

# ECHANGES DE GAZ-TRACES ET DE PARTICULES ENTRE LA TROPOSPHÈRE ET LA BIOSPHÈRE

- **Contexte:**

- Pourquoi s'intéresser au échanges biosphère atmosphère?
- Les grands cycles biogéochimiques

- **Concepts importants**

- Dépôts secs et dépôts humides
- Flux diffusifs et turbulents
- La notion de résistance au transfert

- **Les modèles de type résistifs**

- Introduction à la couche limite de surface
- Les résistances aérodynamique et de couche limite
- Les résistances de surface et la vitesse de dépôt
- Modèles grandes feuilles et les modèles multicouches
- Le cas des particules

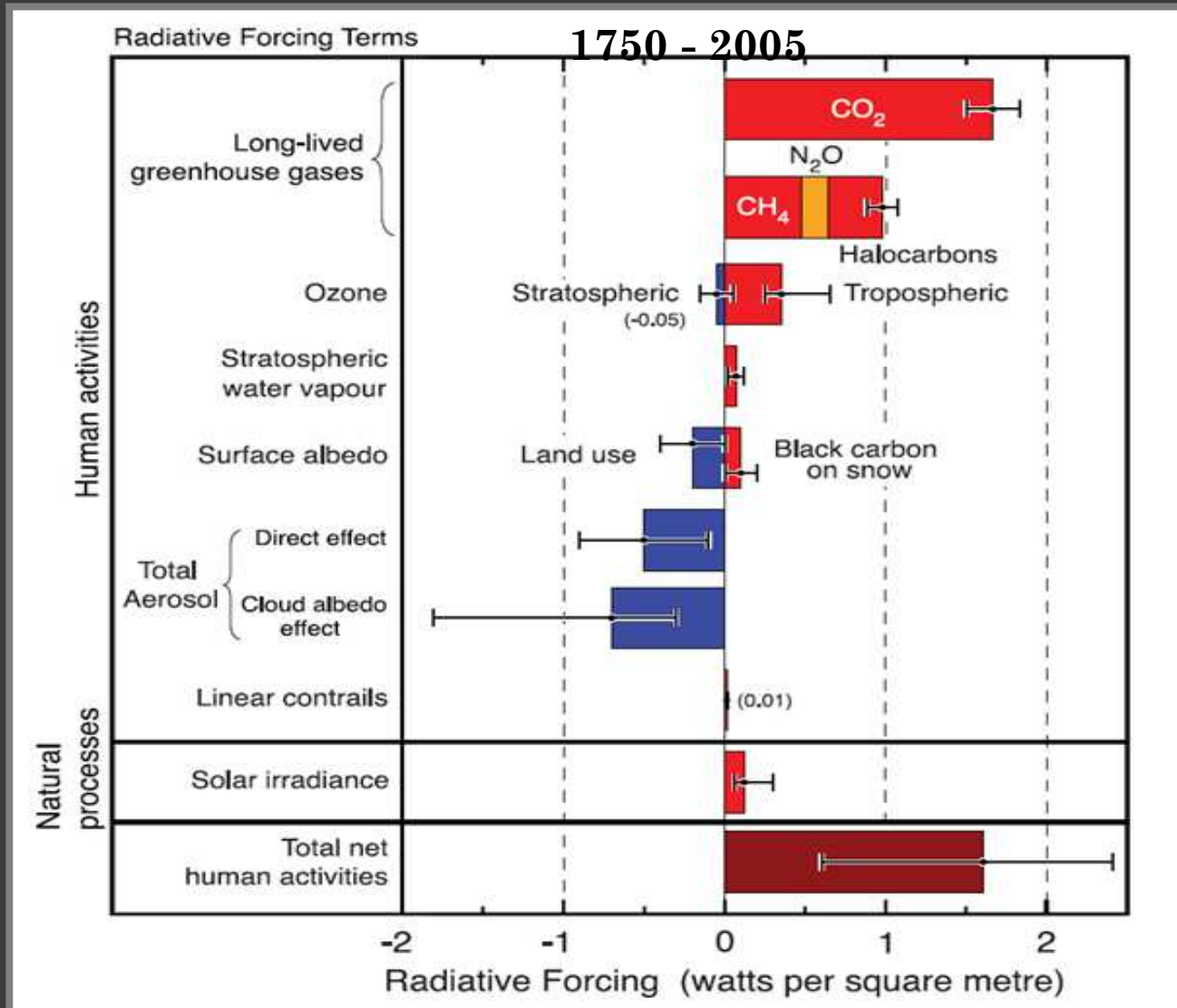
# POURQUOI S'INTÉRESSER AU ÉCHANGES BIOSPHÈRE-ATMOSPHÈRE?

- Météorologie
- Fonctionnement des écosystèmes
- Réchauffement global
- Pollution atmosphériques
- Maladies / OGM
- Evapo-transpiration
- Energie
- Photosynthèse
- Respiration
- Emissions de  $N_2O$ ,  $CH_4$
- Emissions de  $NH_3$
- Dépôts de particules
- Dépôts d' $O_3$
- Dépôts de  $NO_x$
- Emissions de COVs
- Particules biotiques
- Pollens

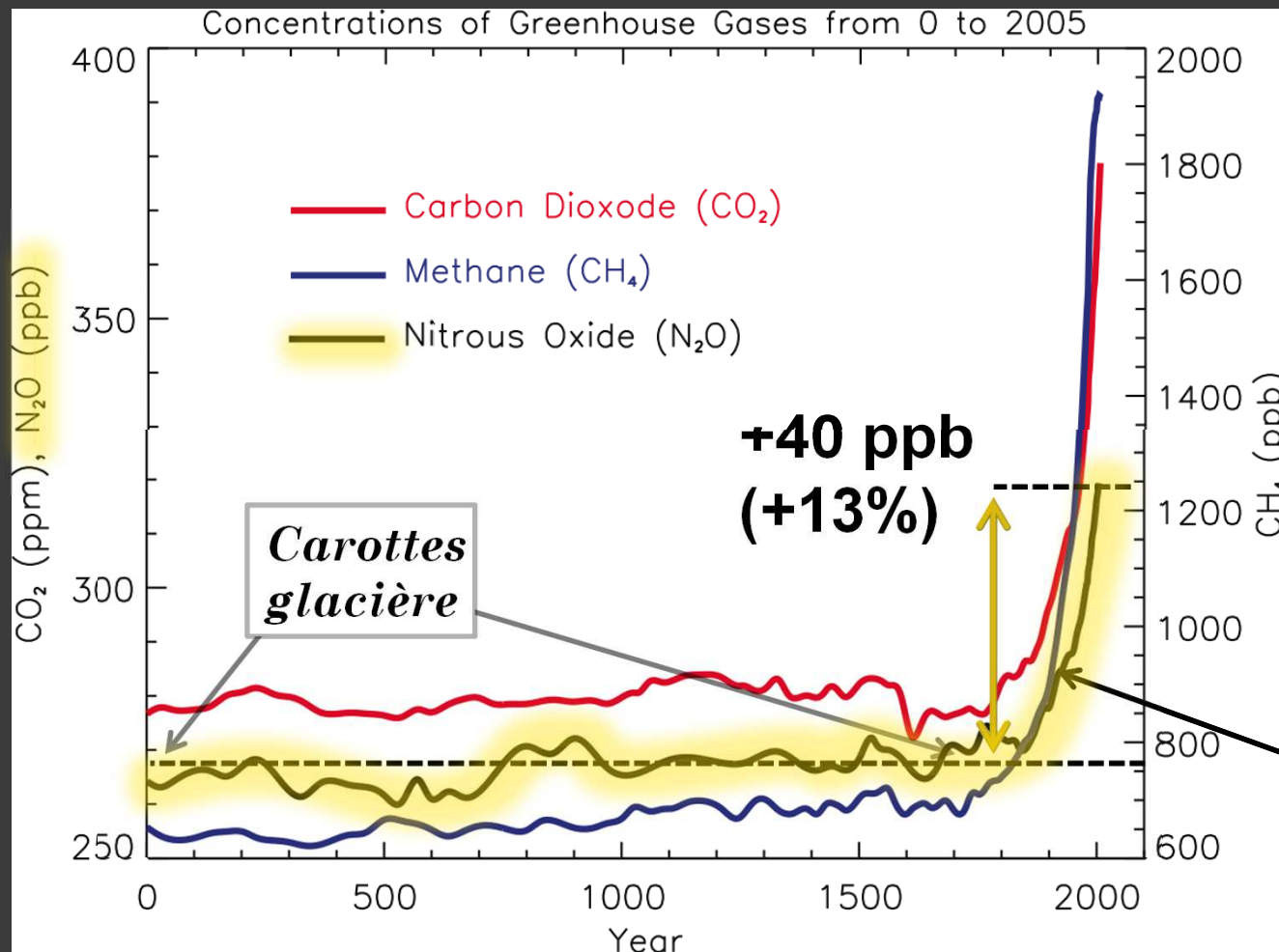
# LES GRANDS CYCLES BIOGÉOCHIMIQUES

- Le réchauffement global
- Le cycle des aérosols
- Les sources et puits de composés biogéniques
- Le cycle de l'azote
- Les impacts des polluants

# LE FORCAGE RADIATIF ET LE RÉCHAUFFEMENT GLOBAL



# LA CONCENTRATION DES GES AUGMENTE

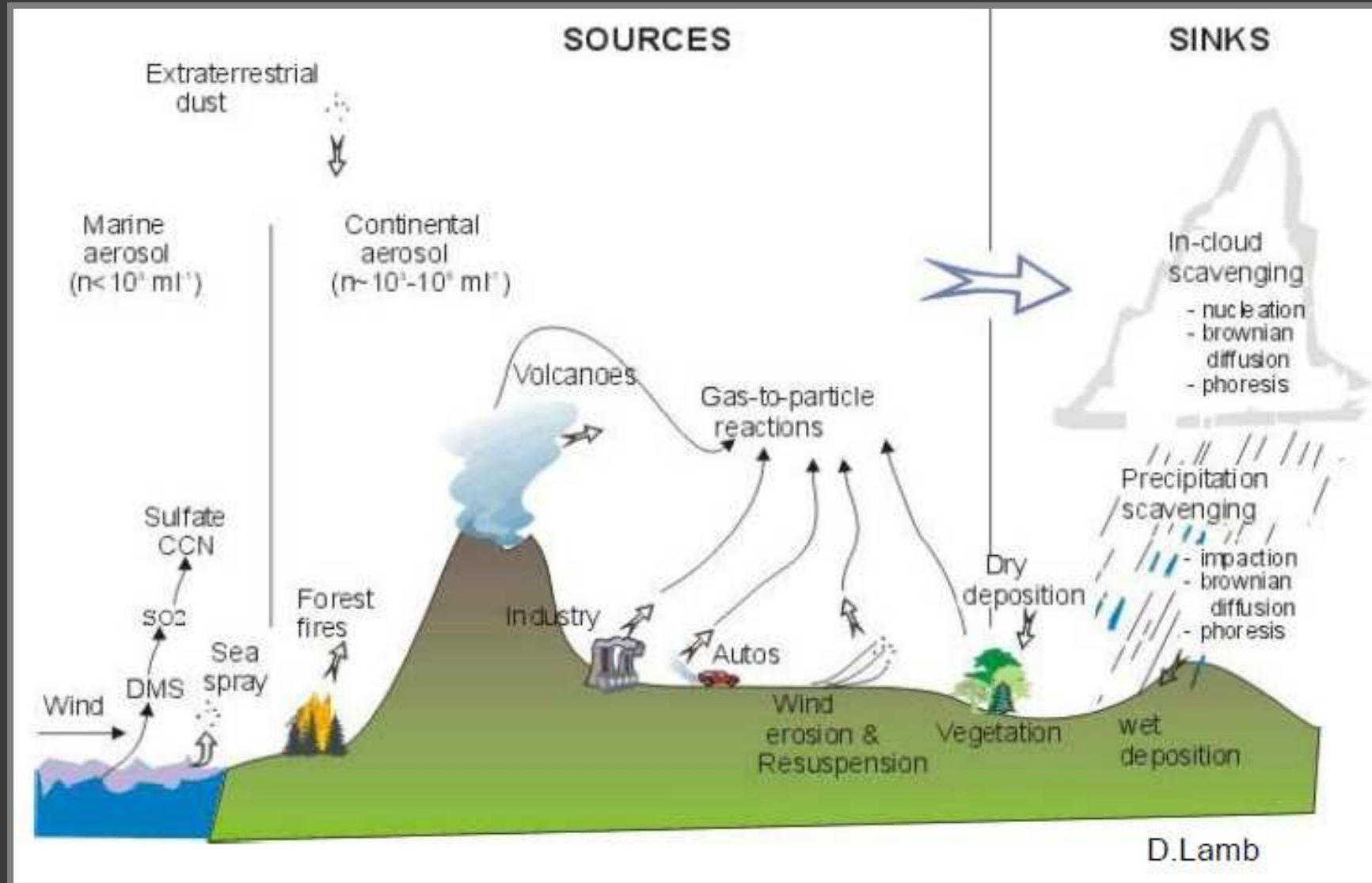


James Lovelock (1958)

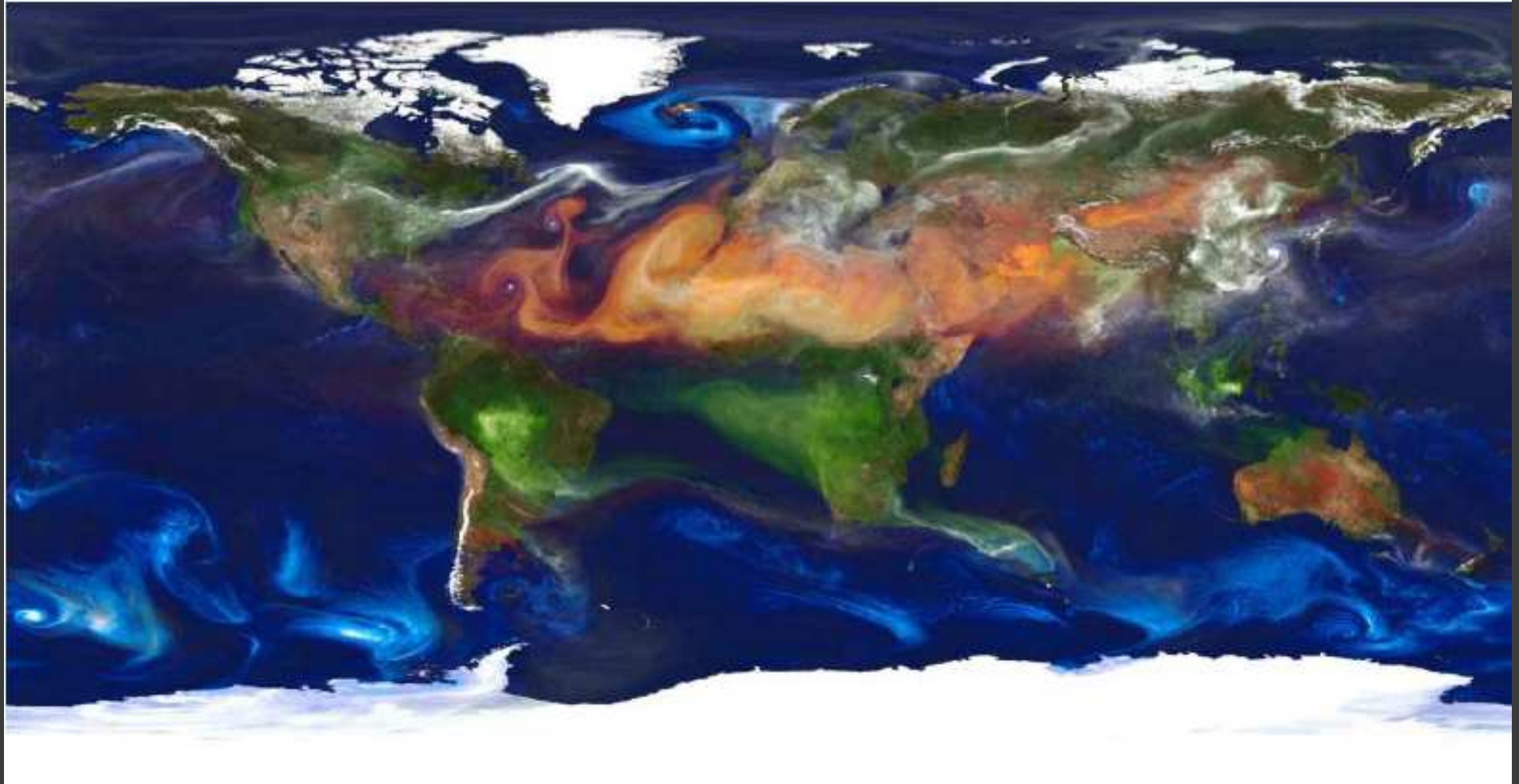
Chromatographie gazeuse & détecteur à capture d'électrons



