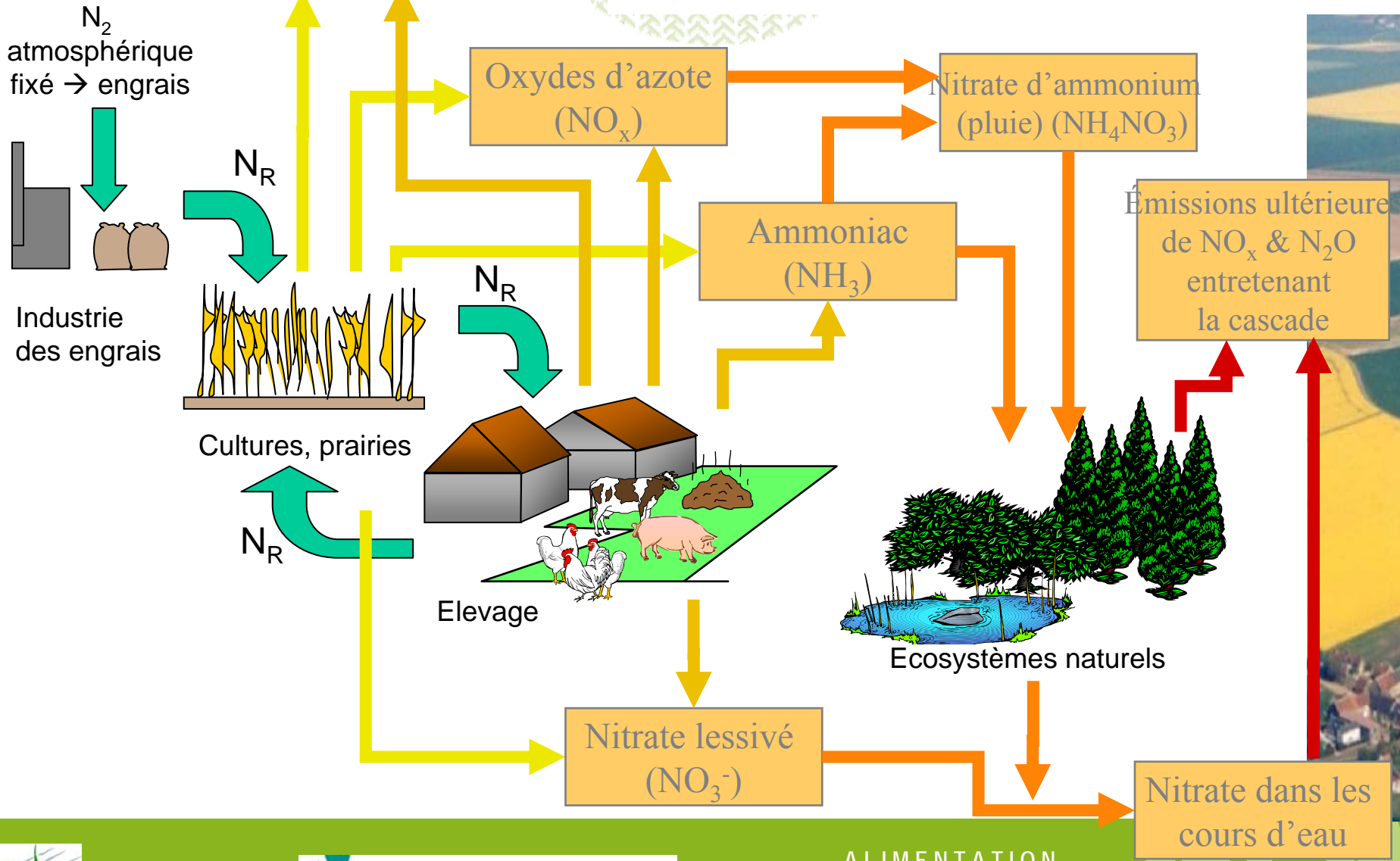
« *Effets séquentiels d'un atome d'azote dans différents milieux* »

- Transferts entre milieux,
- Transformations d'origines diverses
- Cycles internes à différentes échelles
- Chaînes d'impacts
- ...

