



# *CYCLE ET QUALITE DE L'EAU*

## *Bassins versants et zone côtière*

Jean-Paul Ducrotoy

# Mastères - Sciences, technologie et santé

## Mention - Transformation et Valorisation des Ressources Agrobiologiques et Inorganiques

# Traitement et Qualité de l'Eau



# Thématiques abordées

- Séance 1 Cycle de l'eau
- Séance 2 Cycles biogéochimiques
- Séance 3 La zone côtière
- Séance 4 Qualité de l'eau
- Séance 5 Qualité de l'eau
- Séance 6 Pollution
- Séance 7 Pollution / Restauration
- Séance 8 Restauration

# Masters - Sciences, technologie et santé

## Mention - Transformation et Valorisation des Ressources Agrobiologiques et Inorganiques (TVRAI)

### Analyse, Contrôle Qualité - **Traitement et Qualité de l'Eau (ACQ-TQE)**

BASSINS VERSANTS

CYCLES BIO-GEO-CHIMIQUES SUR LES BASSINS VERSANTS

INTRODUCTION A LA ZONE COTIERE

QUALITE DE L'EAU : EXEMPLE DES MILIEUX ESTUARIENS ET LITTORAUX



TAMING LUPUS • LAST OF THE WILD EQUIDS • THE GENIUS OF NIKOLA TESLA

# SCIENTIFIC AMERICAN

**BIG BANG BUNGLED:**  
6 Common Errors  
about the  
Expanding Universe

MARCH 2006

DID HUMANS  
**ICE**  
8,000 YEARS OF C

Fuel-Cell Cars:  
The Future May  
Be Stuck in  
Neutral

Virtual  
Smallpox  
in a  
Real City



**Spécial été**  
Entretien avec le Prix Nobel Paul Crutzen  
« Et si l'on manipulait le climat ? »

L'ACTUALITÉ DES SCIENCES  
**La Recherche**

ASTRES MATIÈRE TERRE VIE ARCHÉOLOGIE SAPIENS SANTÉ

## Climat

# CE QUI VA CHANGER

- RÉCHAUFFEMENT
- MONTÉE DES EAUX
- GULF STREAM
- FONTE DES GLACES
- BIODIVERSITÉ
- LES GAGNANTS ET LES PERDANTS

Rec to basics: Comment ça marche  
LE TRIANGLE LES PNEUS QUI ROULENT À PLAT

APP. COMBATTRE LE BILLET PAR LE BRUIT

Jeux GEYSER EN ROUTE

La gravité en cartes • Plantes : de l'ou

# SCIENCE

Novembre 2006



Enquêtes policières et séries télévisées

- Les pré-Aztrèques, experts en irrigation
- Nouvelle hypothèse pour les extinctions massives



Premières images du champ magnétique des étoiles



# Lecture sur le changement climatique

## Un impact venu des profondeurs

Au cours des ères géologiques, la vie sur Terre a subi de grandes extinctions en masse. Certaines seraient dues à un puissant effet de serre et au dégagement de gaz toxiques – et non à la chute d'un astéroïde.

Peter Ward

**S**elon le paradigme de l'impact, l'extinction des dinosaures et d'autres espèces vivantes au début du Crétacé serait due à la chute d'un astéroïde. Cette théorie a été proposée par Walter Alvarez, de l'Université de Californie aux États-Unis, à un moment où la recherche biologique était à l'apogée de son développement. Elle a été soutenue par la découverte de couches géologiques riches en iridium, un élément chimique rare, dans des couches géologiques situées au-dessus de l'extinction en masse. Mais dans les années 1980, la compréhension des extinctions en masse a progressivement évolué. L'impact de l'astéroïde n'est plus considéré comme la cause unique de l'extinction en masse. Les scientifiques ont commencé à proposer que les extinctions en masse sont dues à un puissant effet de serre et au dégagement de gaz toxiques – et non à la chute d'un astéroïde.