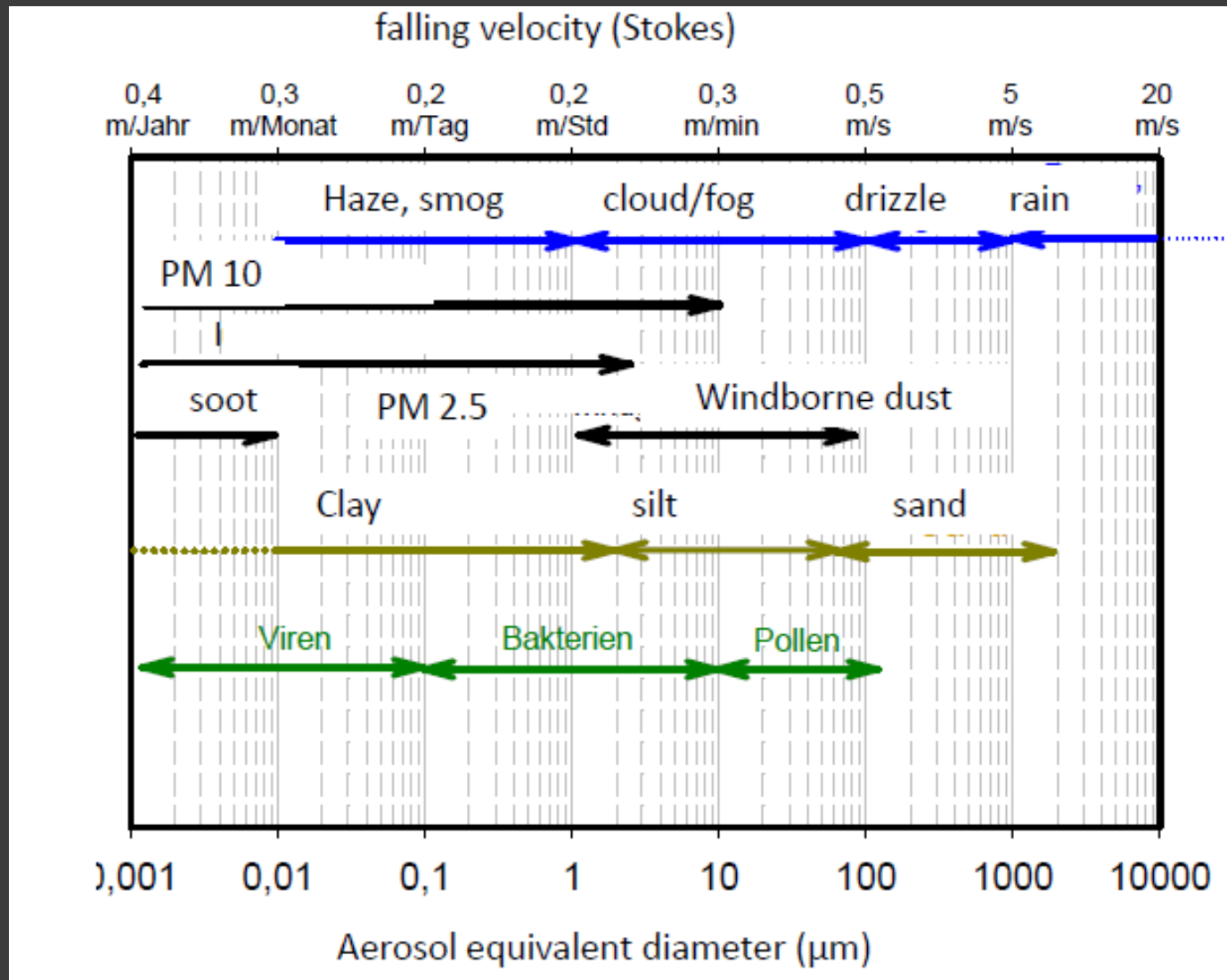
# LE CYCLE DES AÉROSOLS



# LE CYCLE DES AÉROSOLS

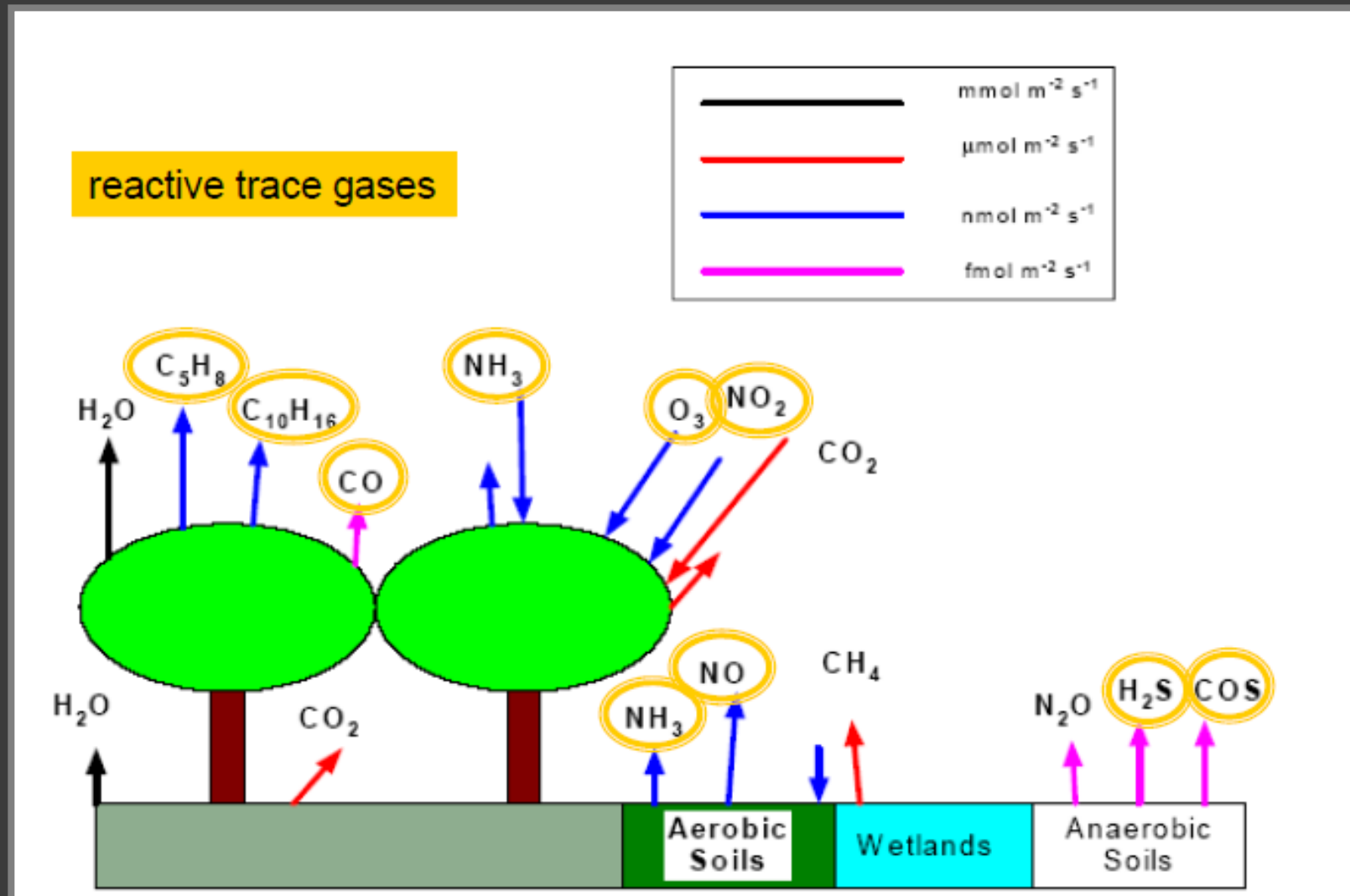


# LE CYCLE DES AÉROSOLS

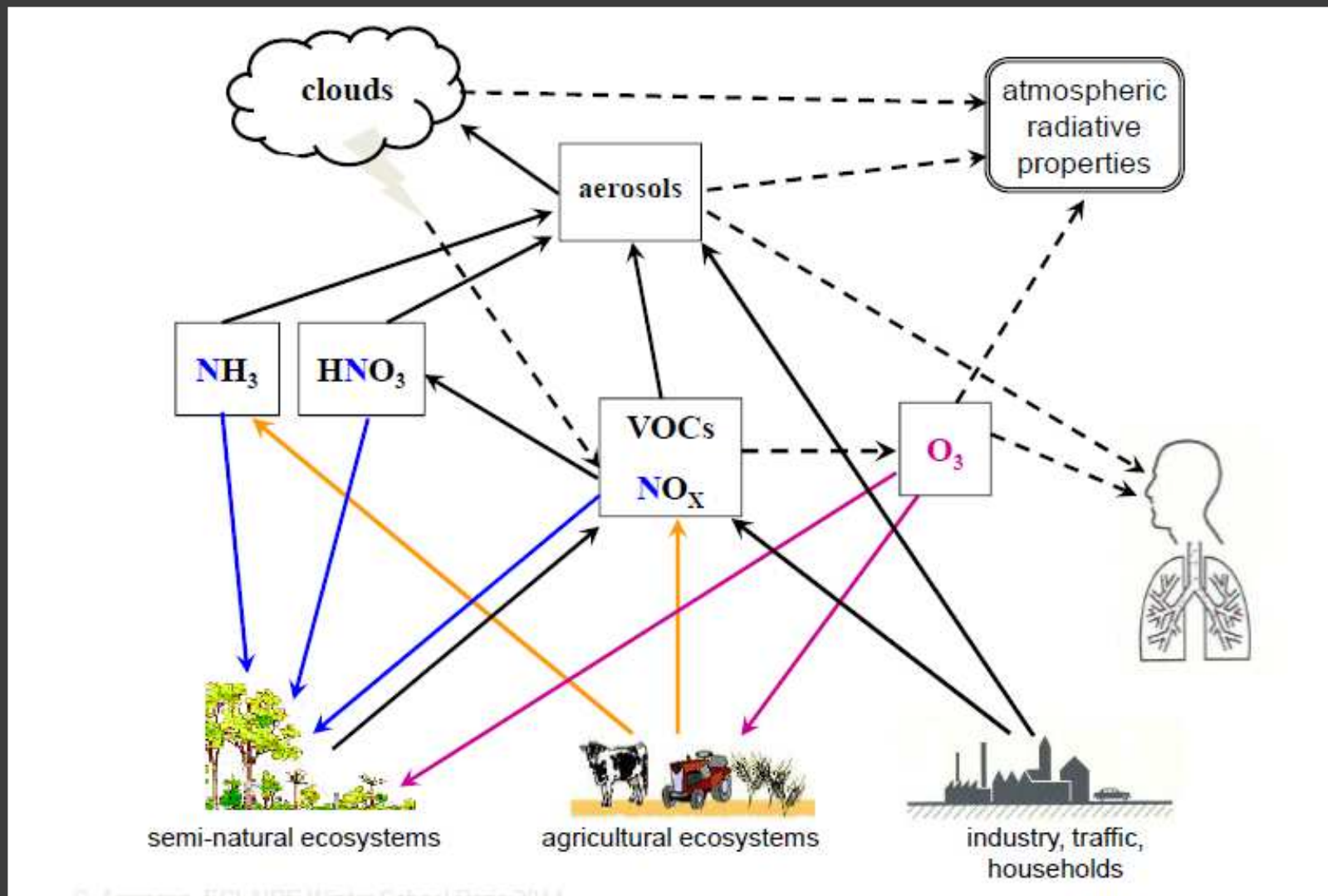




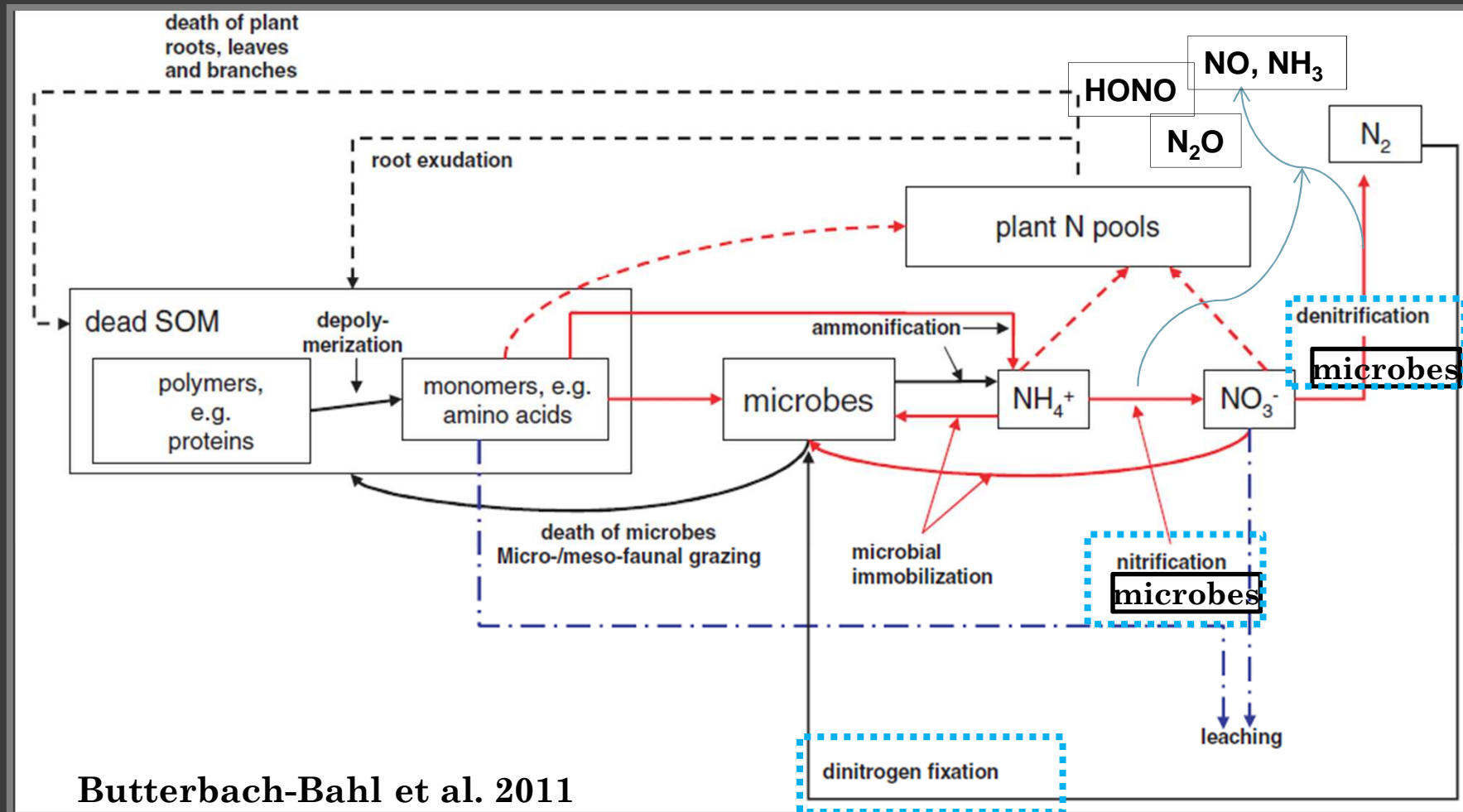
# SOURCES ET PUIITS BIOGÉNIQUES



# INTERACTIONS ET EFFETS DES COMPOSÉS RÉACTIFS

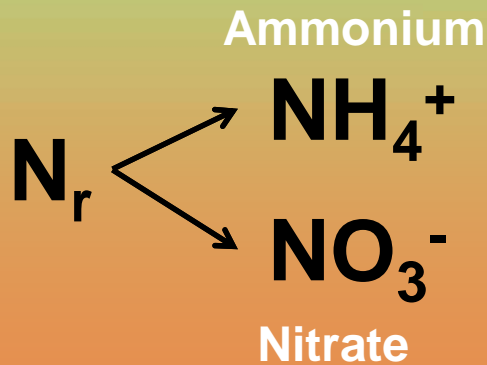
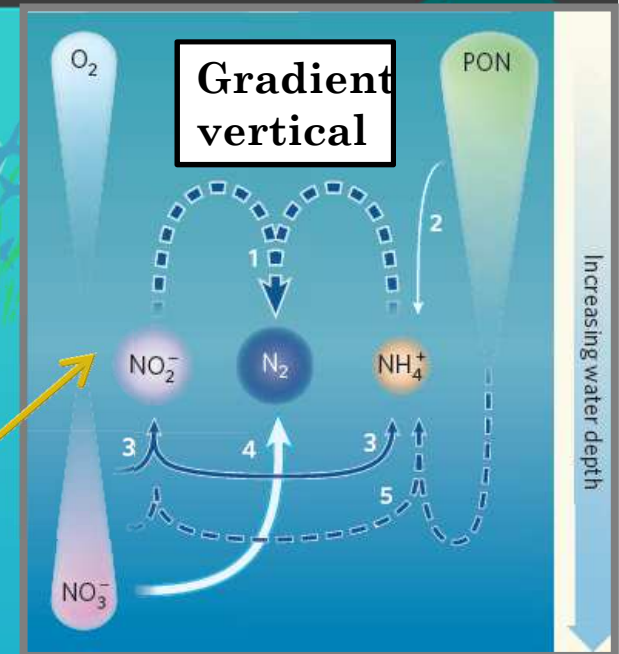
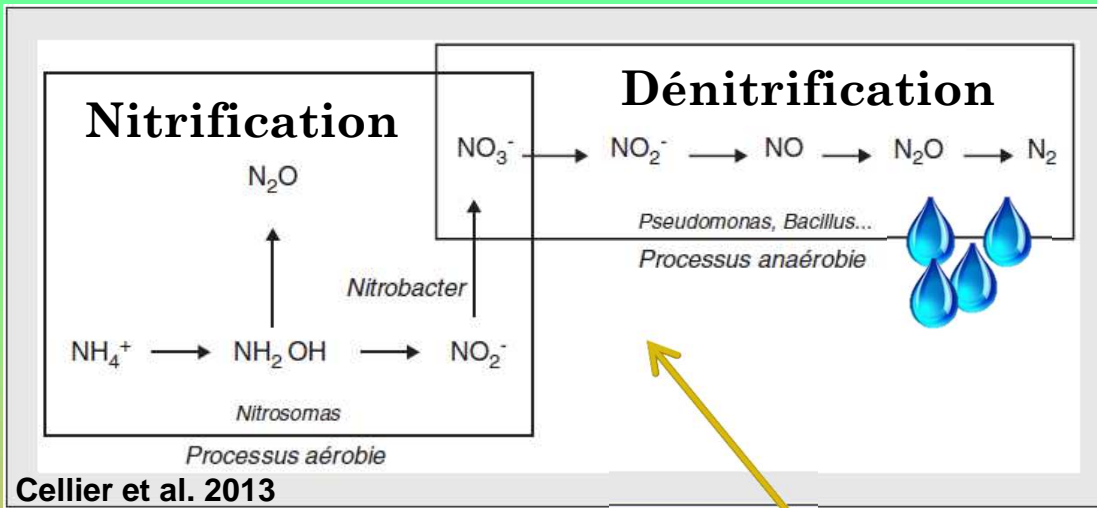