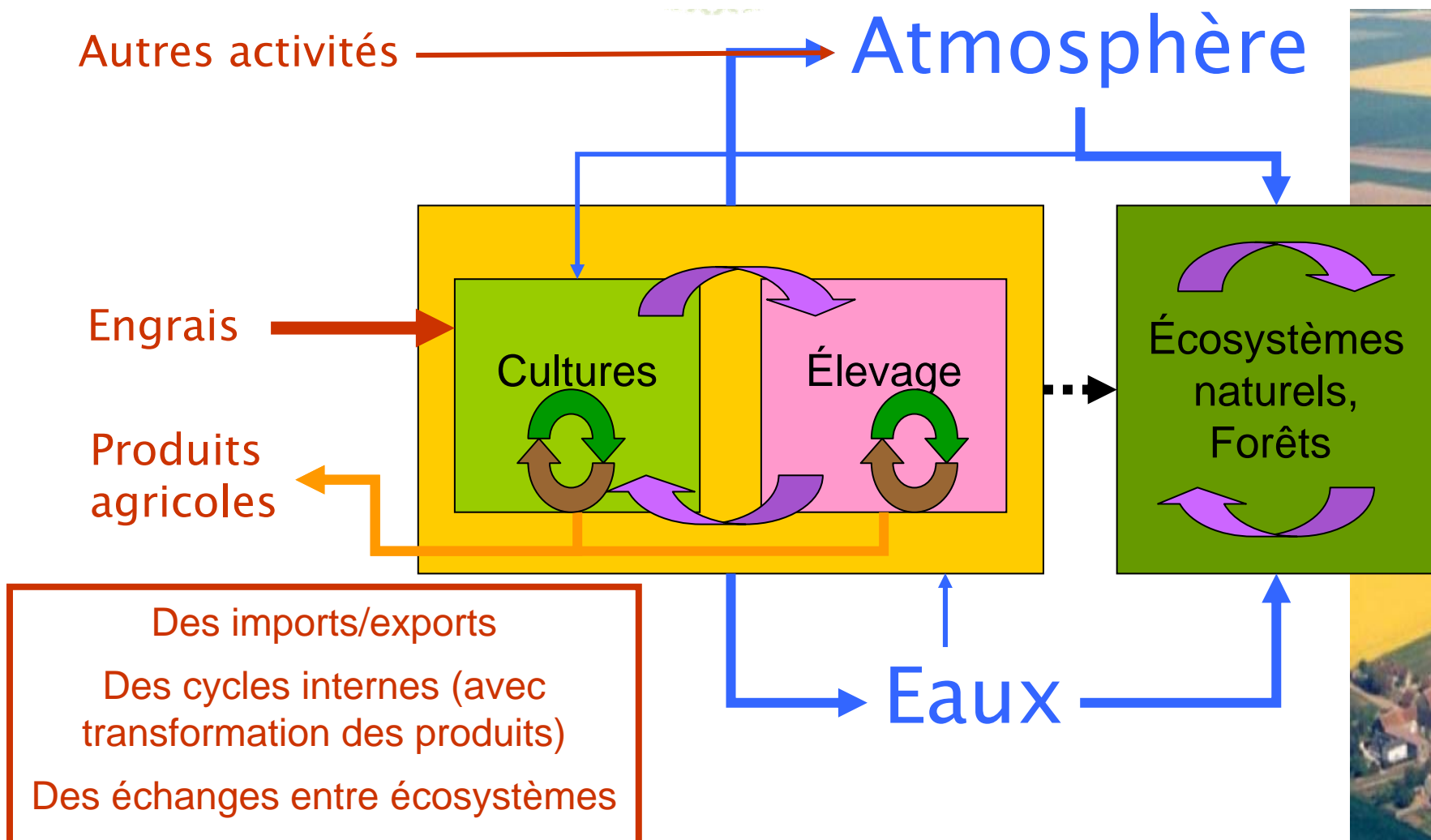


# The Nitrogen Cascade

(Galloway et al., 2003)