# Sites sur les cycles biogéochimiques et le climat

<http://www.bbc.co.uk/climate/>

<http://climatechange.unep.net/>

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/>

<http://www.grida.no/>

<http://www.ec.gc.ca/water/>

# **CYCLES BIOGEOCHIMIQUES & NUTRIMENTS DANS LA BIOSPHERE**

Jean-Paul Ducrottoy

# CYCLES BIOGEOCHIMIQUES & NUTRIMENTS DANS LA BIOSPHERE

1. INTRODUCTION
2. CYCLE DU CARBONE
3. CYCLE DE L'EAU
4. CYCLE DU PHOSPHORE
5. CYCLE DU SOUFRE
6. CYCLE DES MINERAUX



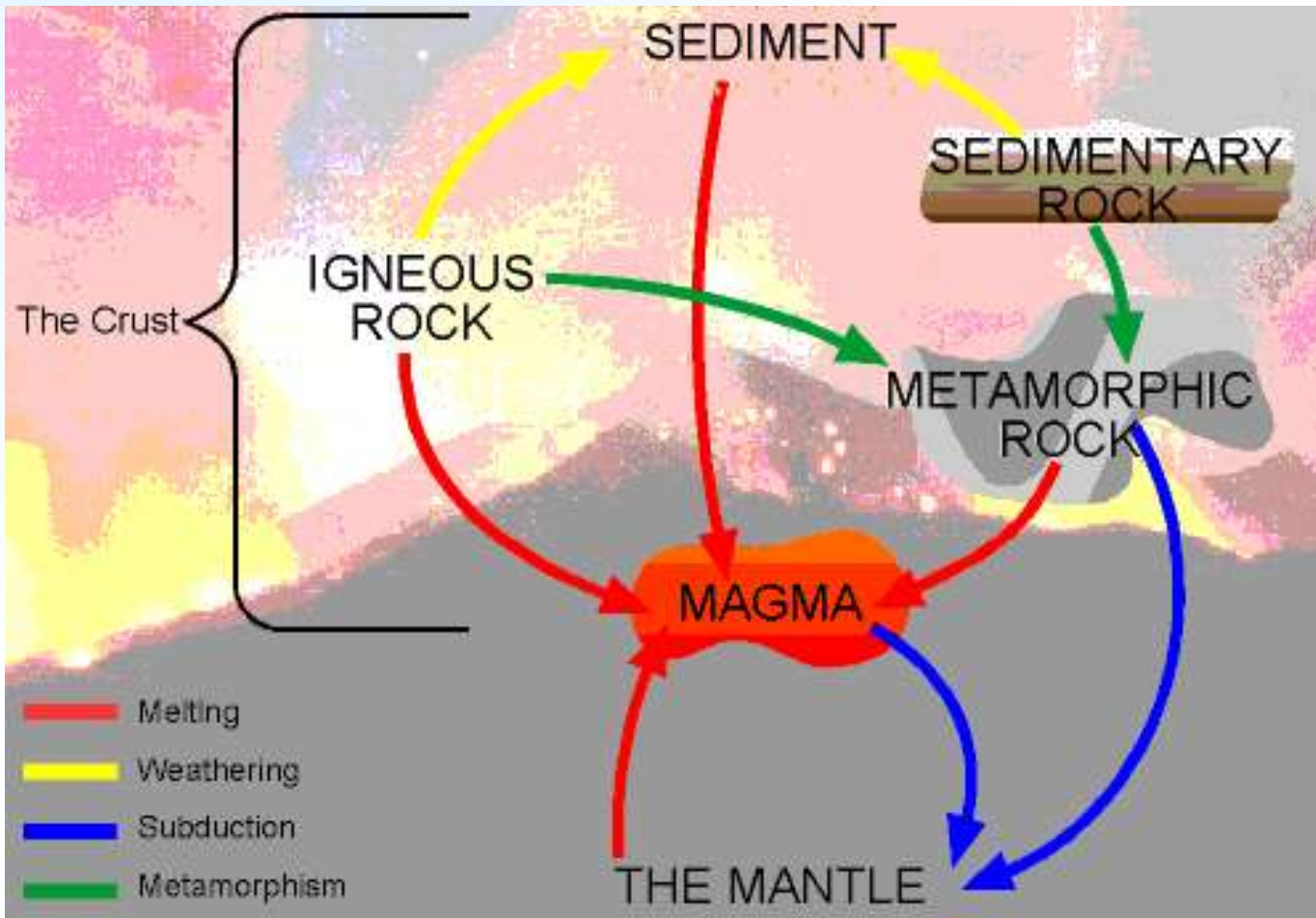
# CYCLES BIOGEOCHIMIQUES & NUTRIMENTS DANS LA BIOSPHERE

1. INTRODUCTION
2. CYCLE DU CARBONE
3. CYCLE DE L'EAU
4. CYCLE DU PHOSPHORE
5. CYCLE DU SOUFRE
6. CYCLE DES MINERAUX

# La biogéochimie

- Etude de l'intervention des êtres vivants dans la chimie de l'environnement : air, eau, sol
- ✳ Distribution géographique des matériels utilisés par les organismes
- ✳ Régulation géochimique des écosystèmes = dynamique

# Le cycle des roches



# La biosphère

Carbone sous forme de  $\text{CO}_2$

Azote sous forme de  $\text{N}_2$

Calcium dans  $\text{CaCO}_3$ ,  $(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH})$  *apatite*