# LES MICROORGANISMES ONT UN RÔLE CLÉ DANS LE CYCLE « NATUREL » DE L'AZOTE



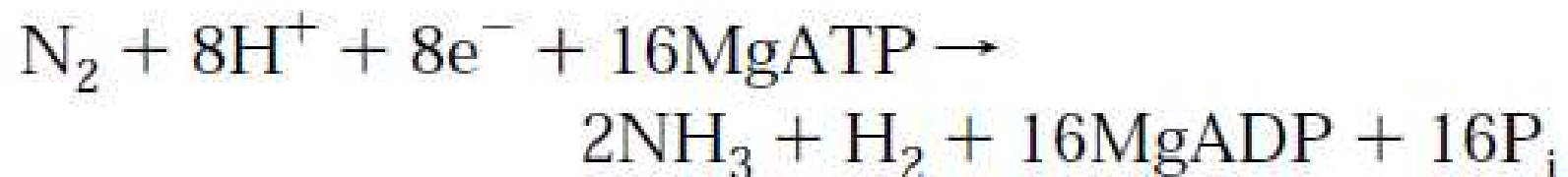
Butterbach-Bahl et al. 2011

# LES MICROORGANISMES ONT UN RÔLE CLÉ DANS LE CYCLE « NATUREL » DE L'AZOTE



# The fixation process

- Nitrogenase enzyme
- (i) reduction of Fe protein by electron carriers (ferredoxins and flavodoxins);
- (ii) transfer of single electrons from Fe protein to MoFe protein in a MgATP (adenosine triphosphate);
- (iii) electron transfer to the substrate at the active site within the MoFe protein.



*Chem. Rev.* 1996, 96, 2965–2982

2965

## Structural Basis of Biological Nitrogen Fixation

James B. Howard\* and Douglas C. Rees\*

# Other « natural » sources of Nr to the atmosphere

Lightning



↓ NO<sub>x</sub>

Volcanoes ↑ NH<sub>3</sub>



Fires



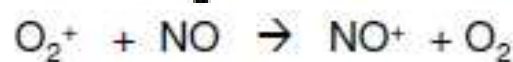
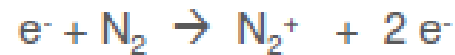
↑ NO<sub>x</sub>

# The atmospheric « natural » nitrogen cycle

## Lightning



## Plasma dissociation and ionisation



NO<sub>x</sub>

## Fires



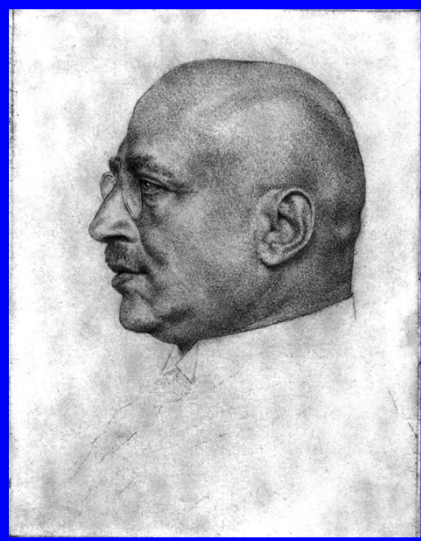
## Thermal production of NO<sub>x</sub>

At T°C > 1600°C:

Dissociation of N<sub>2</sub> in N and O<sub>2</sub> in O



# Industrial production of Nr



**Fritz Haber (1868-1934)**

**Started working on  $\text{NH}_3$ , 1904**

**First patent, 1908**

**First commercial test, 1909**

**Nobel price in chemistry, 1918**

**-”Ammonia synthesis”**



**Carl Bosch (1874-1940)**

**Perfect Catalyser, 1910**

**Large scale production, 1913**

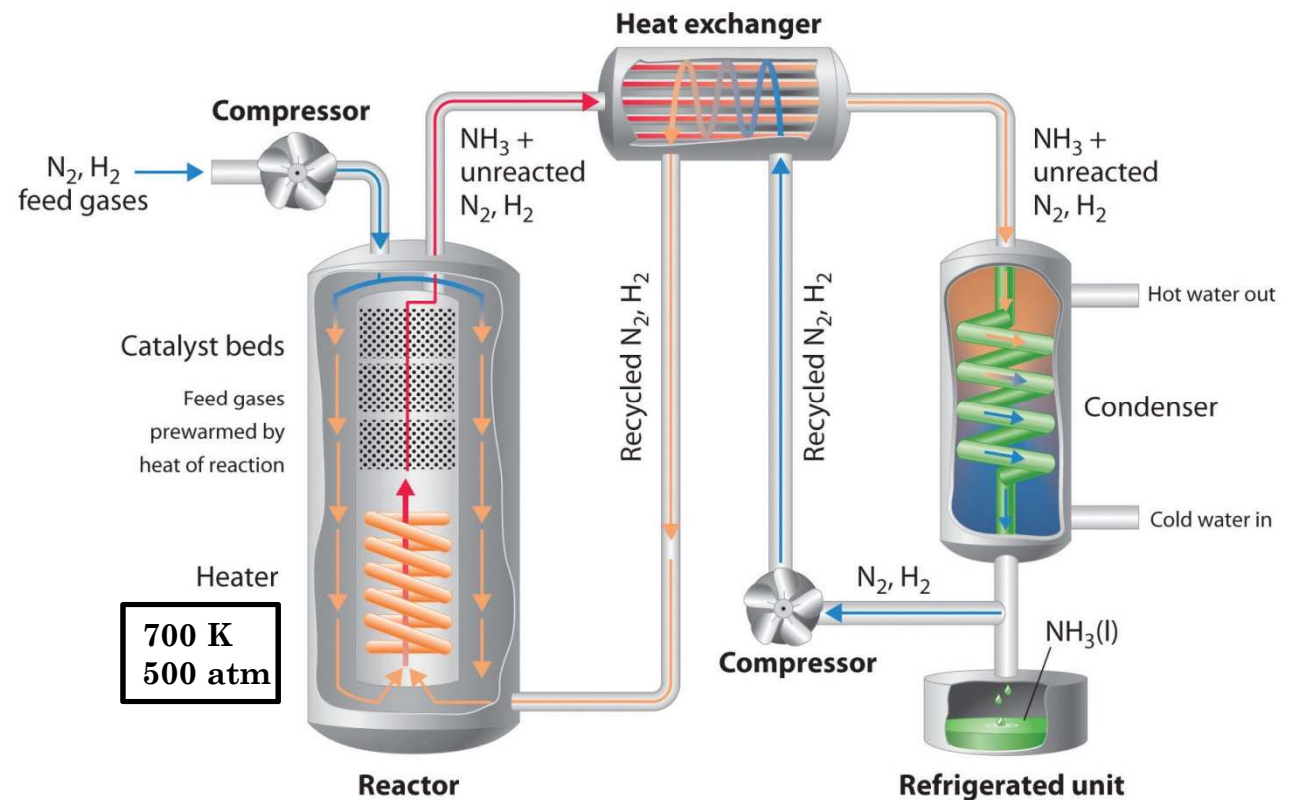
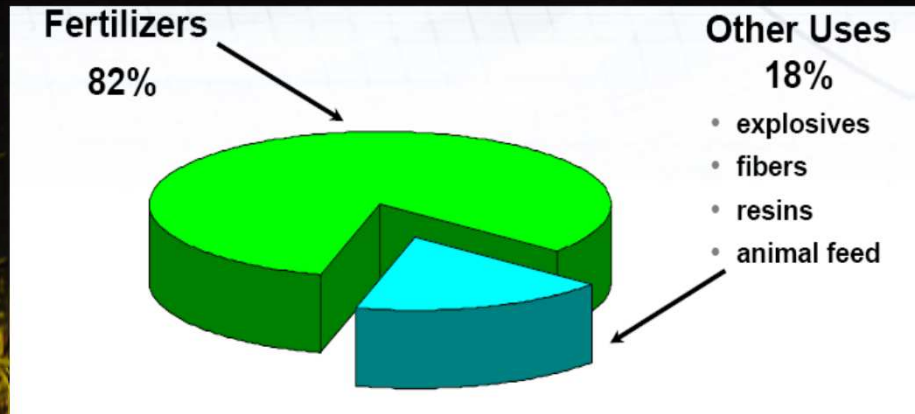
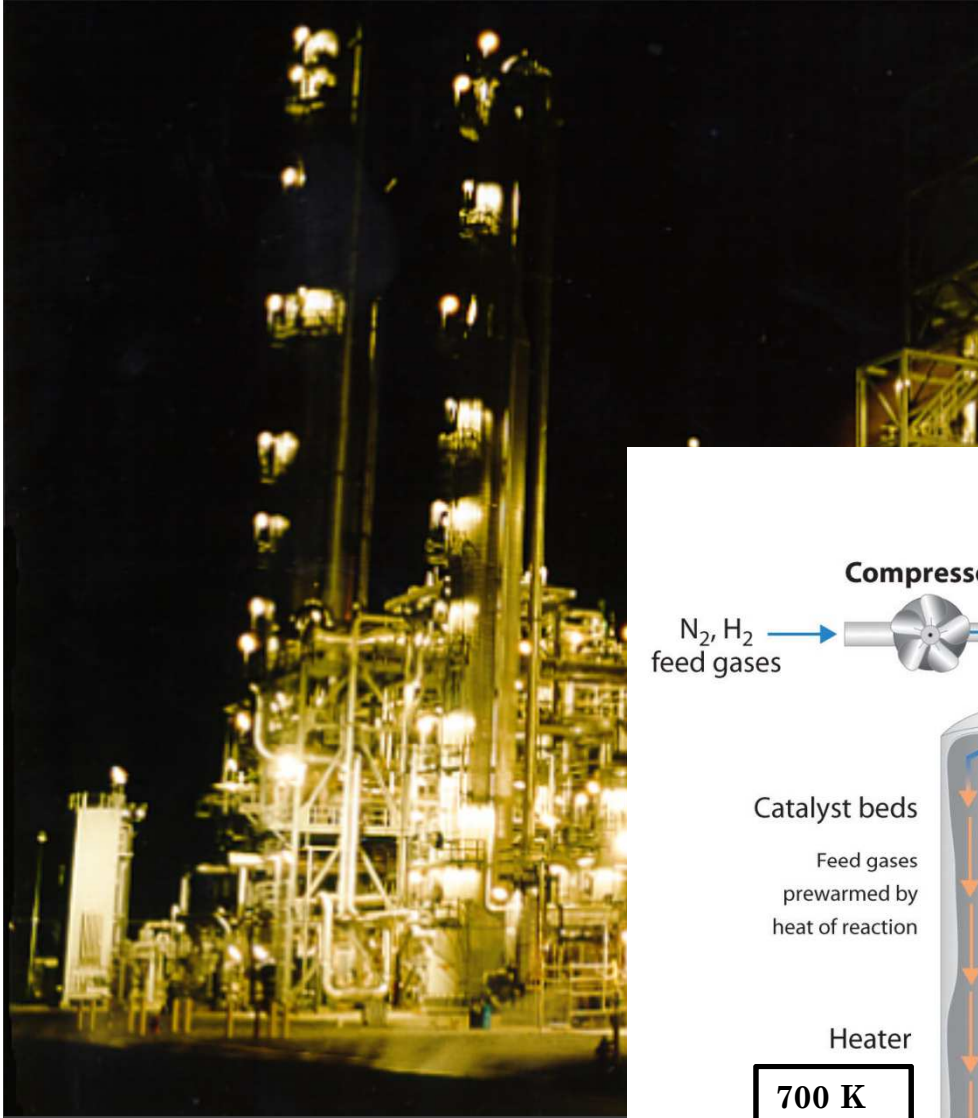
**Ammonia to nitrate transform , 1914**

**Nobel price in chemistry, 1931**

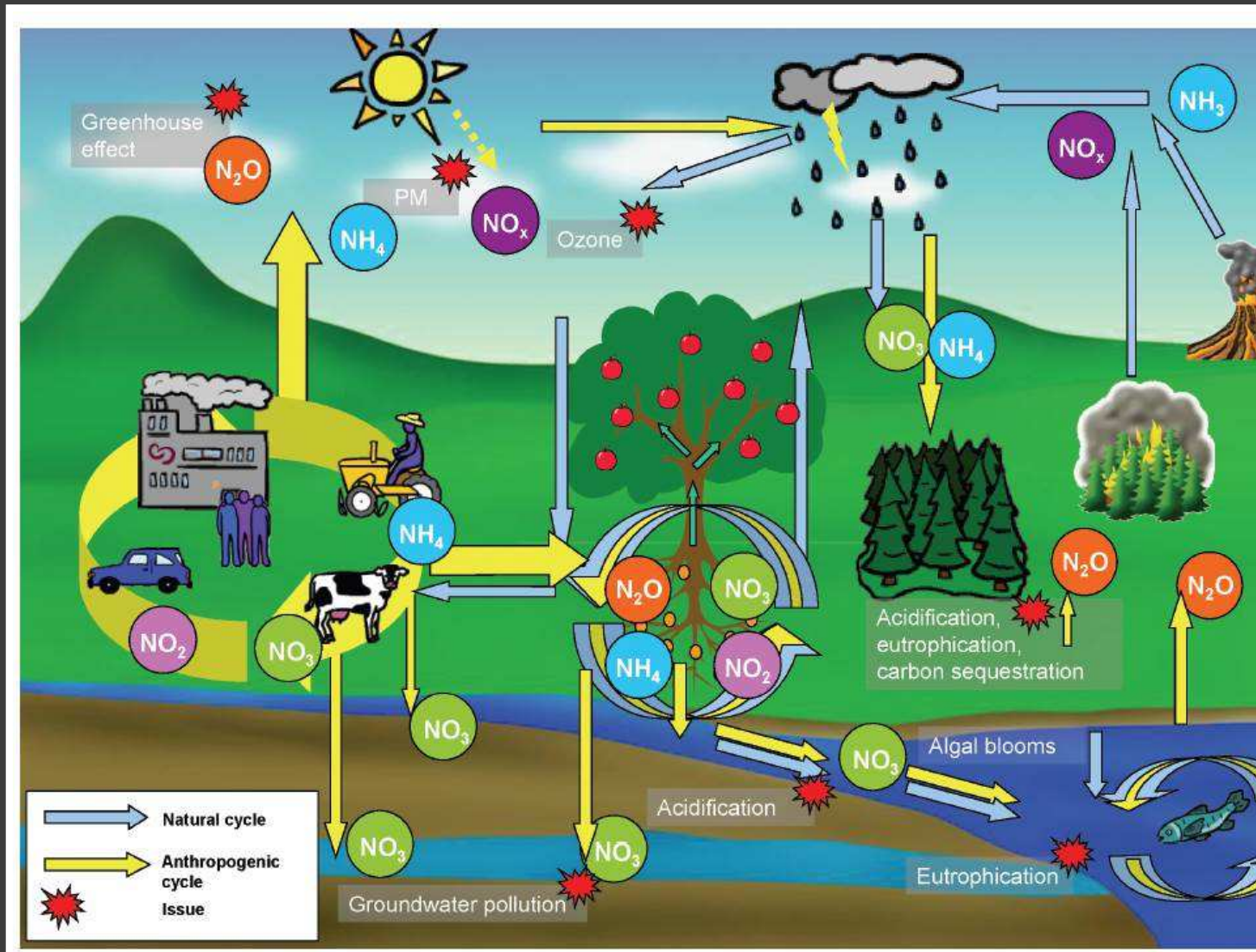
**-”High pressure production methods ”**