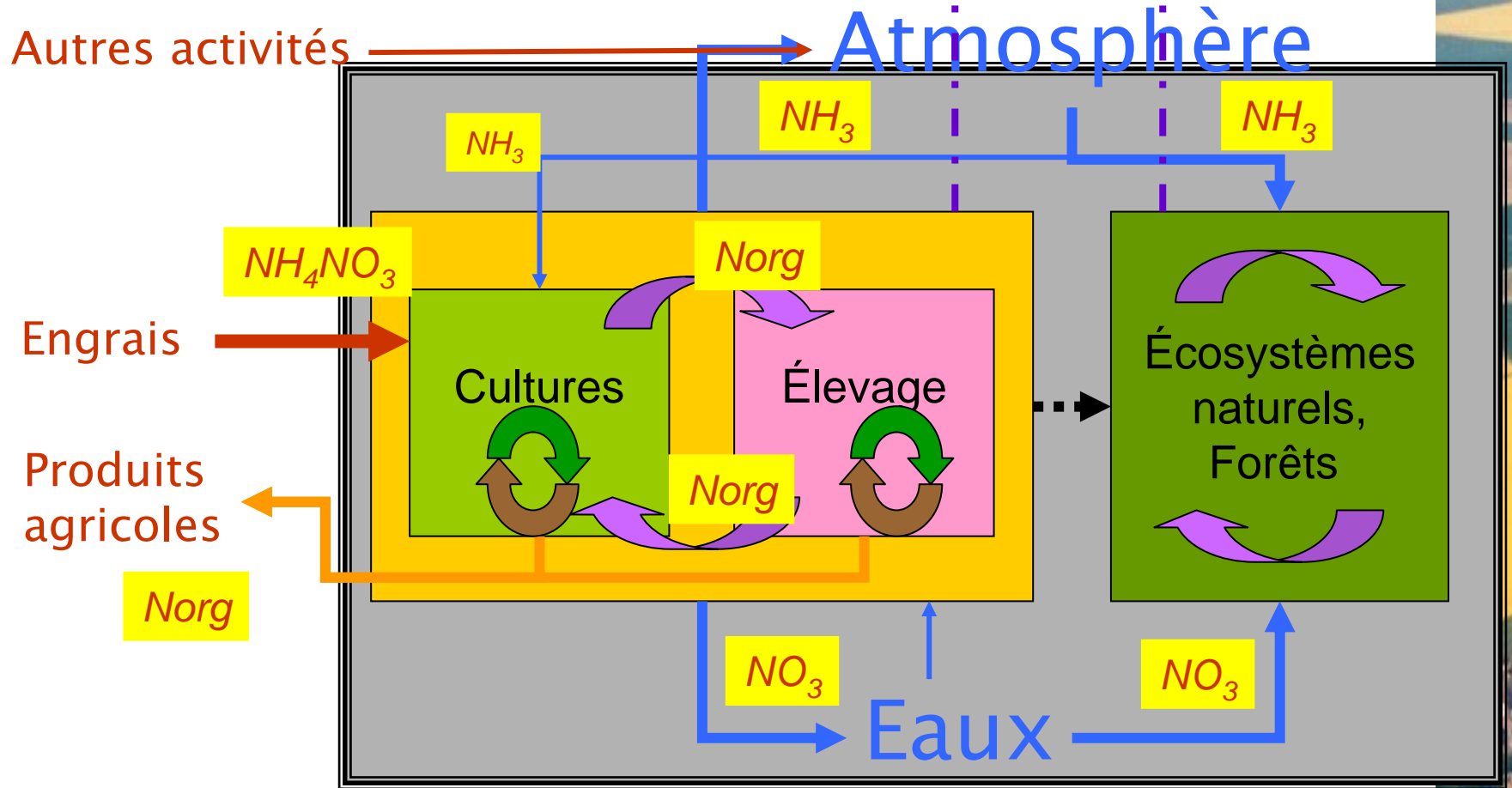
# La cascade de l'azote, de l'échelle locale à celle du paysage



- Des imports/exports
- Des cycles internes (avec transformation des produits)
- Des échanges entre écosystèmes
- Des échanges vers ou *via* les milieux atmosphériques et hydrologiques



# Un atome d'azote dans la cascade



Stockage à long terme dans les eaux et les sédiments ??