Azote sous forme de  $\text{NO}_3$

Carbone dans la cellulose

Phosphore dans l'ATP

Azote dans les acides aminés



# the biosphere as a terrestrial envelope

receives  
**energy**  
from the  
sun

a region in which  
**liquid water** exists  
in substantial  
quantities

organisms  
elaborate systems  
of **organic  
macromolecules**

dispersed in  
**aqueous medium**

interface between  
states of matter

*liquid*

*solid*

*gaseous*

# Processus biologiques

## ■ Rétention d'éléments biogènes

→ Productivité

## ■ Restitution

→ Mort des organismes

→ Précipitations qui lavent les feuilles

→ Sécrétion / Excrétion

## ■ Absorption = Rétention – Restitution

→ *bilan*

# L'écosystème

■ Système fonctionnel qui inclut une communauté vivante et son environnement

→ Elaboration

→ Circulation

→ Transformation

✳ **Sous l'action du métabolisme des êtres vivants**

■ **La biogéochimie étudie :**

• **Processus chimiques**

• **Flux d'éléments**

# ■ *Recyclage de la matiere (nutriments & eau) + flux d'energie*

✱ **cycles biogeochimiques**

## ■ *tout organisme*

- Contient de l'eau
- Utilise C H O N P S

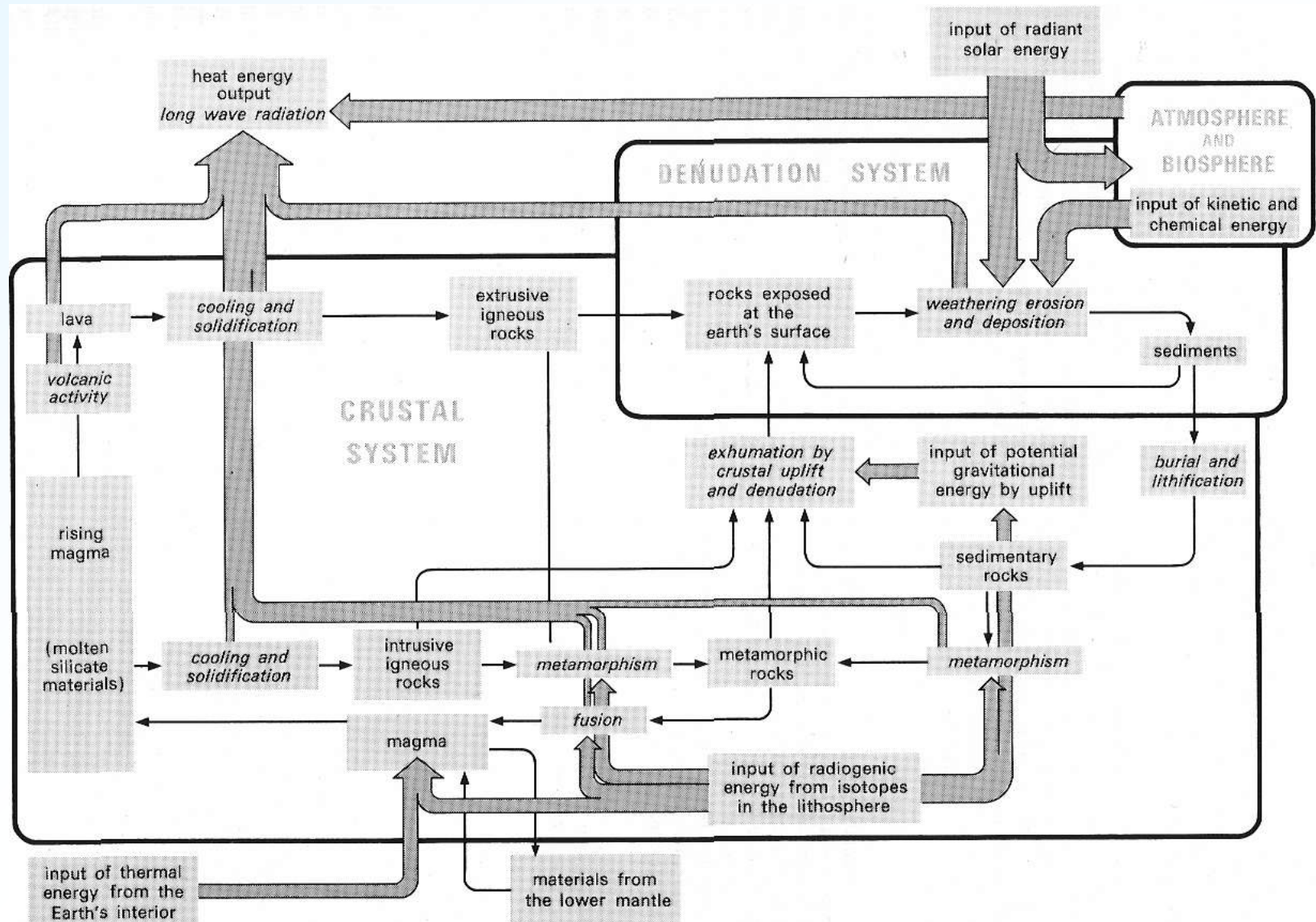
➔ **carbohydrates**

➔ **proteines**

➔ **lipides (graisses)**



# Modèle de la lithosphère montrant les flux d'énergie et de matière

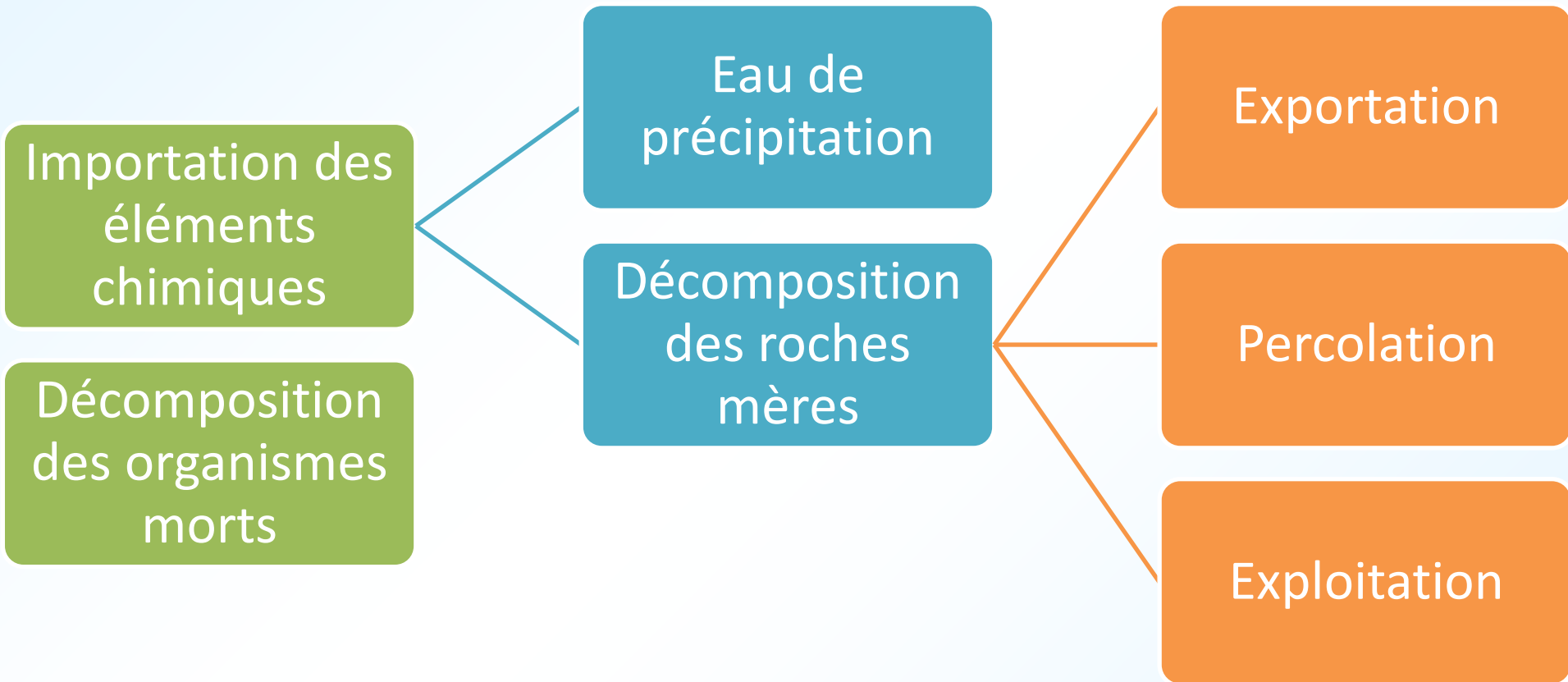


# Les principaux cycles

- Carbone
- Eau
- Azote
- Phosphore
- Soufre
- Cations biogènes ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ...)

→ Cycles joignant plusieurs écosystèmes

# Le bilan de la phytocénose



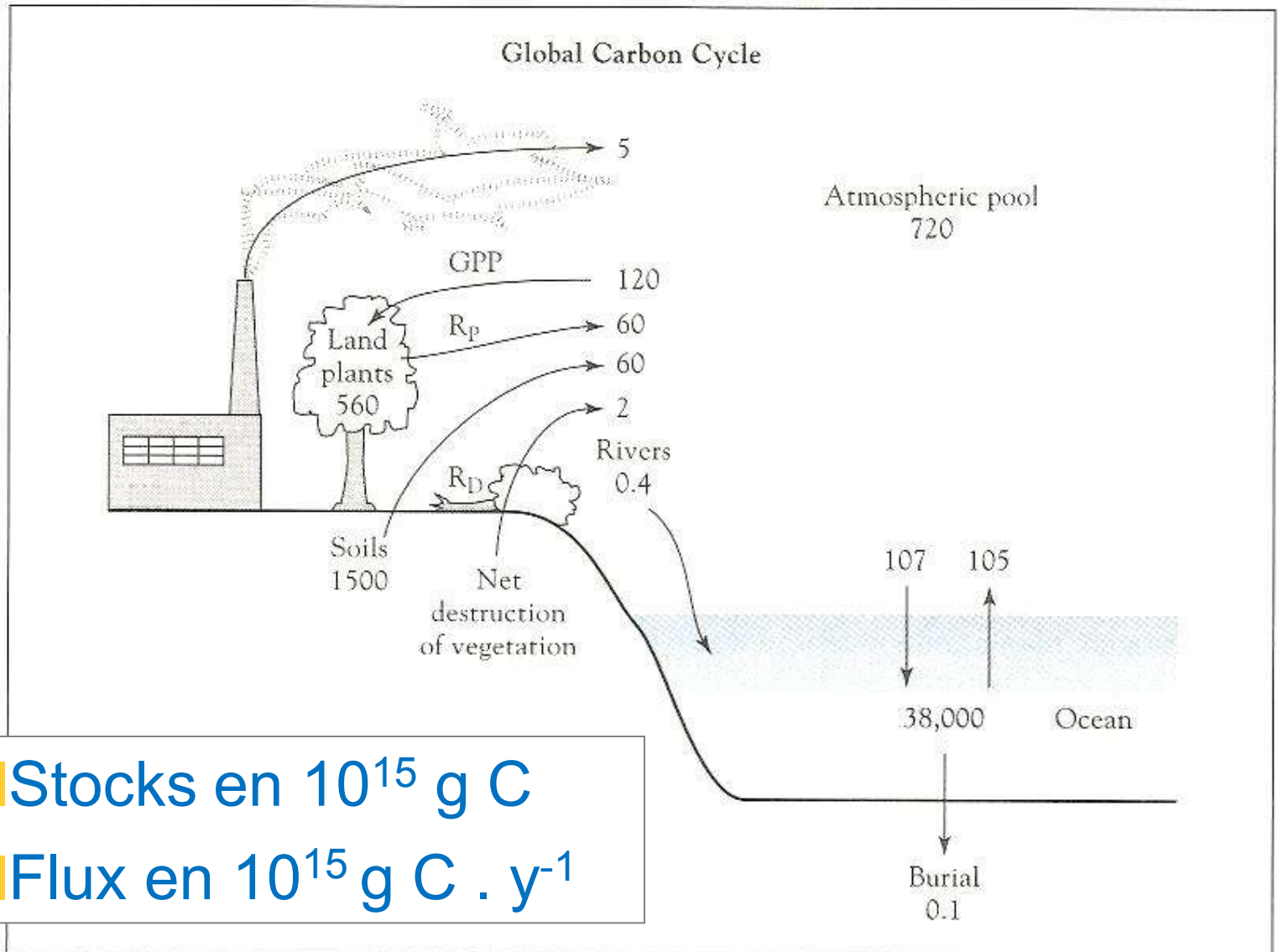
# CYCLES BIOGEOCHIMIQUES & NUTRIMENTS DANS LA BIOSPHERE