# Industrial production of $\text{NH}_3$

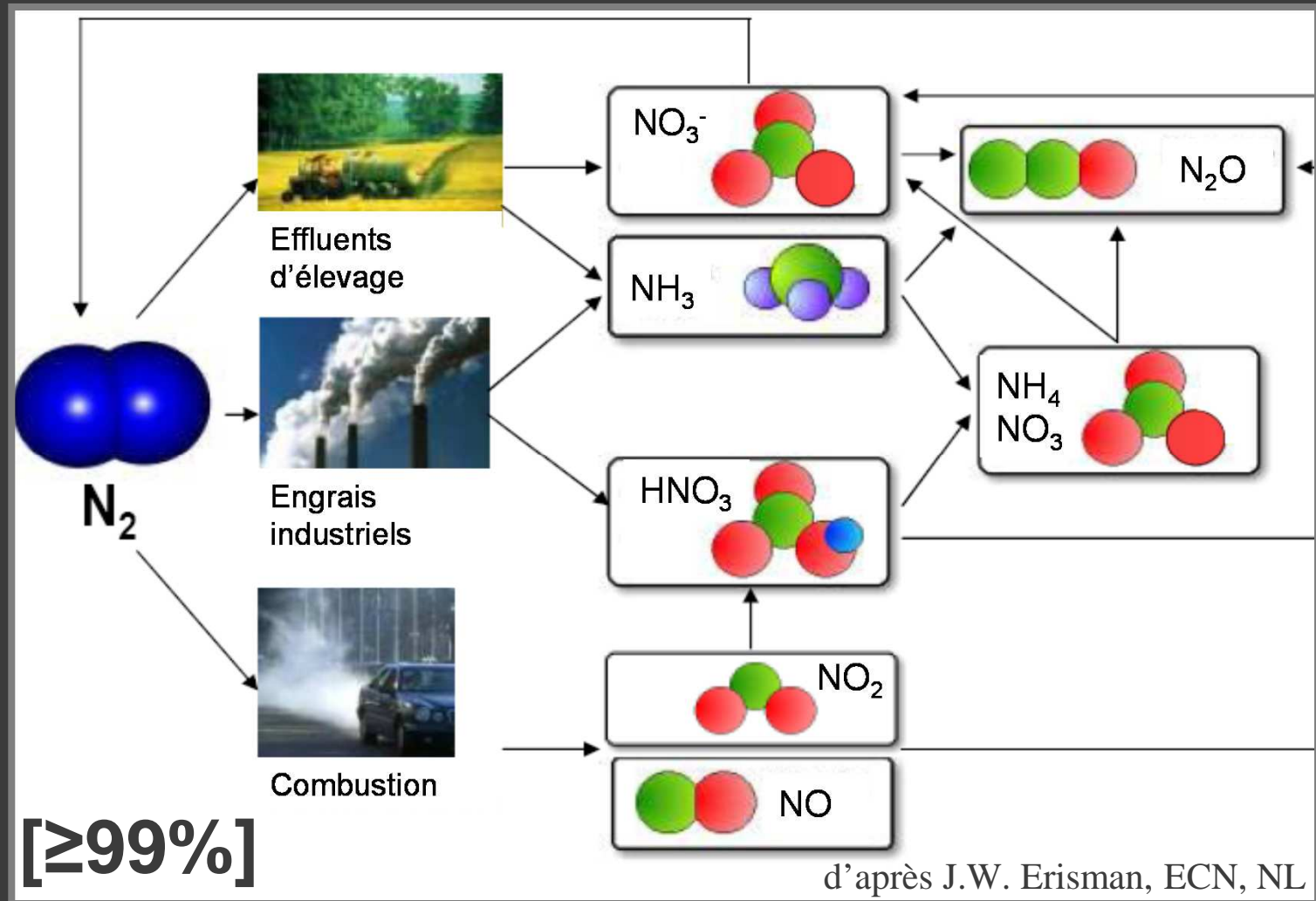


# LE CYCLE DE L'AZOTE : UN CYCLE PERTURBÉ PAR L'HOMME



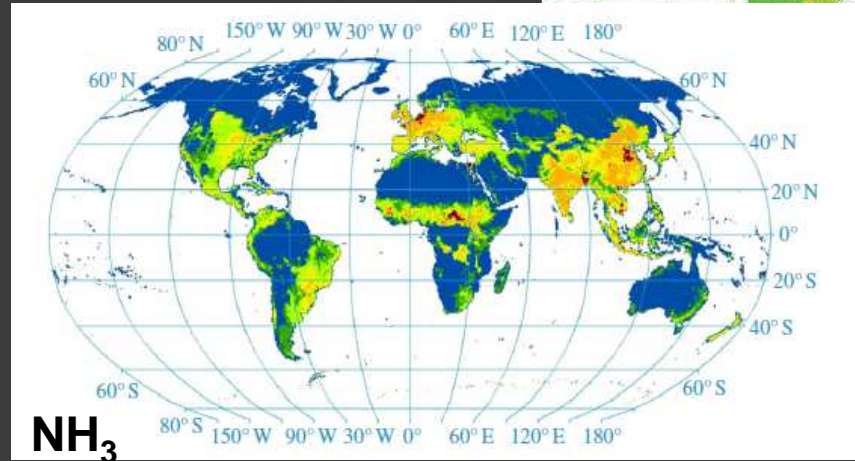
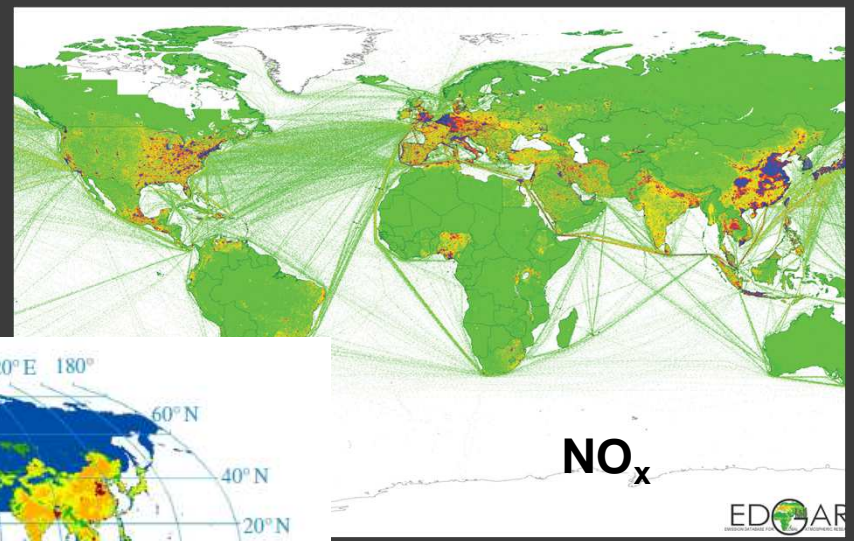
# L'AZOTE « RÉACTIF » EST ESSENTIEL DANS LE CYCLE

- nécessaire à la vie
- Formes variées
- Plus ou moins stables



# LES SOURCES D'AZOTE RÉACTIF

Erismann et al. 2005	Global
	Tg N (%)
Biological N fixation	90 (24)
Lightning	5 (1)
<b>Total</b>	<b>95 (25)</b>
Haber-Bosch N fertilizer & industry	85 (23)
Biological N fixation in agriculture	33 (9)
Animal feed imports	—
Combustion in industry and transportation	21 (6)
<b>Total</b>	<b>140 (37)</b>
Natural N fixation in oceans	140 (37)
<b>Total</b>	<b>375</b>

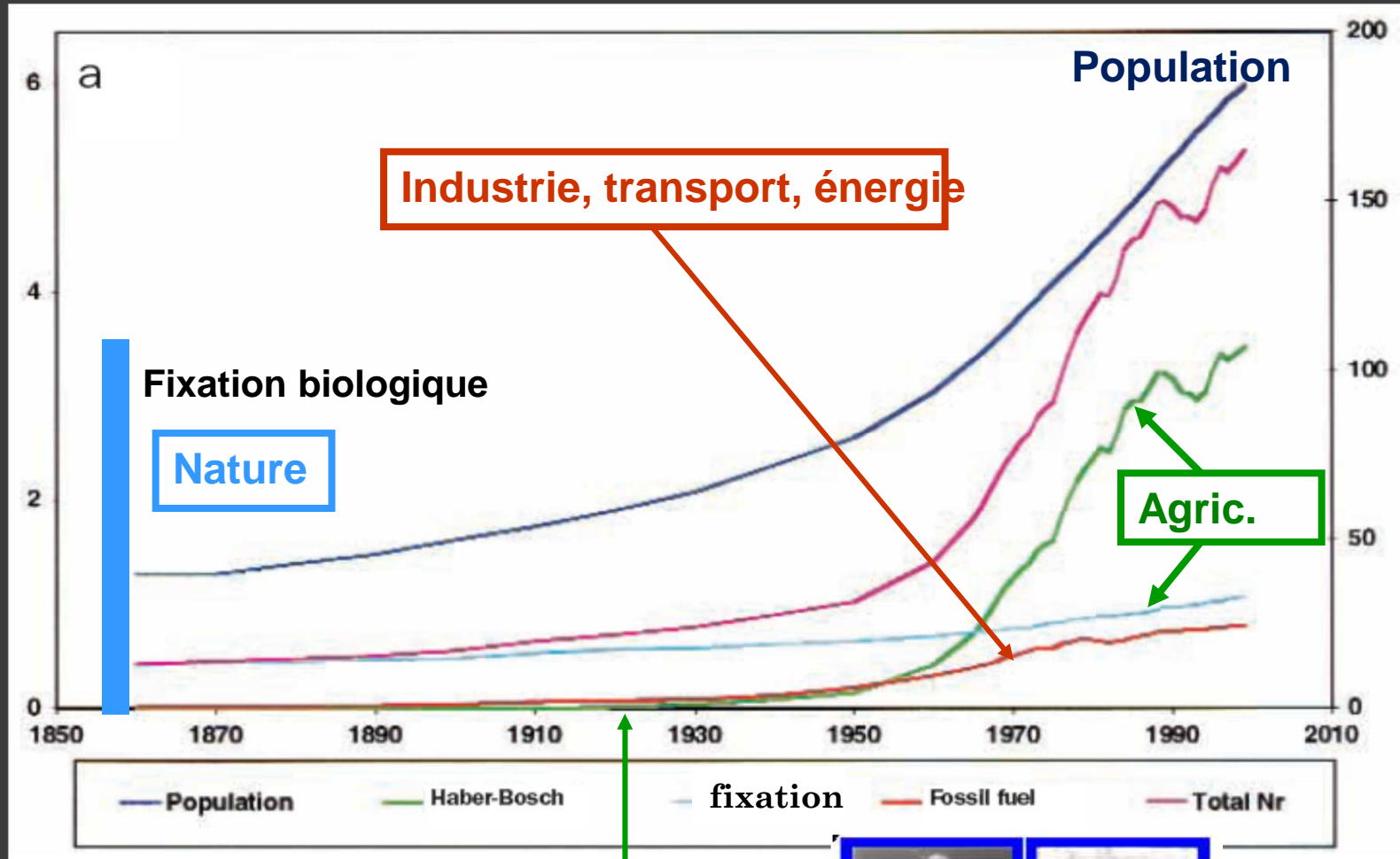


- Fort terme de **fixation biologique** naturelle
- Les principaux termes anthropiques: Production par **Haber-Bosch** et **combustion**
- Une **répartition spatiale inégale**

The European Nitrogen Assessment

# L'AZOTE RÉACTIF EST D'ABORD PRODUIT PAR L'AGRICULTURE

Population mondiale (milliards)



Production d'azote réactif (Tg an<sup>-1</sup>)