# Étapes de la cascade de l'azote

- Au départ, des processus naturels (fixation symbiotique) et anthropiques (engrais, combustion)
- Des milieux plus ou moins favorables aux transferts et transformations de l'azote réactif
- Des transferts entre milieux par voies anthropiques (agriculture), et naturelles (atmosphère, hydrologie)
- Des formes plus ou moins favorables au stockage
- Des formes entretenant la cascade ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) et induisant des impacts
- Des formes  $\pm$  terminales car peu réactives et ayant peu d'interactions avec la biosphère:  $\text{N}_2\text{O}$  (mais  $\rightarrow$  effet de serre) et  $\text{N}_2$



# Caractéristiques des différents milieux

Milieu	Accumulation	Transfert	Transformation	Production N <sub>2</sub>
Atmosphère	-	++++	++	0
Agroécosyst	+	++++	++++	+
Forêts	+++	++	++++	+
Prairies	+++	++	++++	+
Marais, eaux continentales	++	+	++++	++
Nappes	-	++++	+	+
Côtes	+	++	++++	+++

# De nouvelles questions?



- Le concept de cascade de l'azote (échelle du paysage/territoire) permet-il de faire une évaluation plus pertinente qu'à la parcelle ou l'exploitation agricole vis-à-vis des impacts et en terme de bilan?
- Jusqu'à quelle mesure sait-on / peut-on / doit-on prendre en compte les caractéristiques du milieu et les interactions entre milieux pour mieux comprendre et quantifier le devenir, les bilan et les impacts de l'azote? Comment y prendre en compte les acteurs ?
- Méthode: comment faire (pratiquement) un bilan des composés azotés et de la cascade de l'azote à ces échelles? Sait-on « tracer » une molécule d'azote? Est-ce pertinent ?
- Le concept de cascade de l'azote est-il utile/indispensable pour raisonner les pratiques et les mesures agro-environnementales? Quelles conséquences en terme de gestion de l'azote? Permettrait-il une gestion différenciées des territoires?
- ...

# Synthèse

- La cascade de l'azote, une vision du cycle de l'azote dépassant l'échelle de la parcelle
- ... faisant le lien entre les sources et les puits,
- ... et accordant une place centrale aux impacts
- Depuis sa production, une molécule d'azote réactif peut suivre des voies très diverses, traversant divers milieux et y générant divers impacts
  - *Nécessité de prendre en compte les transferts, transformations et les différents milieux*
- La cascade de l'azote met en évidence le besoin d'une approche intégrée prenant en compte les impacts (eaux, air, biodiversité, effet de serre, sols), les formes d'azote et/ou les sources et milieux.

*NB: Nécessité de prendre en compte les activités d'élevage*

# Des actions internationales allant dans ce sens



- INI: International Nitrogen Initiative
- NinE: Nitrogen in Europe



→ *ENA: European Nitrogen Assessment*

- TFRN: Task Force on Reactive Nitrogen (convention de Genève)



- Cost729 : assessing and managing N fluxes in the atmosphere-biosphere system in Europe



NitroEurope IP

- NitroEurope-IP (6<sup>e</sup> PRCD, 2006-2011)

# Nitrogen and Global Change

## Key findings - future challenges



Workshop for Policy Stakeholders



International Science Conference



Launch of the European Nitrogen Assessment



Edinburgh International Conference Centre, April 11-15, 2011



Home

Topics and Themes

Call for Sessions/Papers

Programme

Organisation

Login

### Nitrogen and Global Change: Key Findings – Future Challenges

This event aims to bring together scientists, policy makers and other stakeholders to discuss the scientific progress on the role of nitrogen in global change and the relevance for policy makers. It will celebrate the launch of the European Nitrogen Assessment and scientific results of major European Nitrogen research programmes such as the EU 6th Framework project NitroEurope IP.

It is jointly organised with the ESF programme Nitrogen in Europe (NinE), COST Action 729, the Task Force on Reactive Nitrogen (TFRN) under the UNECE Convention of Long-Range Transboundary Air pollution, the European Centre of the International Nitrogen Initiative (INI) and is sponsored by the International Fertilizer Industry Association (IFA).

**Dates:** 11th – 15th of April, 2011

**Location:** Edinburgh/UK

**Venue:** Edinburgh International Conference Centre (EICC)



À venir sur  
<http://www.nitrogen2011.org/>



*Merci pour votre attention*