1. INTRODUCTION
2. CYCLE DU CARBONE
3. CYCLE DE L'EAU
4. CYCLE DU PHOSPHORE
5. CYCLE DU SOUFRE
6. CYCLE DES MINERAUX



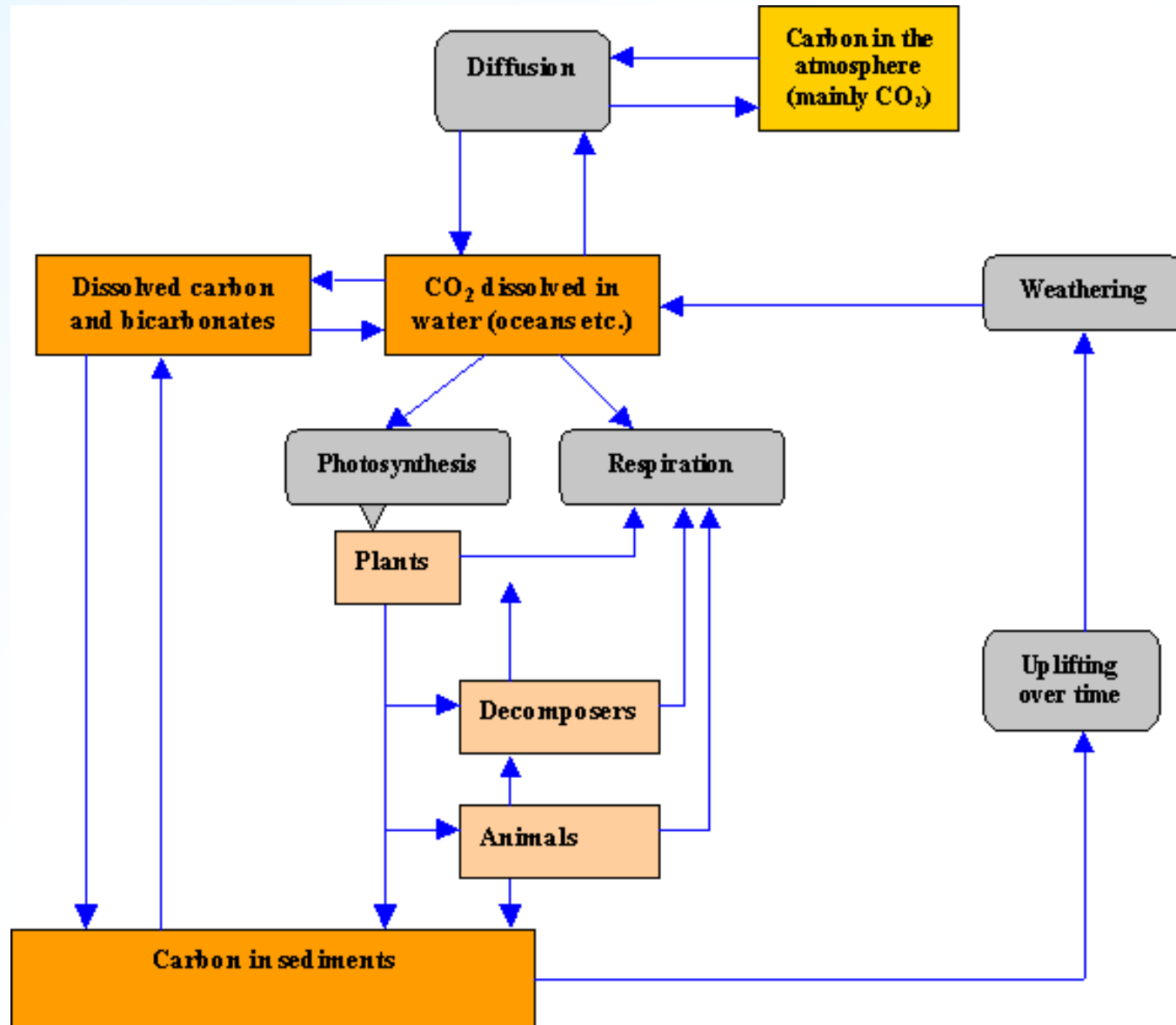
- Squelette des molécules de la **matière vivante**
- La plupart du carbone est sequestré dans les océans sous forme de **carbonates**
- ✳ Les océans font fonction de **tampon**
- $5,8 \cdot 10^9$  tonnes de  $\text{CO}_2$  rejetées dans l'**atmosphère** chaque année