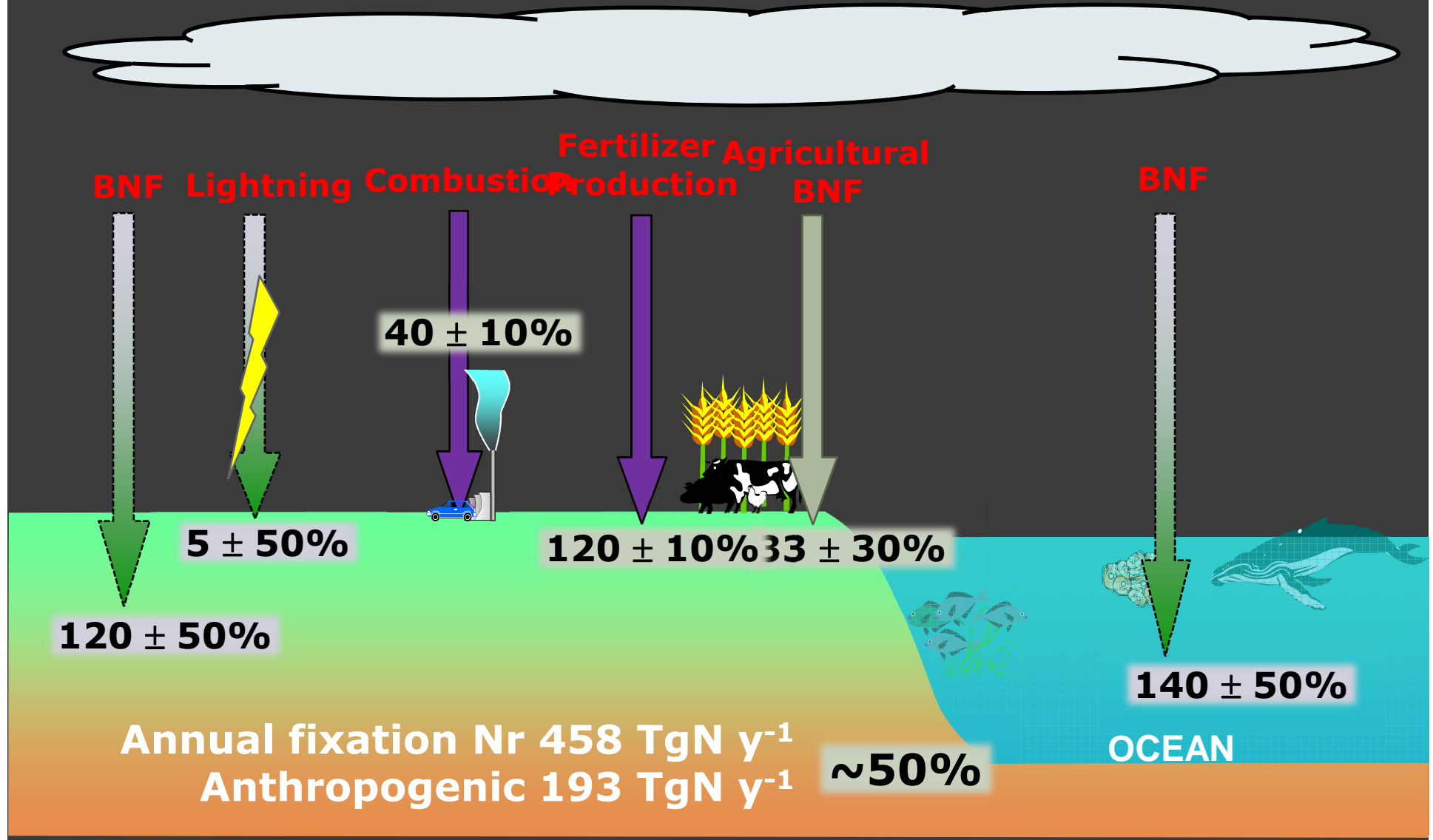
Carl Bosch



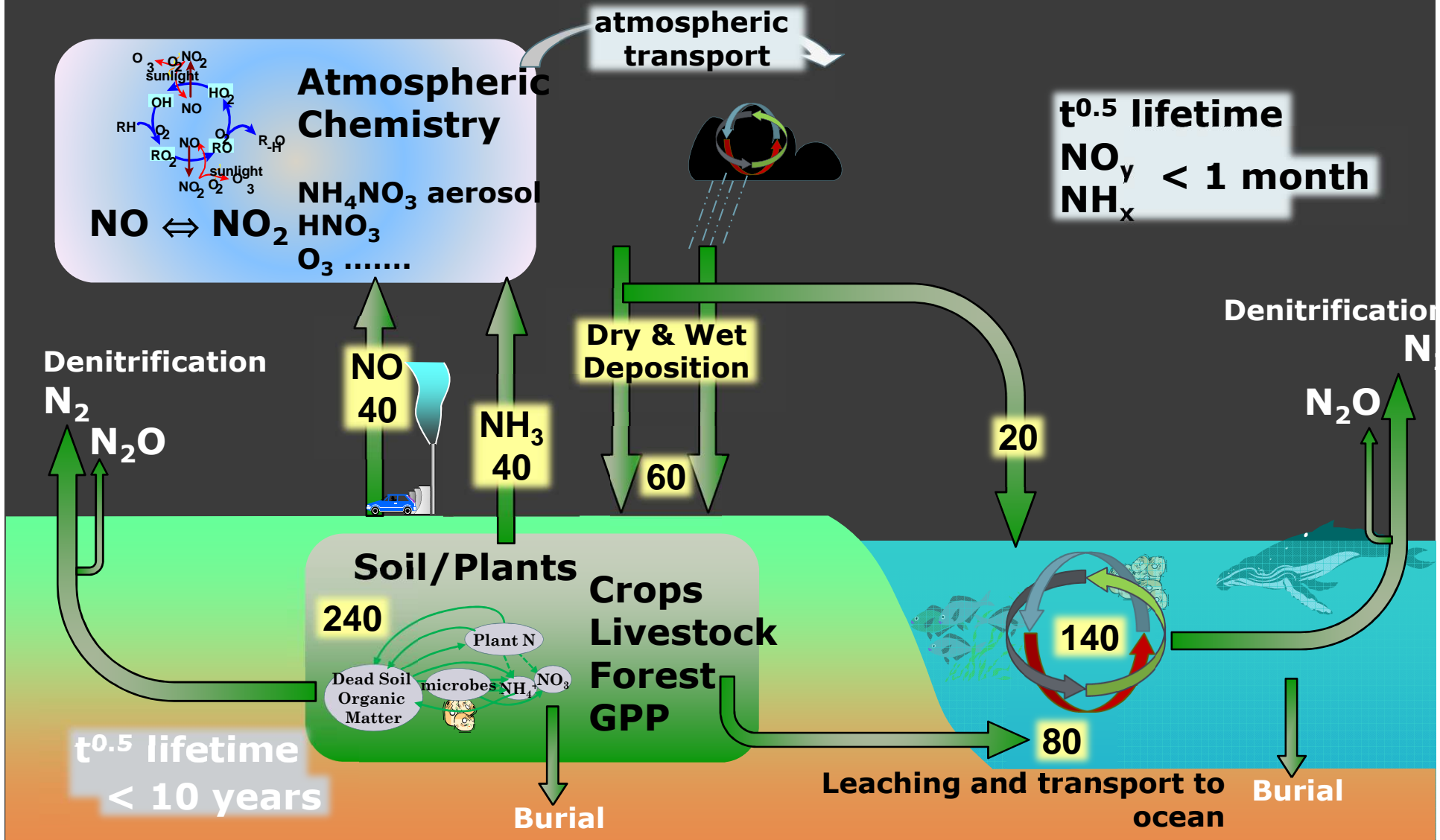
Fritz Haber

Le cycle de l'azote

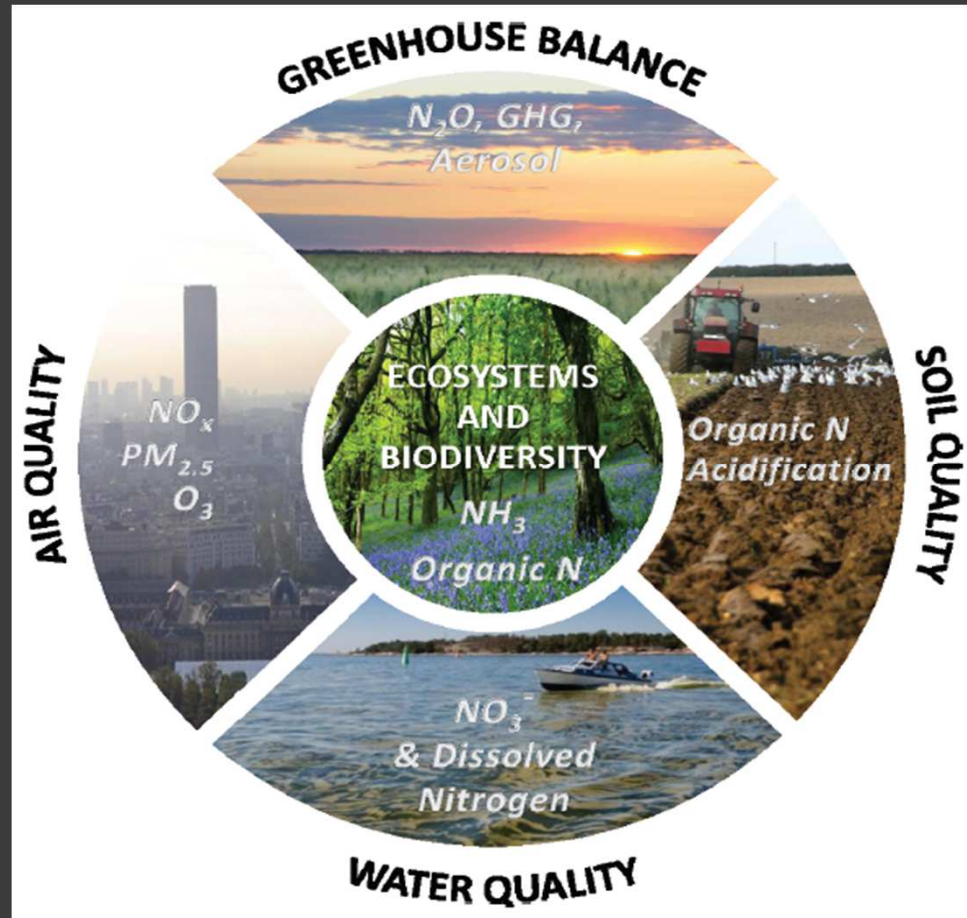
# MAIN FLUXES : NITROGEN FIXATION $N_2 \rightarrow TO N_R$ (Tg-N)



# NITROGEN: PROCESSING



# L'AZOTE RÉACTIF A DE MULTIPLES IMPACTS

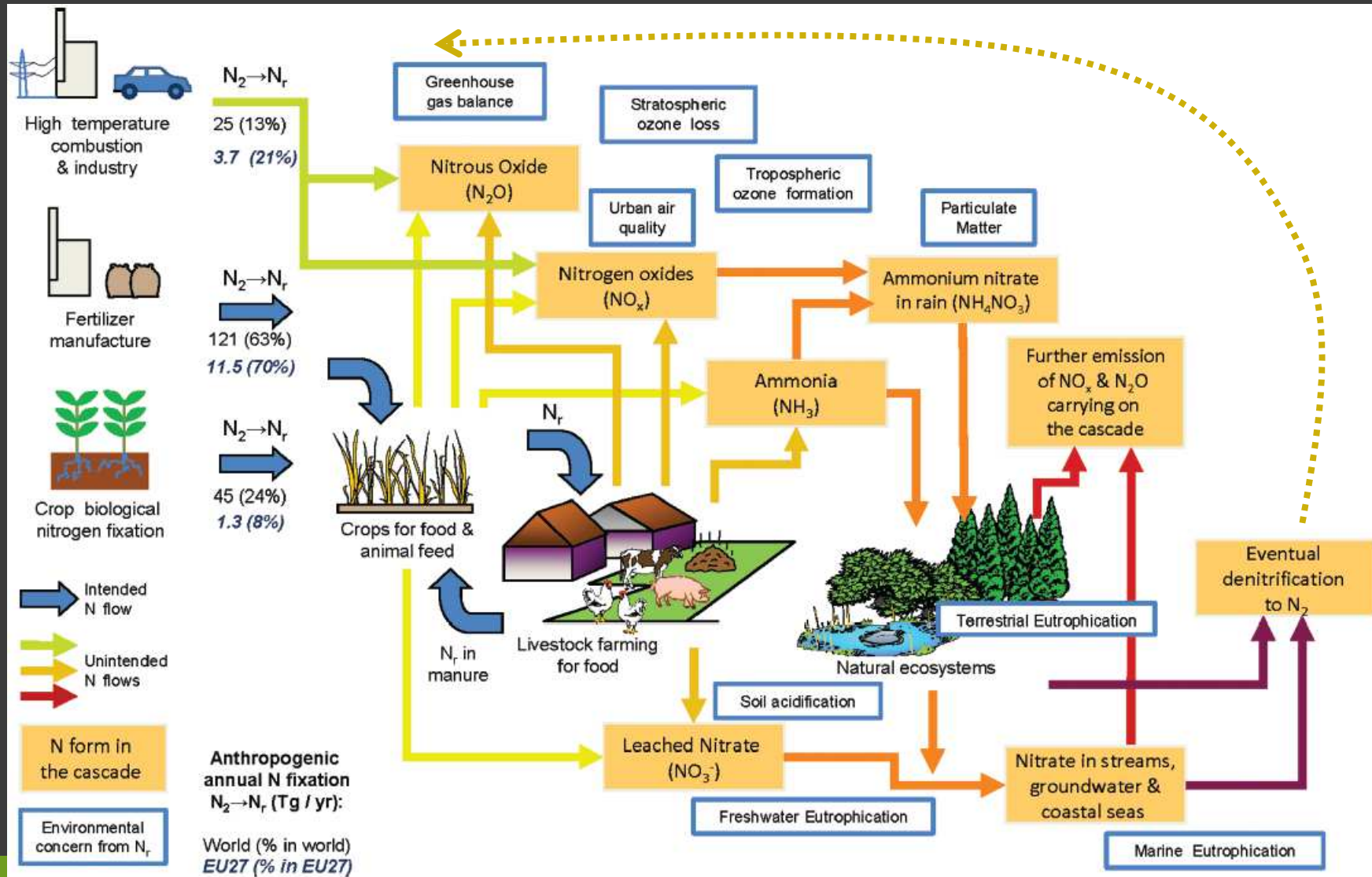


Sutton et al. 2011

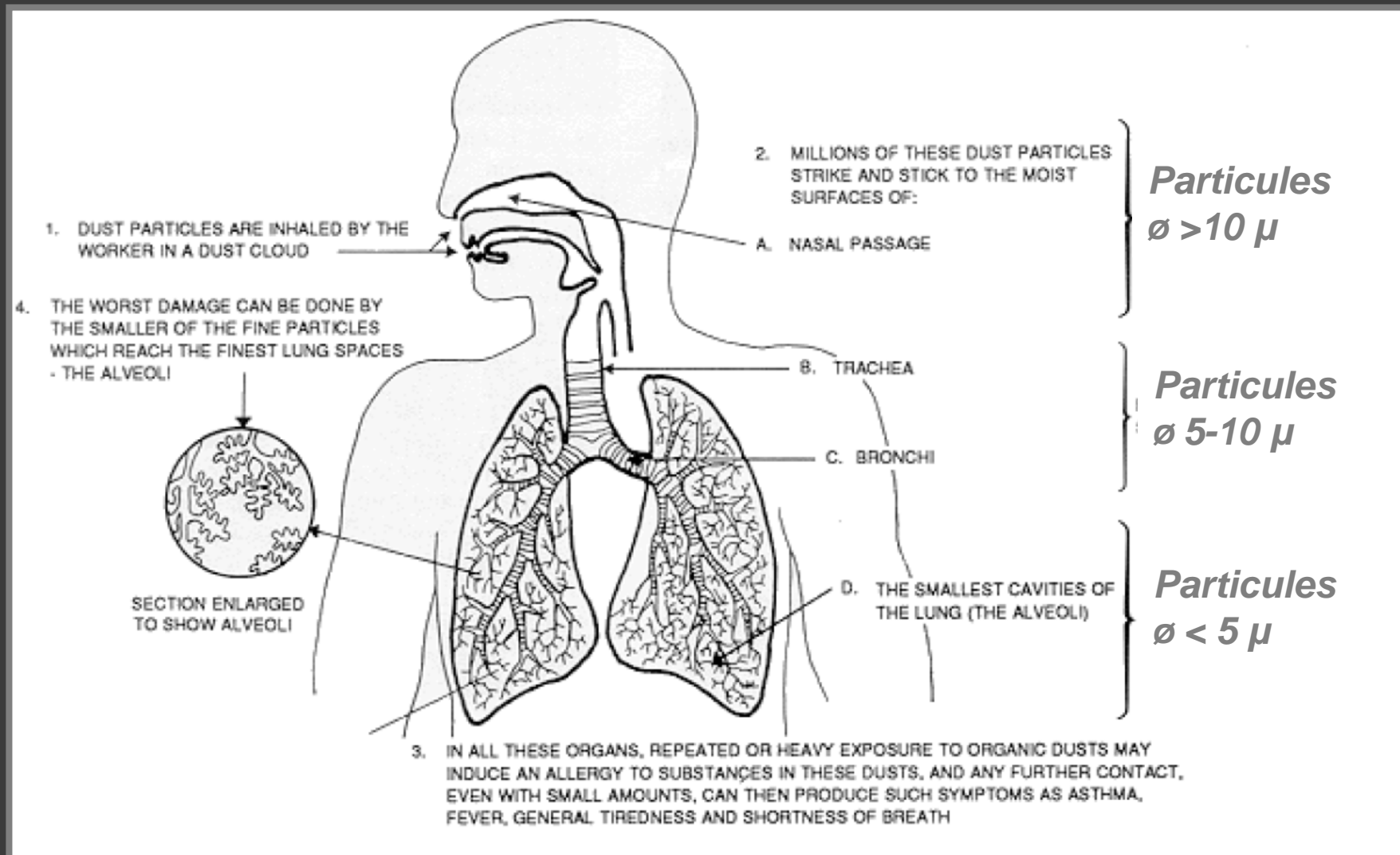
- Effet de serre
- Qualité de l'air
- Qualité des eaux
- Qualité des sols
- Biodiversité & écosystèmes
- Des impacts à différentes échelles de temps et d'espace
- Des interactions entre impacts