# Le cycle du carbone

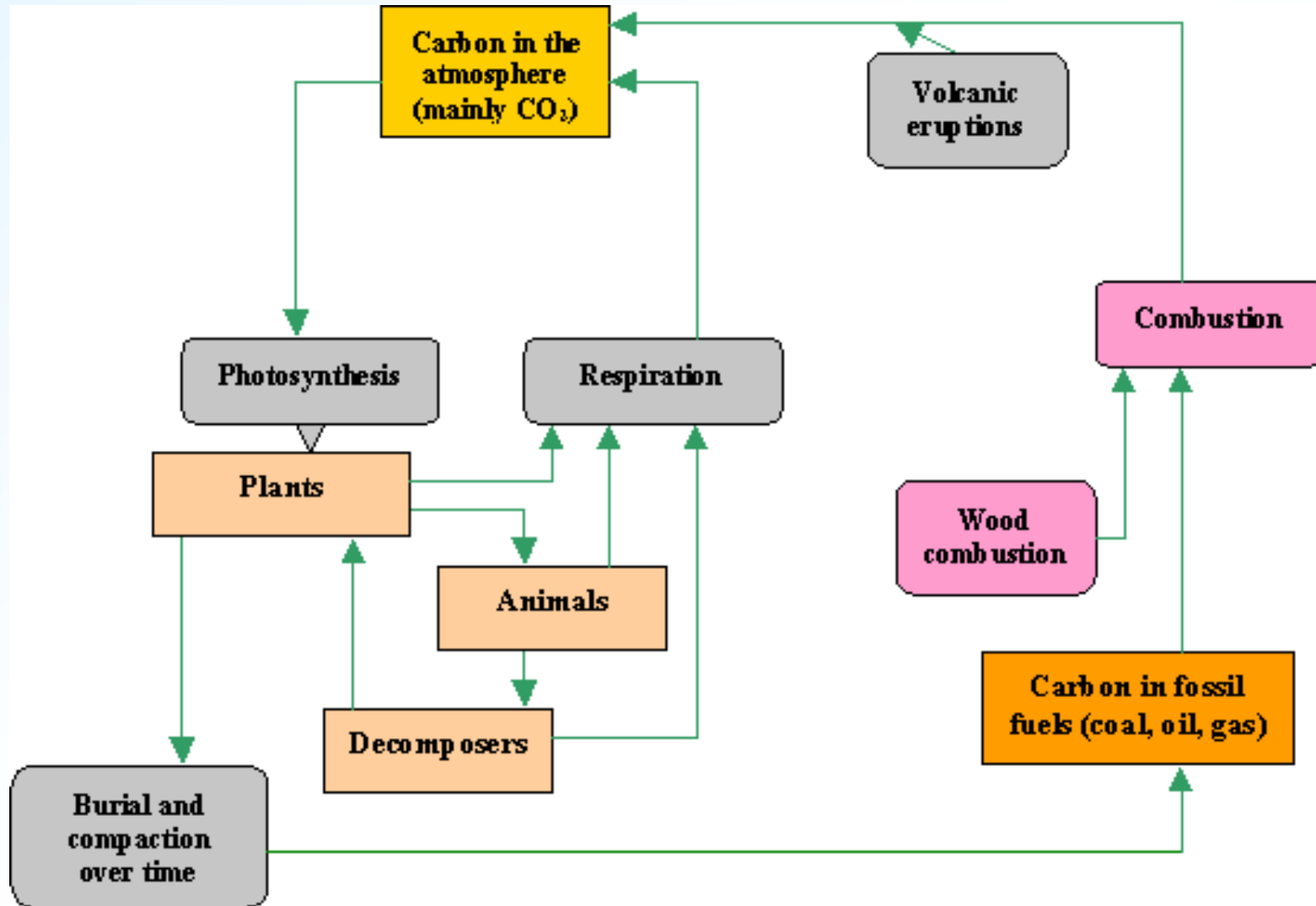


- Stocks en  $10^{15} \text{ g C}$
- Flux en  $10^{15} \text{ g C} \cdot \text{y}^{-1}$

# The aquatic carbon cycle

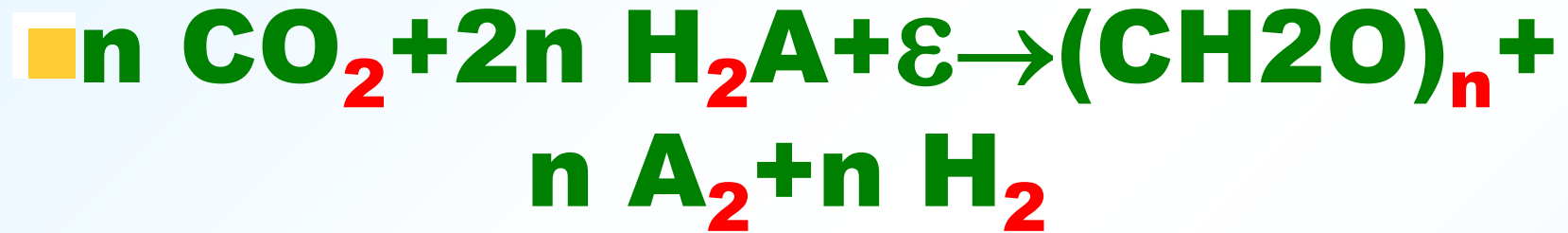


# The terrestrial carbon cycle



# Photosynthesis

A=O or A=S



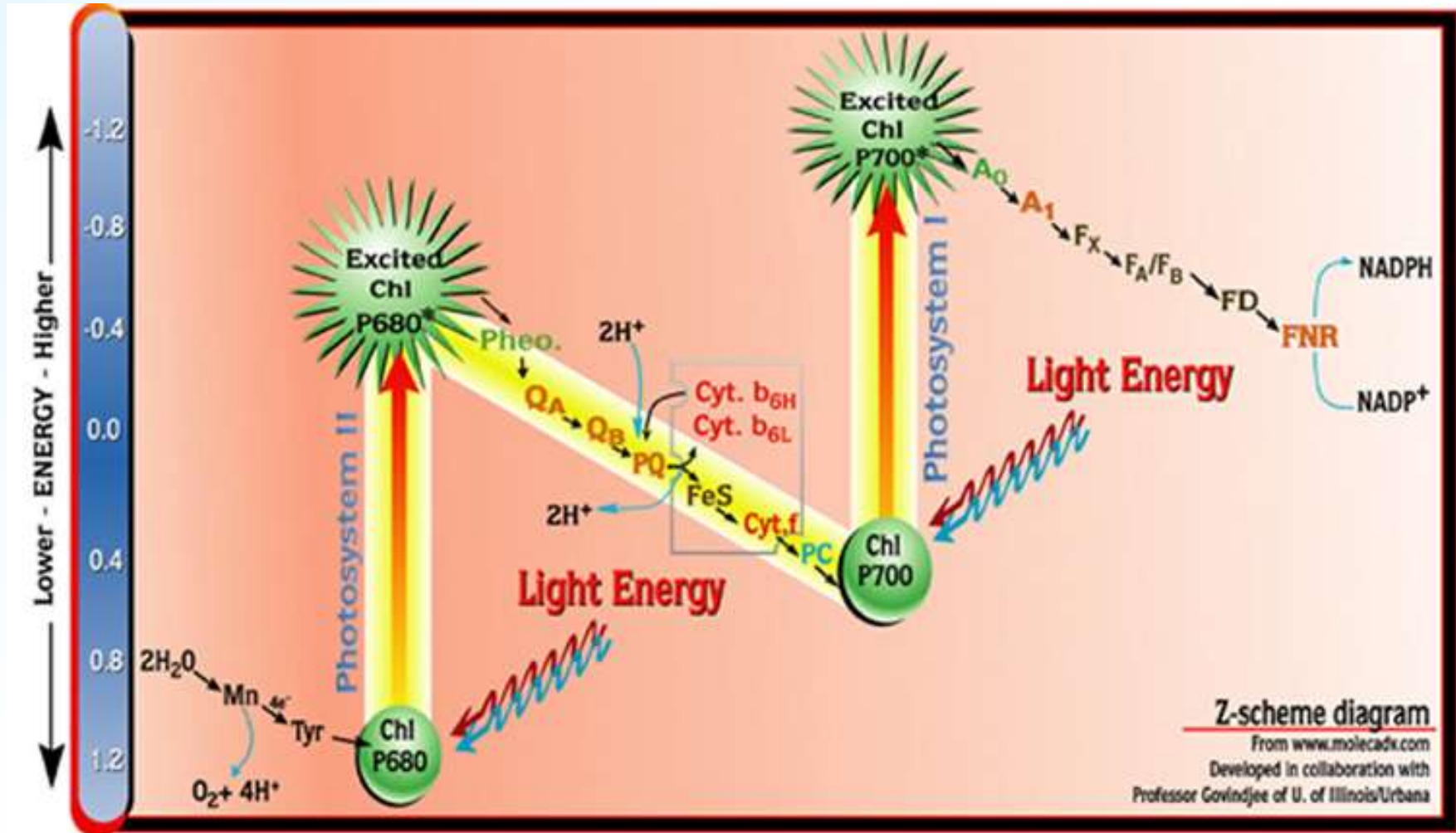
## ■ stepwise process

- a) electrons energised within chlorophyll
  - b) electrons raised to higher energy level
- *carbohydrate*

## ■ high-energy phosphate bonds

→ *adenosine triphosphate ATP*  
energy rich compounds

# La photosynthèse





# Sources de carbone

→ Photosynthèse / respiration

→ Minéralisation

- *Ralentissement du cycle /*
- *chaîne des décomposeurs incomplète*
- *Accumulation sous forme de  $\text{CaCO}_3$*

Stock dormant sous  
forme fossile :  
**Charbon**  
**Pétrole...**

☀  $\text{CO}_2$  de  
l'atmosphère

–Gaz

☀  $\text{CO}_2$  de l'eau

–Dissous

*CO<sub>2</sub> dynamically connected at the interface between the ocean and the atmosphere*



■ direction depends upon **concentration of components**

■ amount of C present as carbonate or bicarbonate **depends upon pH**

# La minéralisation

■ Après leur mort, les organismes sont minéralisés

✱ Saprophytes

décomposeurs

✱ Bio-réducteurs

■ Rejet de CO<sub>2</sub>

→ Le sol « respire »

■ Ralentissement du cycle = humus

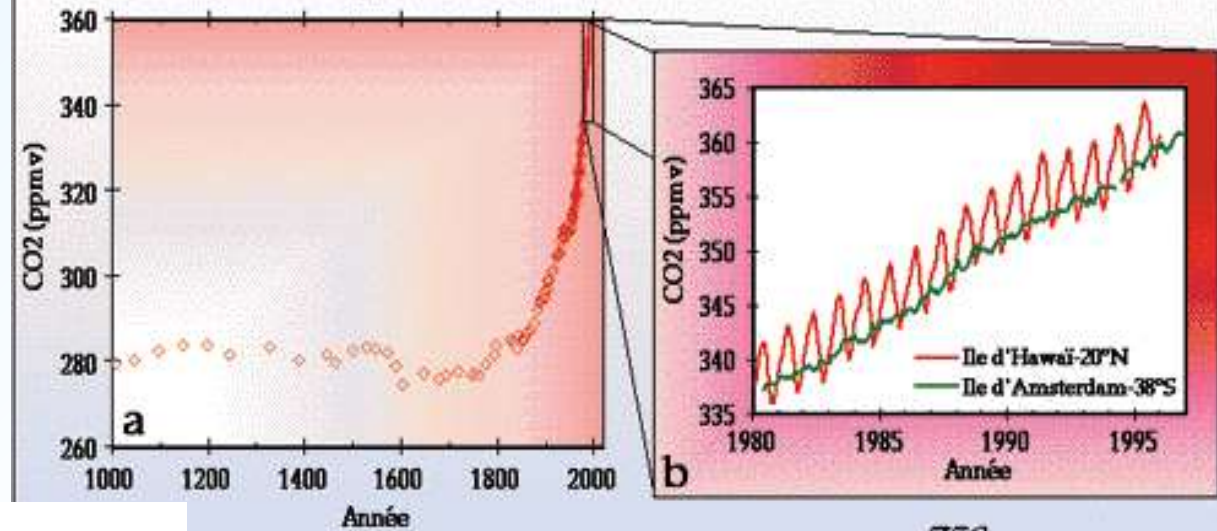
✱ Par manque d'air ou pH, les saprophytes ne peuvent vivre