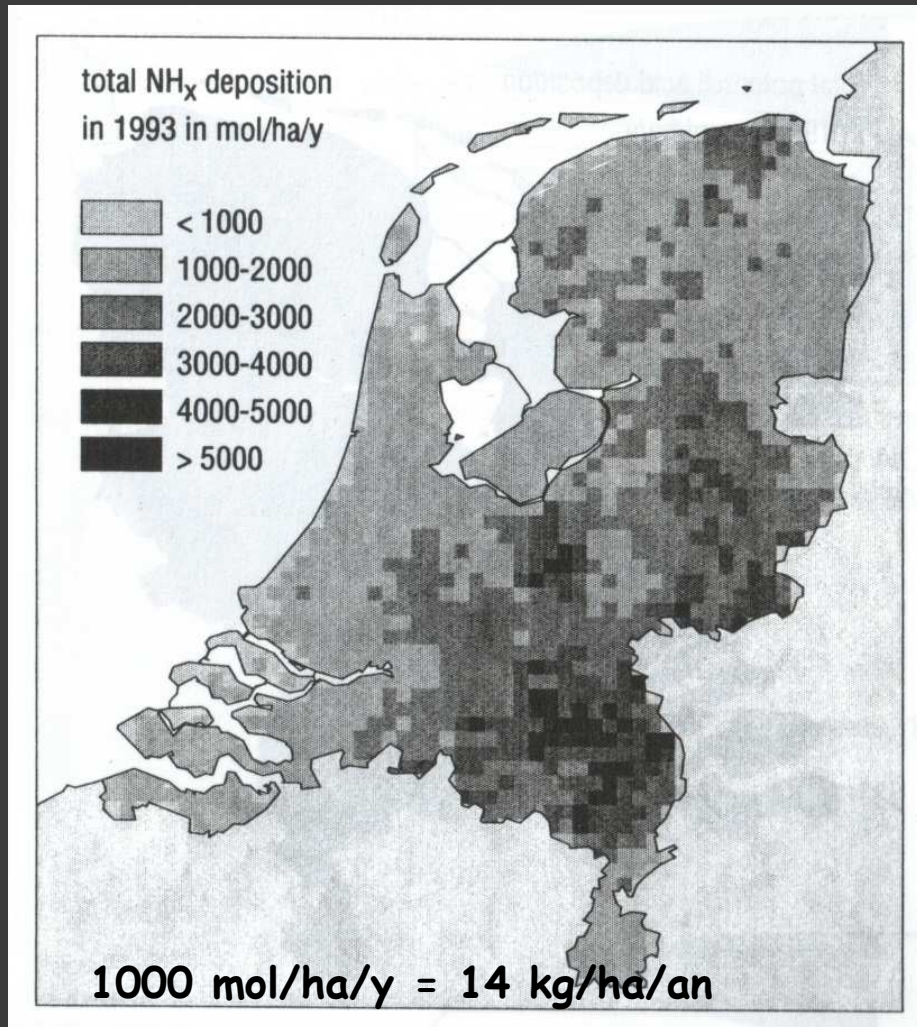
# DES IMPACTS EN « CASCADE » : UNE IMBRICATION D'ÉCHELLES ET D'IMPACTS



# IMPACTS SUR LA SANTÉ DES AÉROSOLS



# LES DÉPÔTS ATMOSPHÉRIQUES D'AZOTE



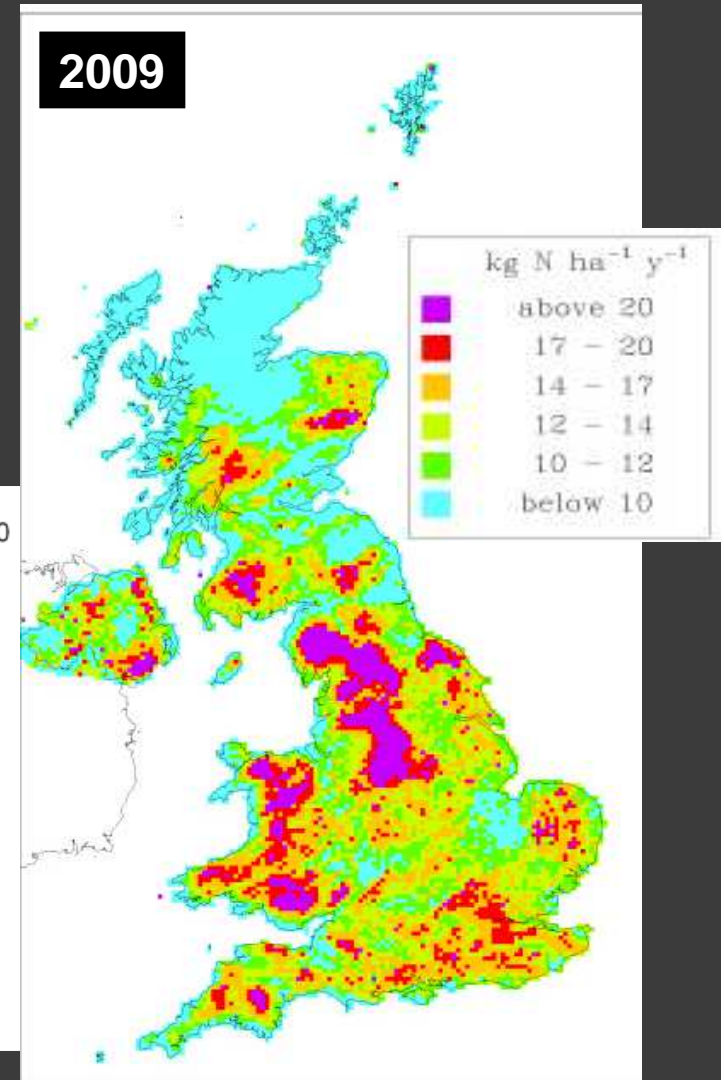
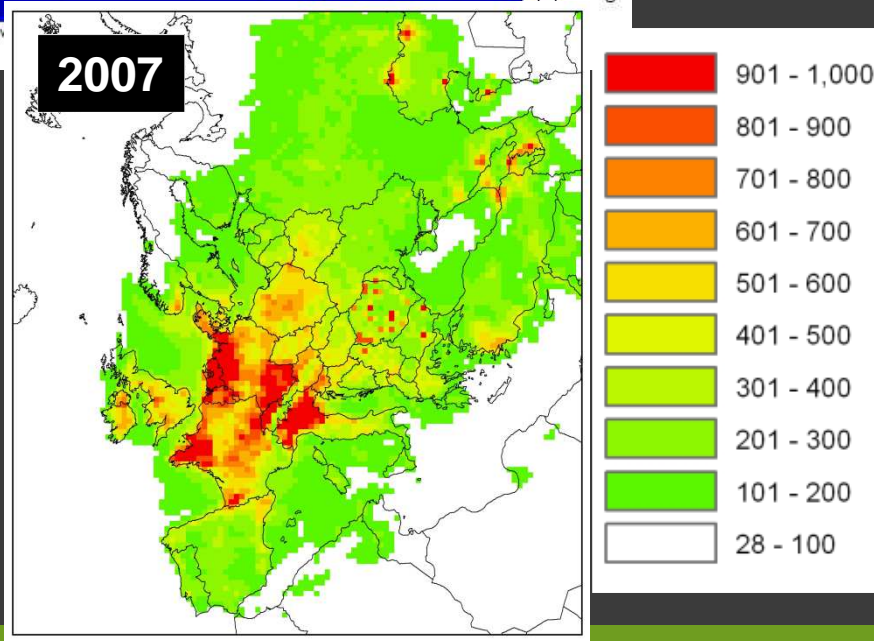
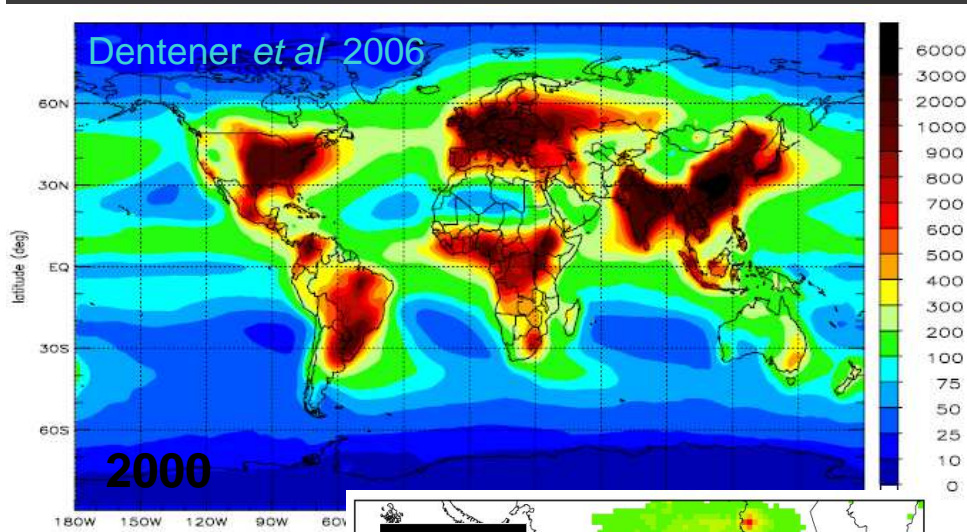
<b><math>\text{NH}_3</math></b> (en Tg/an)	Sources	67
	Puits :	
	• <i>Dépôt hum (sol)</i>	35
	• <i>Dépôt hum (océans)</i>	10
	• <i>Dépôt sec (sol)</i>	20
	• <i>réaction avec OH</i>	3

<b><math>\text{NO}_x</math></b> (en Tg/an)	Sources	48
	Puits	
	• <i>Dépôt humide (sol)</i>	19
	• <i>Dépôt hum (océans)</i>	8
	• <i>Dépôt sec (sol)</i>	16

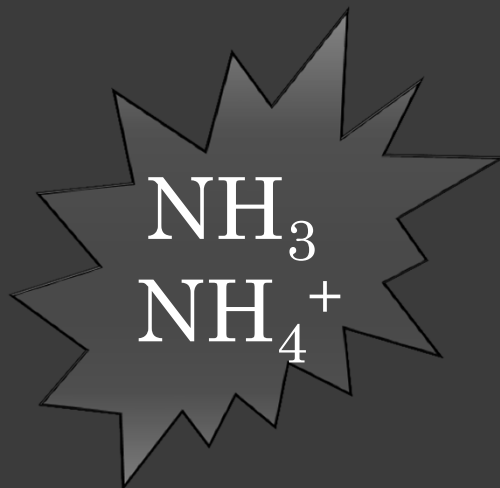
**(-) Une source de polluants pour l'environnement naturel**

**(+) Une manière efficace de « dépolluer » l'atmosphère**

# ATMOSPHERIC NITROGEN DEPOSITION: GLOBAL, REGIONAL, LOCAL (Nr mg-N m<sup>-2</sup>)



# DES EFFETS COMPLEXES SUR L'ENVIRONNEMENT EXEMPLE DE L'AMMONIAC



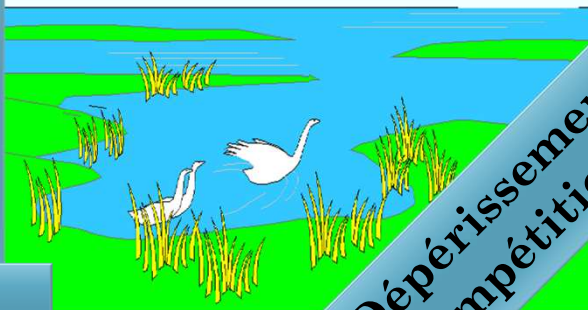
Formation d'aérosols



Acidification

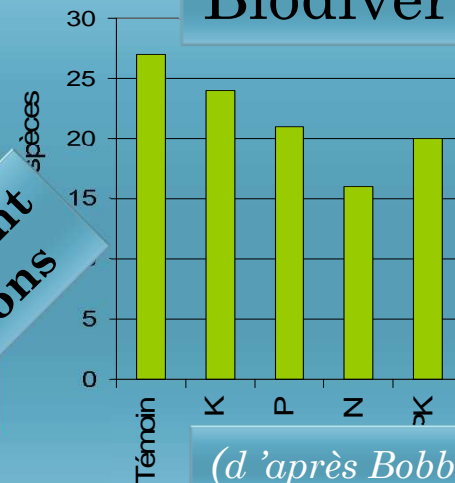


Eutrophisation



Dépérissement  
compétitions

Biodiversité



Prairie

(d'après Bobbink, 1991)

# ILLUSTRATION D'UN EFFET D'EUTROPHISATION



Photo  
Mark  
Sutton



Photo: Gilles Billen

**Gauche:** lichen dans un environnement naturel

**Droite:** lichens remplacés par des algues sous l'effet de l'ammoniac

**Excès d'azote en zone côtière** sur la formation d'algues (*Phaeocystis globosa*) à l'origine de la formation de mousse gélatineuse

# PERTE DE BIODIVERSITÉ

Sous-bois des forêts suédoises

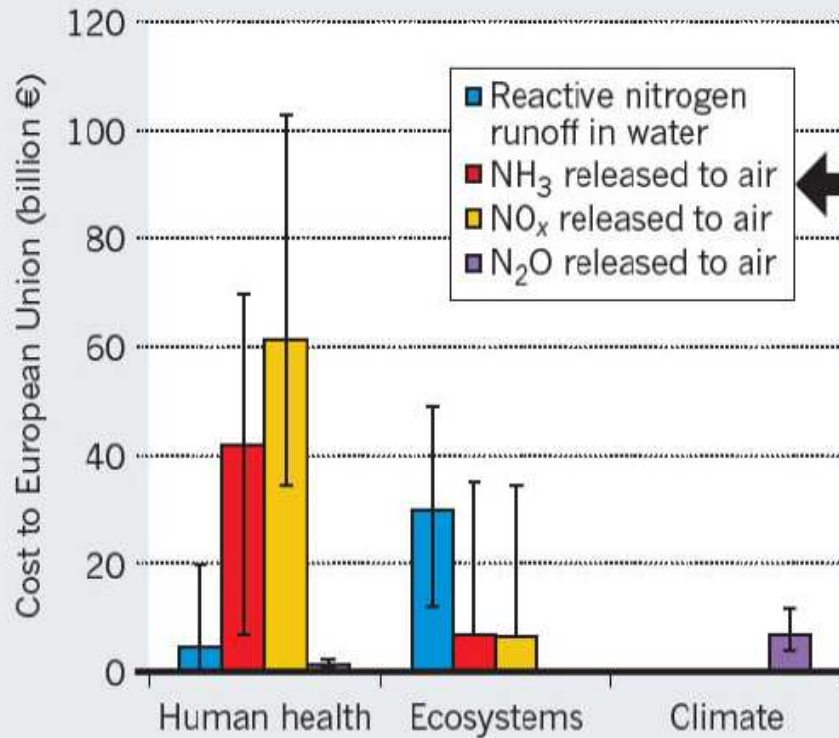
+15 kg N / ha / an



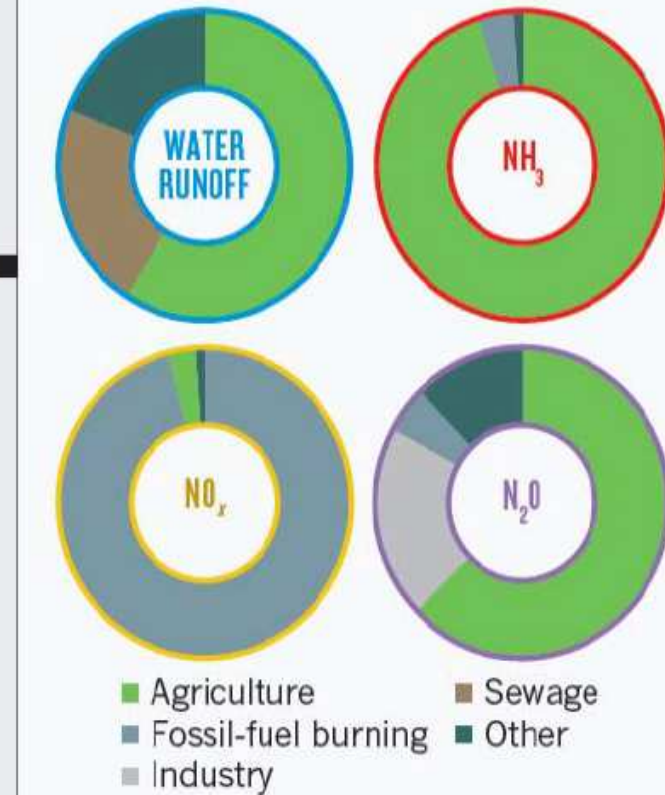
# UN COÛT IMPORTANT POUR LA SOCIÉTÉ

## DAMAGE COSTS OF NITROGEN POLLUTION

Agriculture and fossil-fuel burning load the environment with reactive nitrogen, affecting water, soils and air.



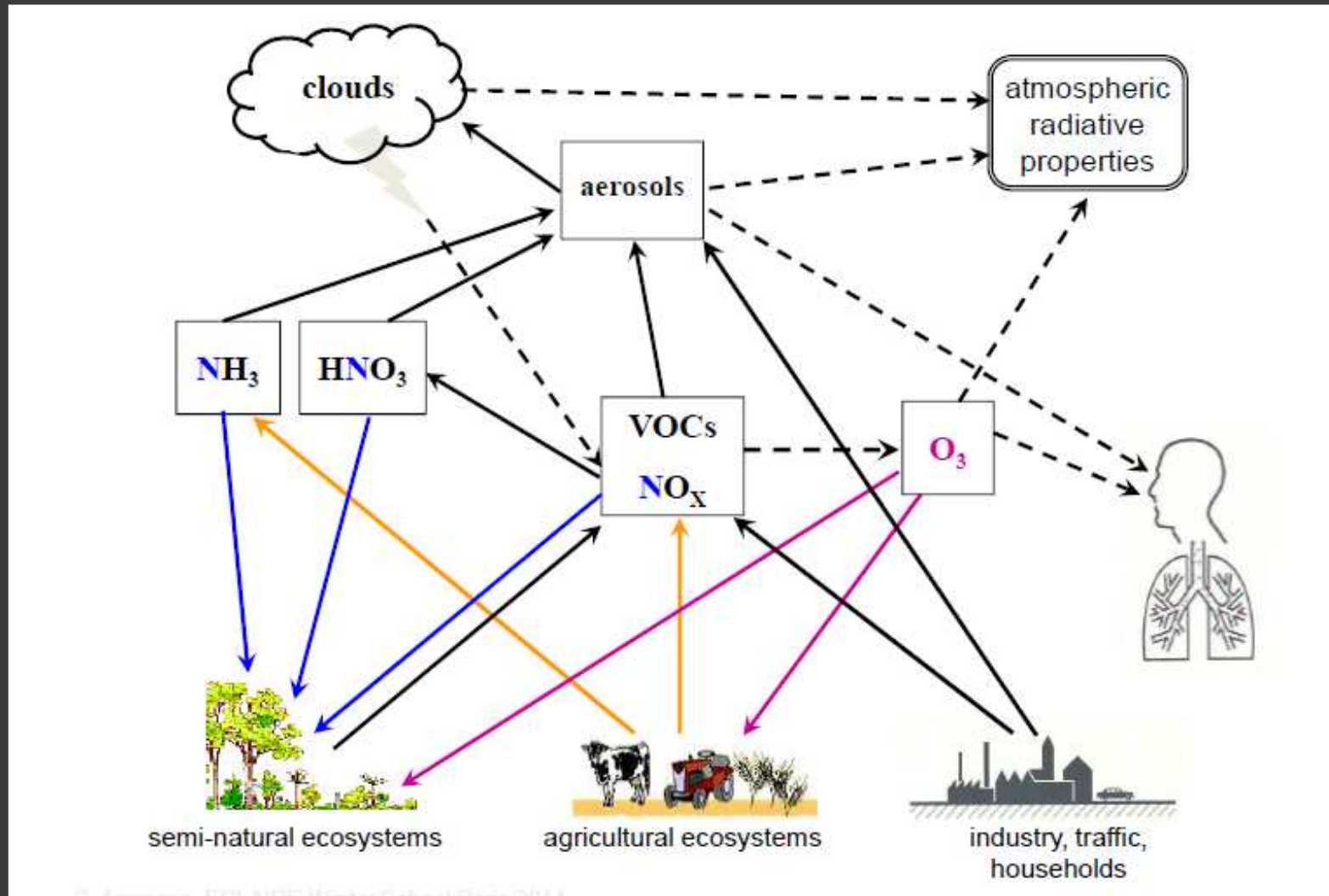
## MAIN NITROGEN SOURCES



Sutton et al. 2011

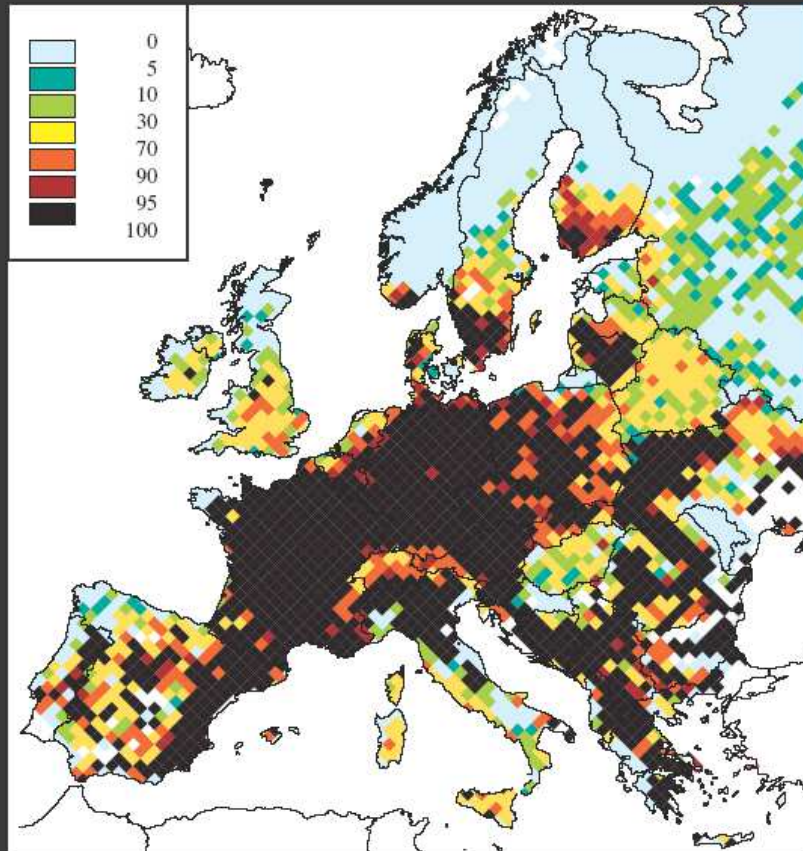


# DES EFFETS INDIRECTS FORTS



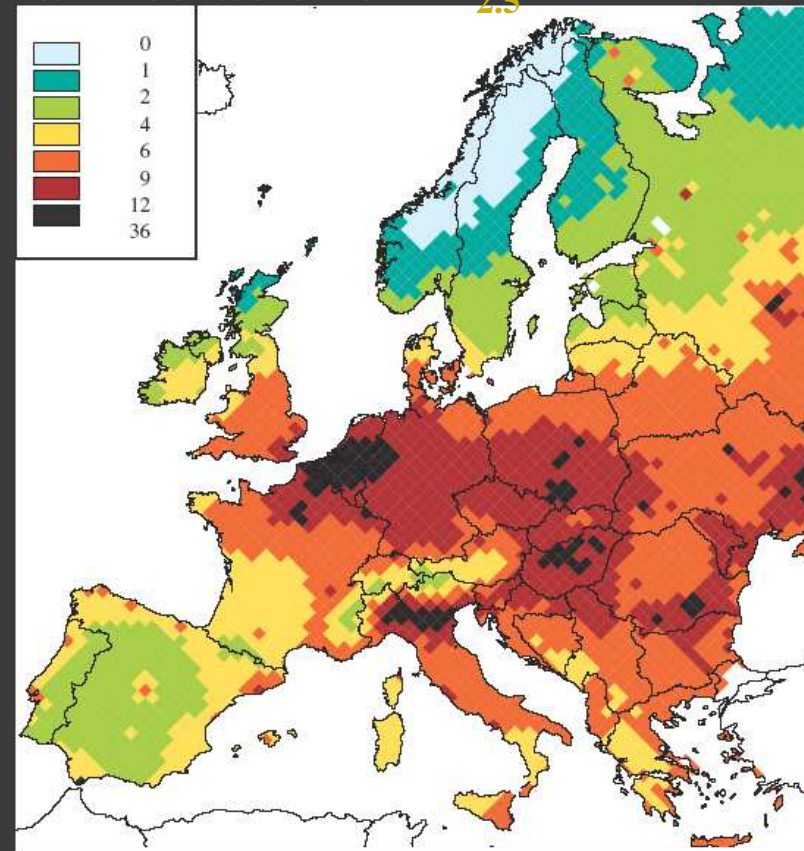
# Effets de l'azote à l'échelle Européenne

## Critical load exceedance for N effects on ecosystems



% of ecosystems area with grid  
average N deposition > eutrophication  
(for 2000)

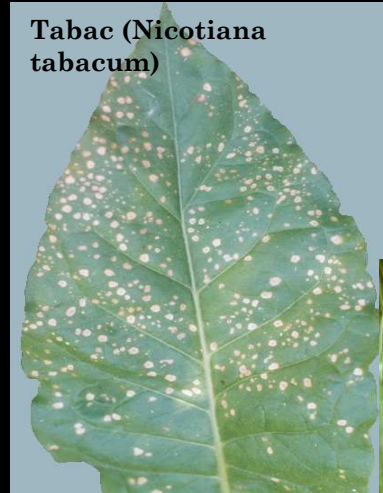
## Loss in life expectancy attributable to PM<sub>2.5</sub>



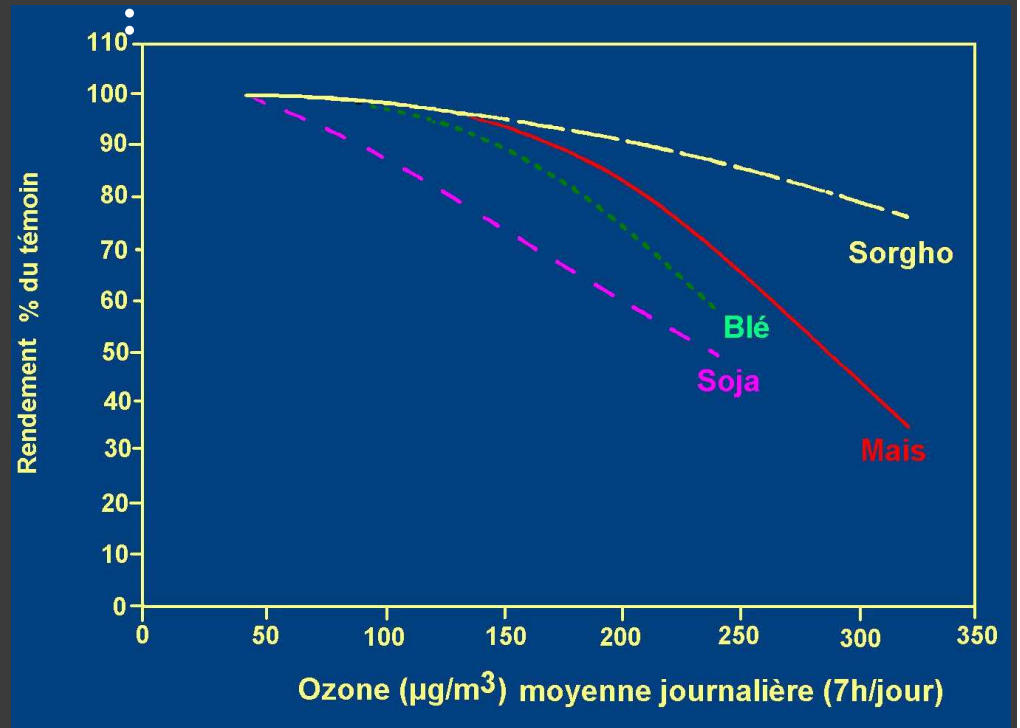
Loss in average life expectancy  
in months due to identified  
anthropogenic PM<sub>2.5</sub> (for 2000)

# EFFET DE L'OZONE SUR LES PLANTES

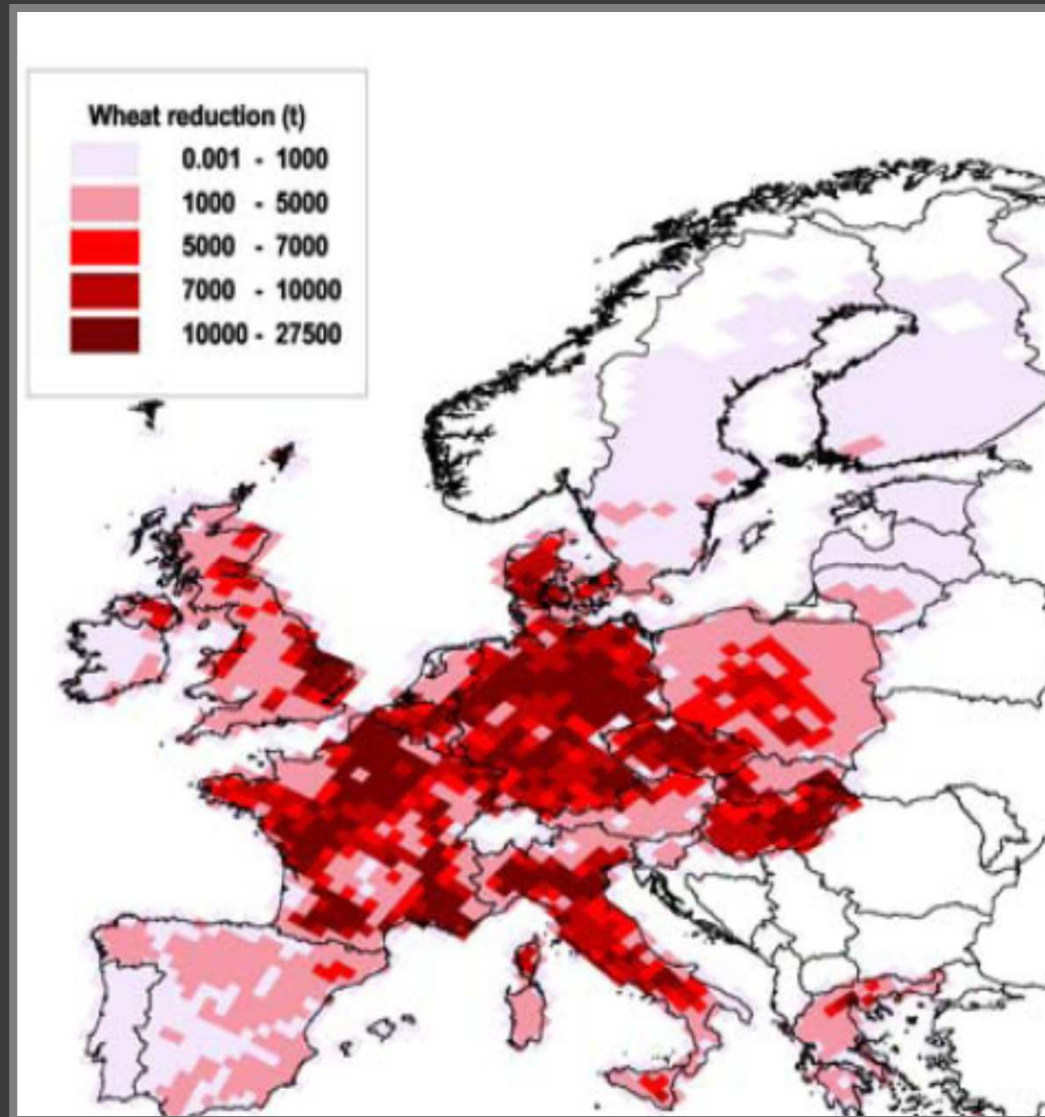
## Des dégâts foliaires :



## Des impacts agronomiques

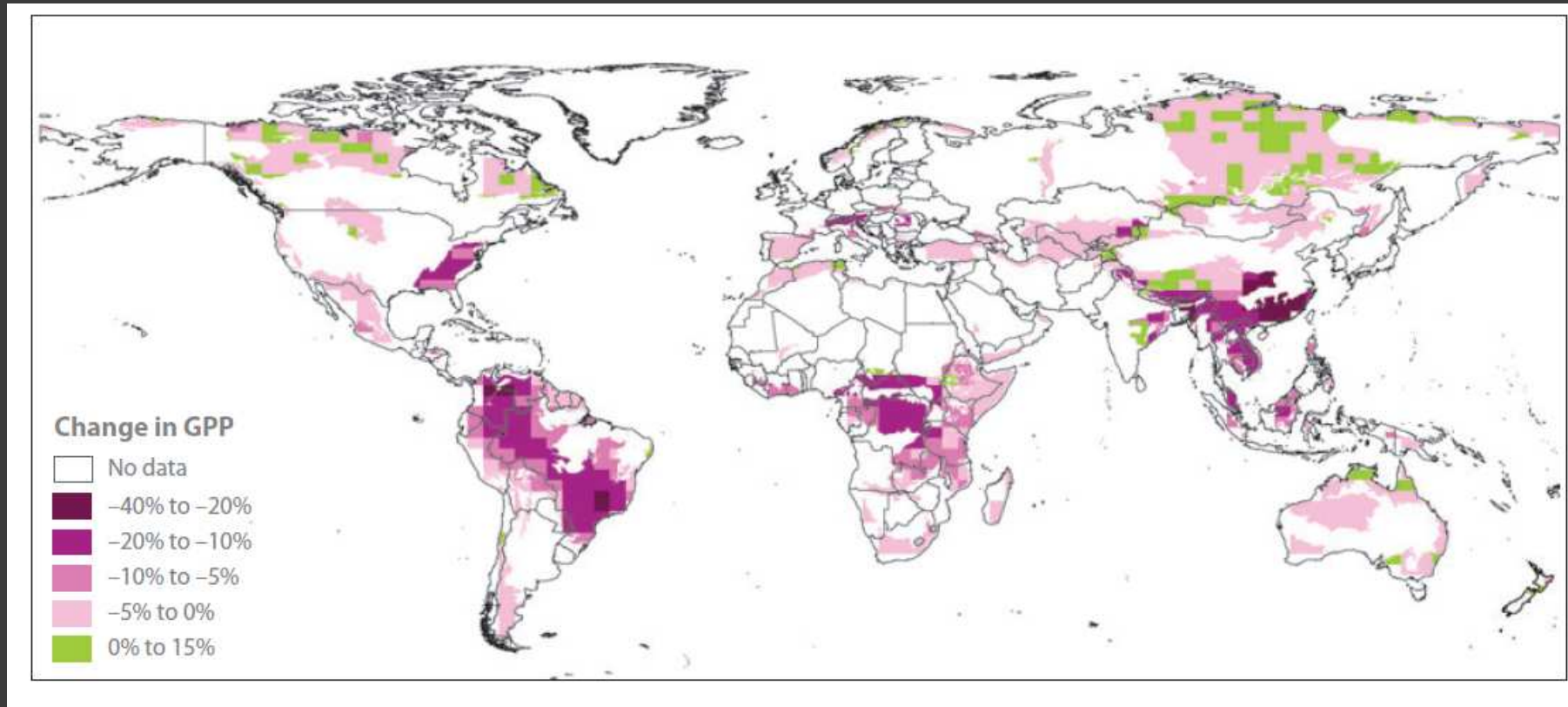


# IMPACT DE L'OZONE SUR L'AGRICULTURE



Pertes de production dues à l'impact de l'ozone sur le blé

# COMMENT ABORDER LA COMPLEXITÉ?



## Impact de l'ozone sur la production des écosystèmes

(travail engagé dans Botox)

Ainsworth et al. 2012

# COÛTS DES PERTES DE RENDEMENT LIÉS À L'OZONE EN EUROPE

(EU27+CH+NO)

	2000	2020
Pertes en valeur	3.2 milliards €	2.0 milliards €
Pertes de production	26.9 million t	16.5 million t
Proportion de la surface dépassant les niveaux critiques <sup>1</sup>	84.8 %	82.2%
Surface présentant des risques de pertes <sup>2</sup>	24.5 millions ha	24.5 millions ha

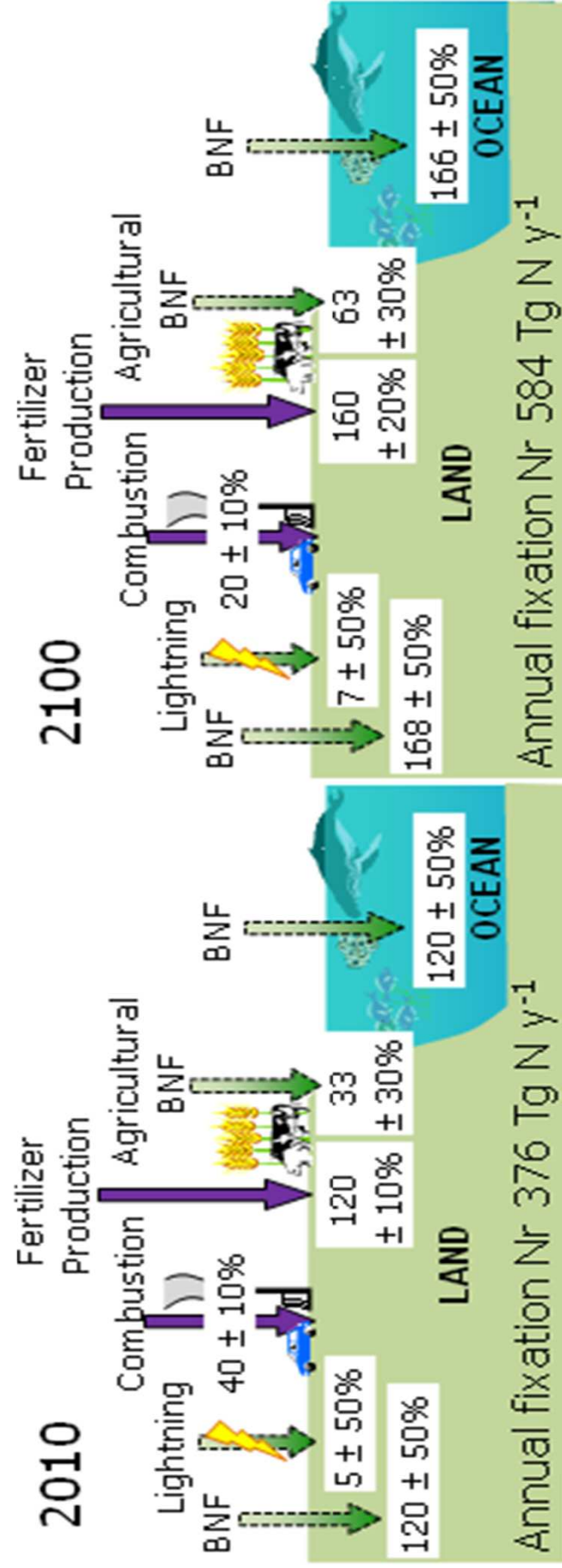
<sup>1</sup> *In wheat-growing areas*



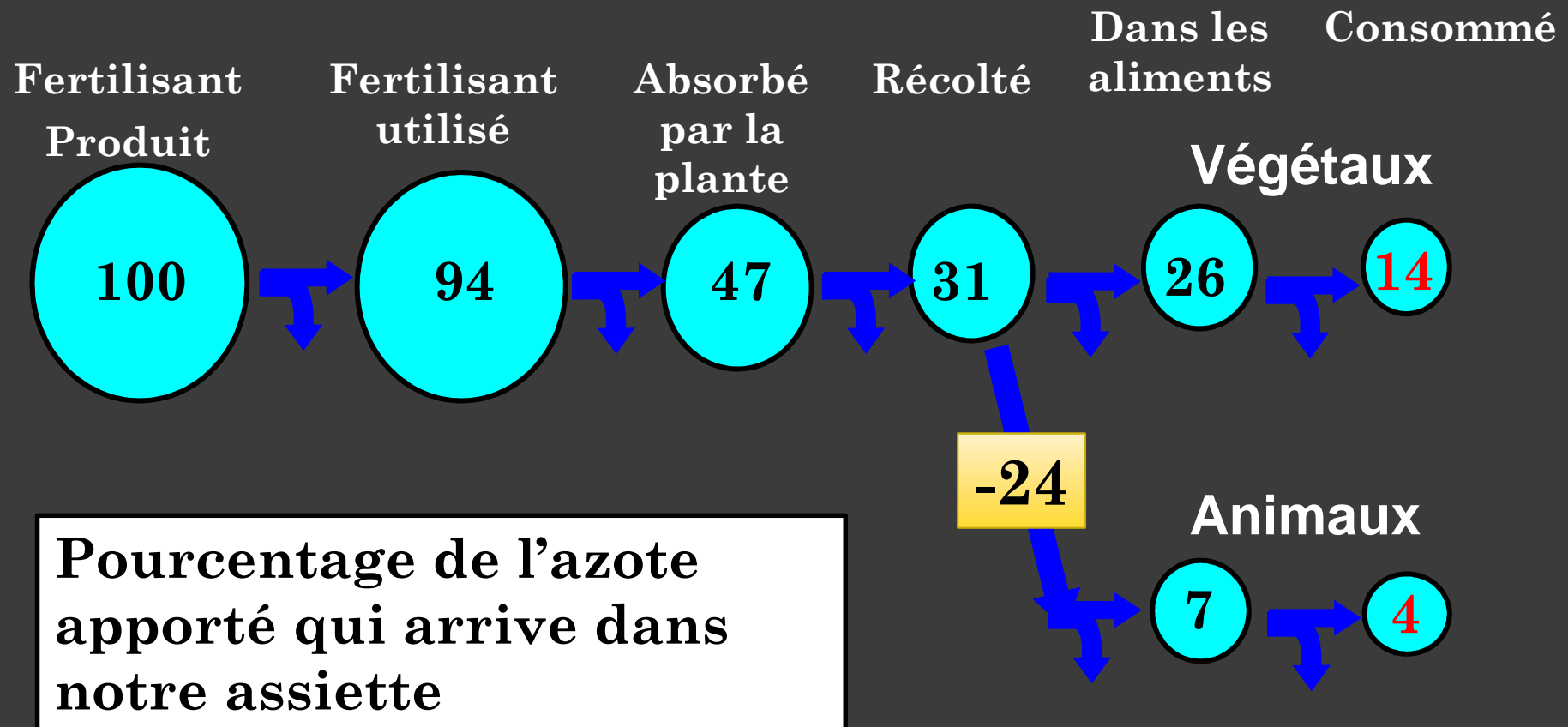
ICP VEGETATION



<sup>2</sup> *Estimated for each grid square from the mean t/ha per country*

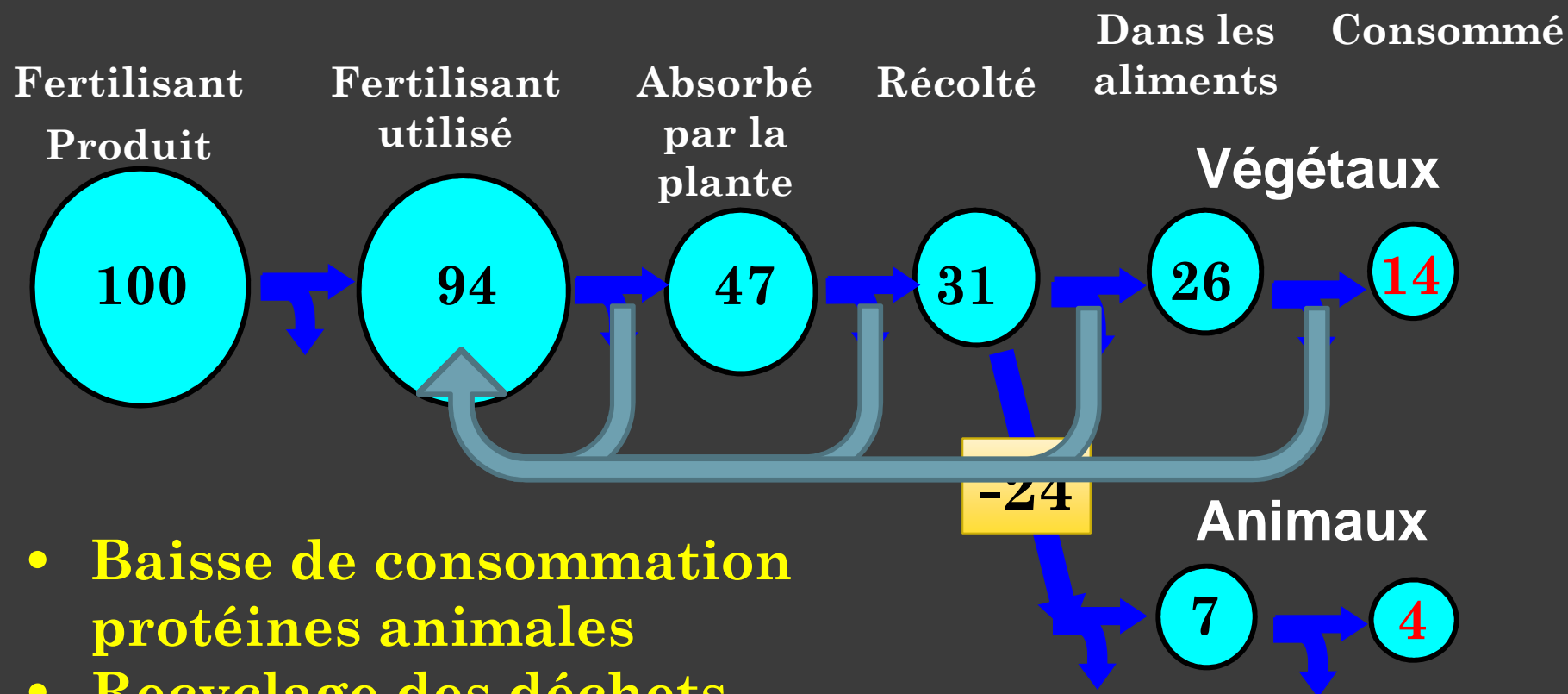


# QUELLES SOLUTIONS ? .. MIEUX UTILISER L'AZOTE ...



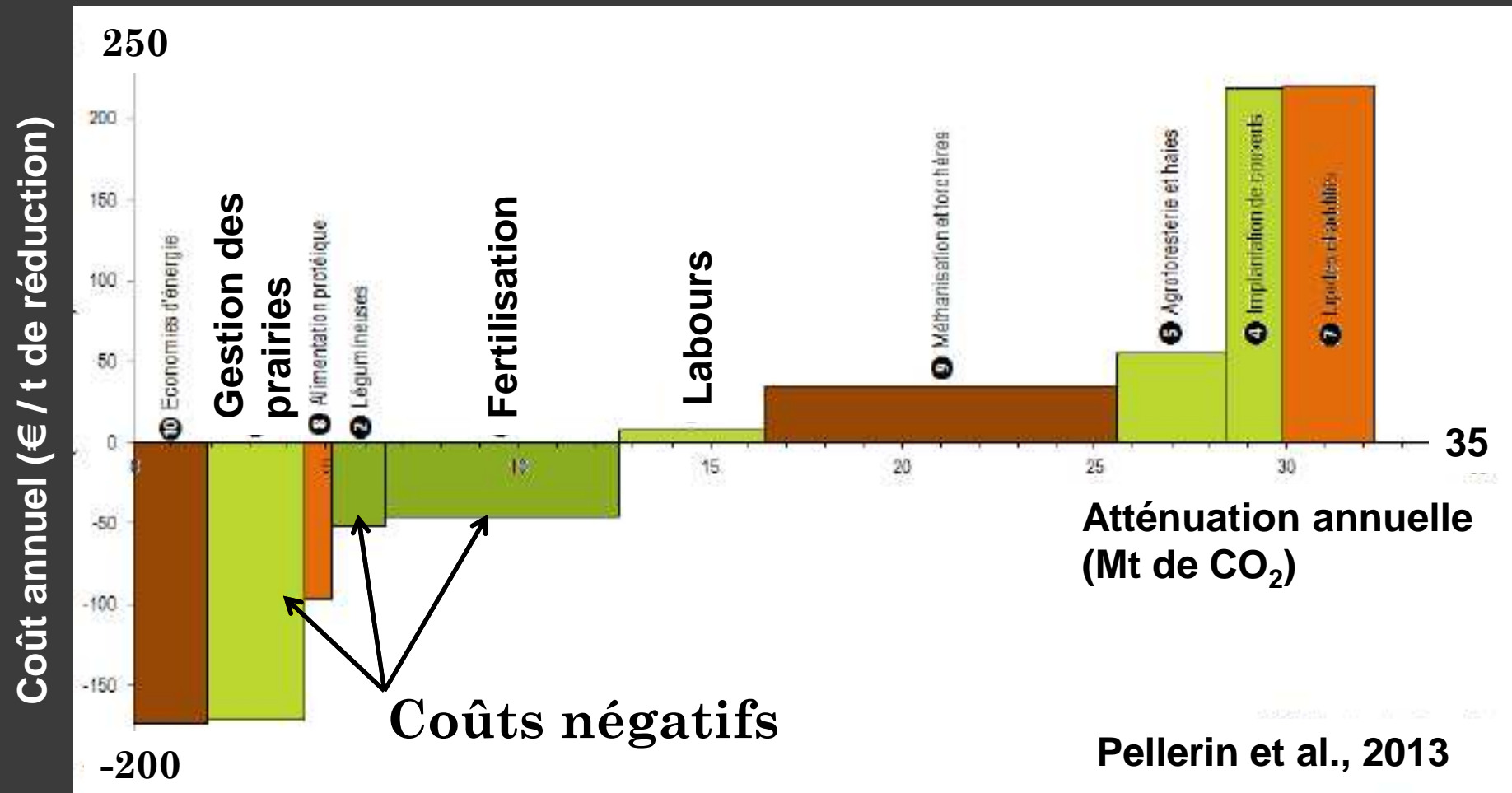


# QUELLES SOLUTIONS ? .. MIEUX UTILISER L'AZOTE ...



- **Baisse de consommation protéines animales**
- **Recyclage des déchets**
- **Apports contrôlés & cultures intermédiaires**

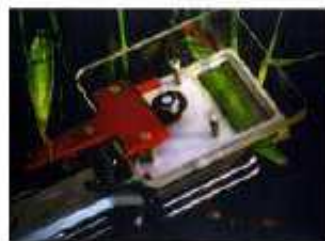
# QUELS COÛTS ?



# Time Scales and Spatial Scales



branch cuvette



leaf cuvette



soil/vegetation chamber



in-canopy profiles



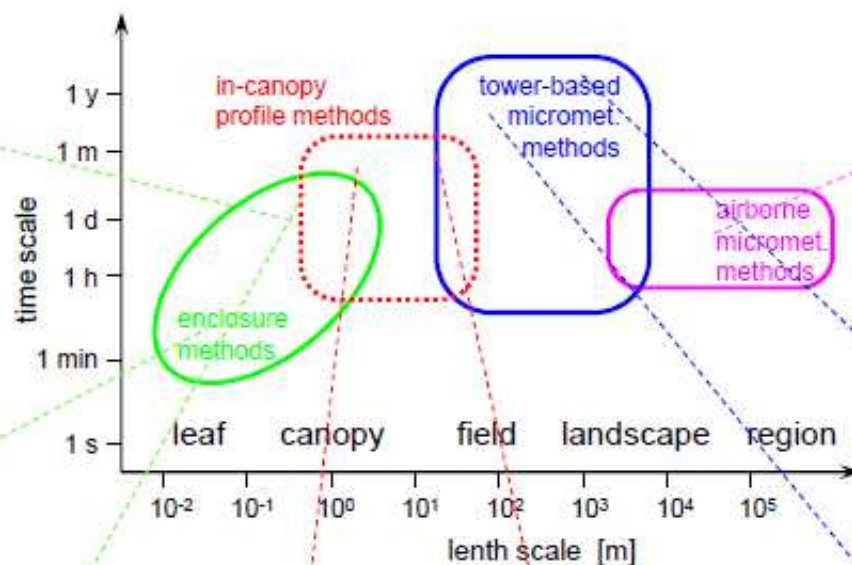
micromet. above agricultural crops



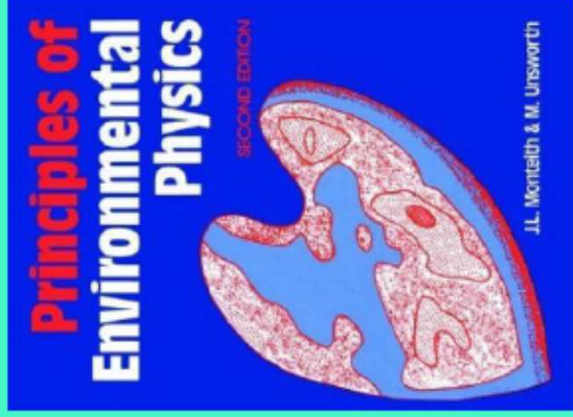
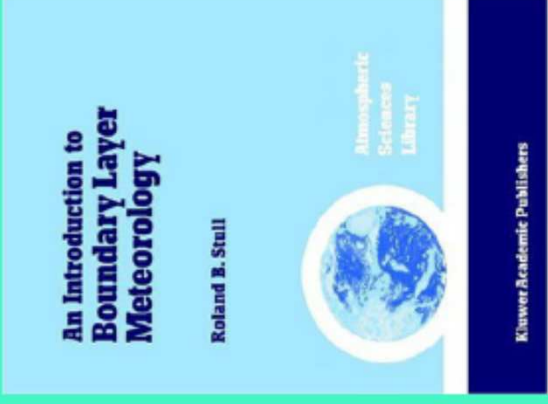
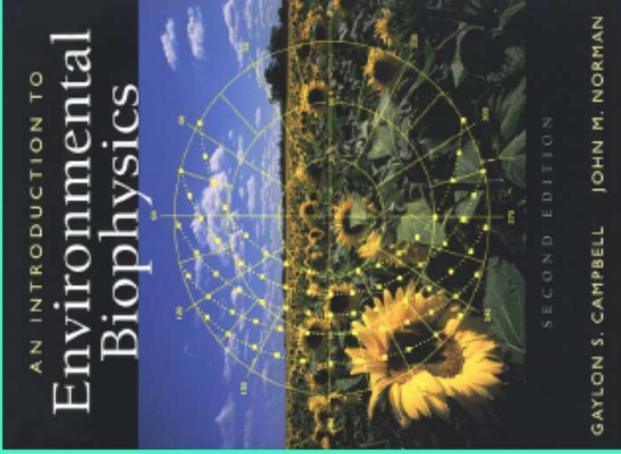
micromet. above forest

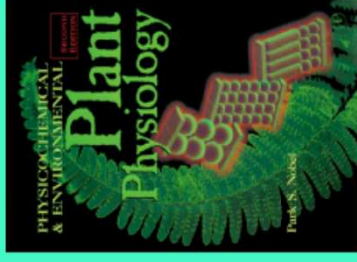


boundary layer micromet. method



C. Ammann, ECLAIRE Winter School Paris 2014





# SUPPORT DE COURS

<http://www6.versailles-grignon.inra.fr/ecosys>

(aller dans l'onglet Productions / Cours)

Google :  
Loubet INRA ECOSYS