→ tourbe

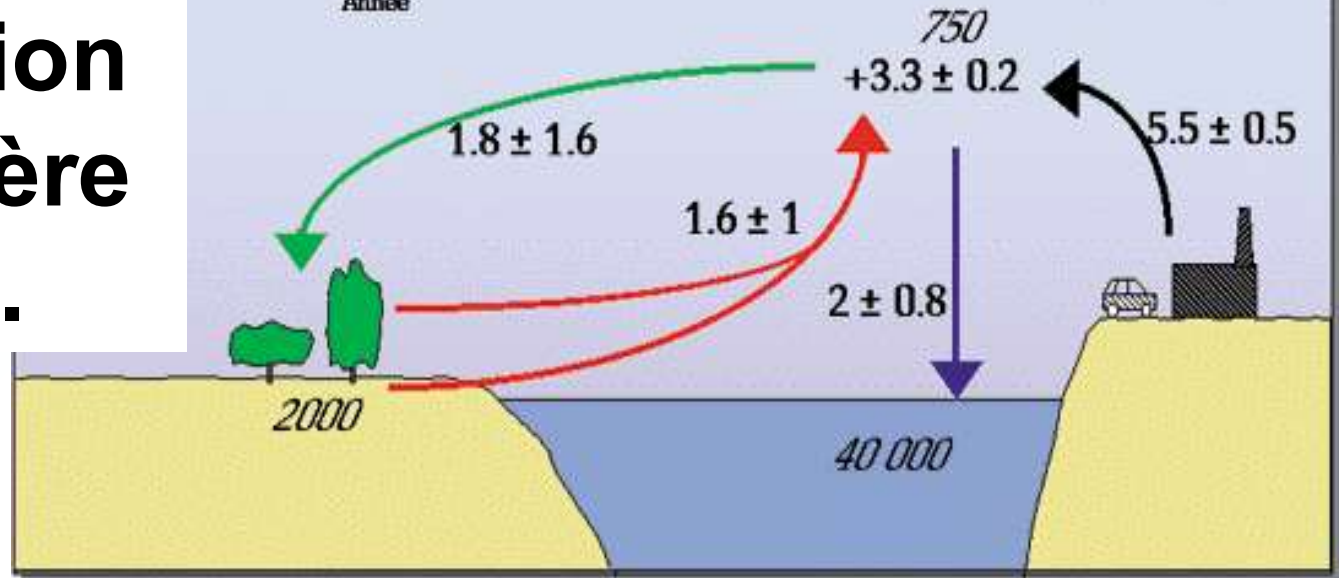


GtC/an

## L'augmentation du CO2 à l'ère industrielle



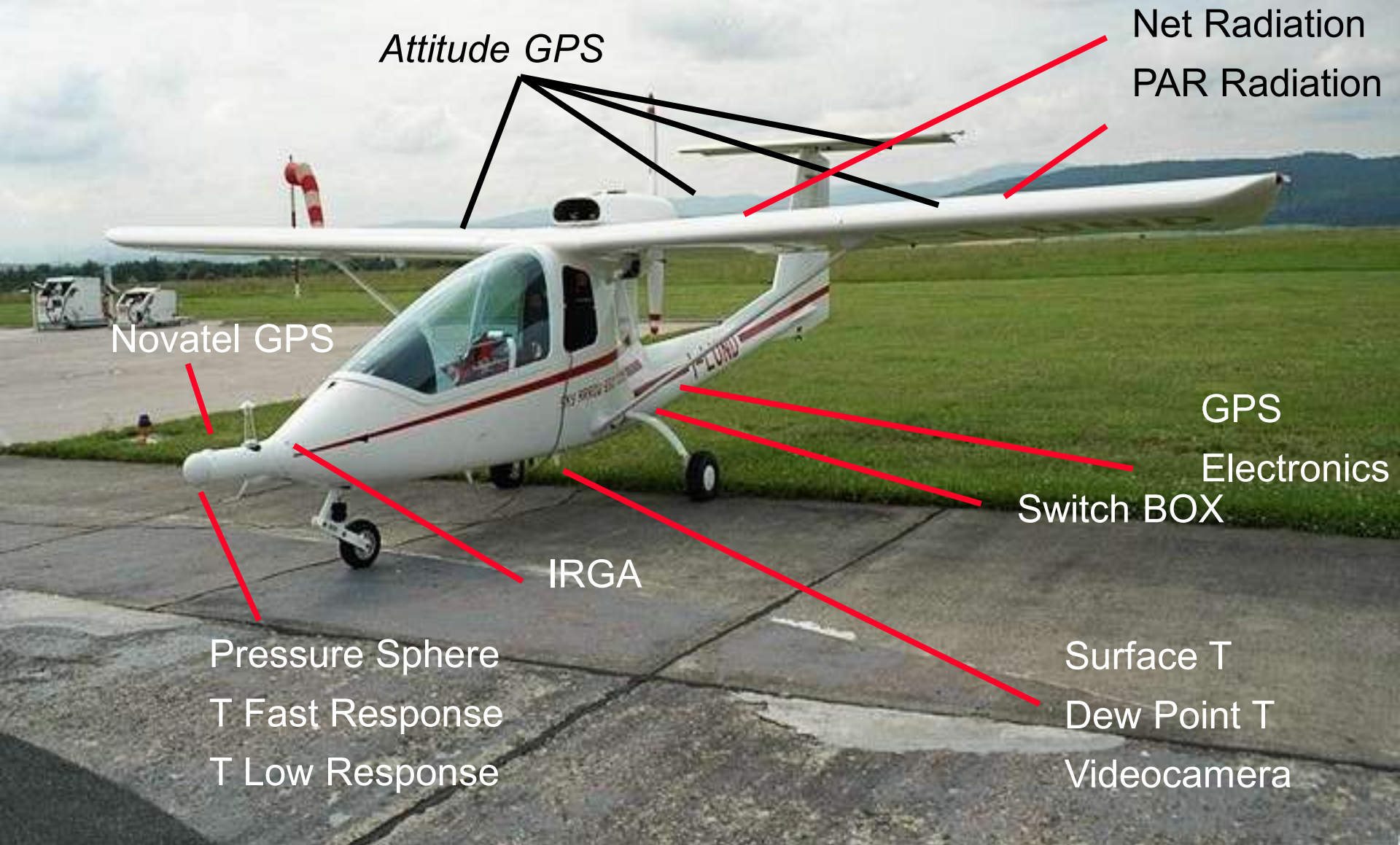
# Augmentation du CO2 à l'ère industrielle.



- a : archives glaciaires (Lgge-Grenoble)
- b : évolution récente (Hawaï/Noaa-Boulder, Amsterdam)



# Measure of Carbon fluxes





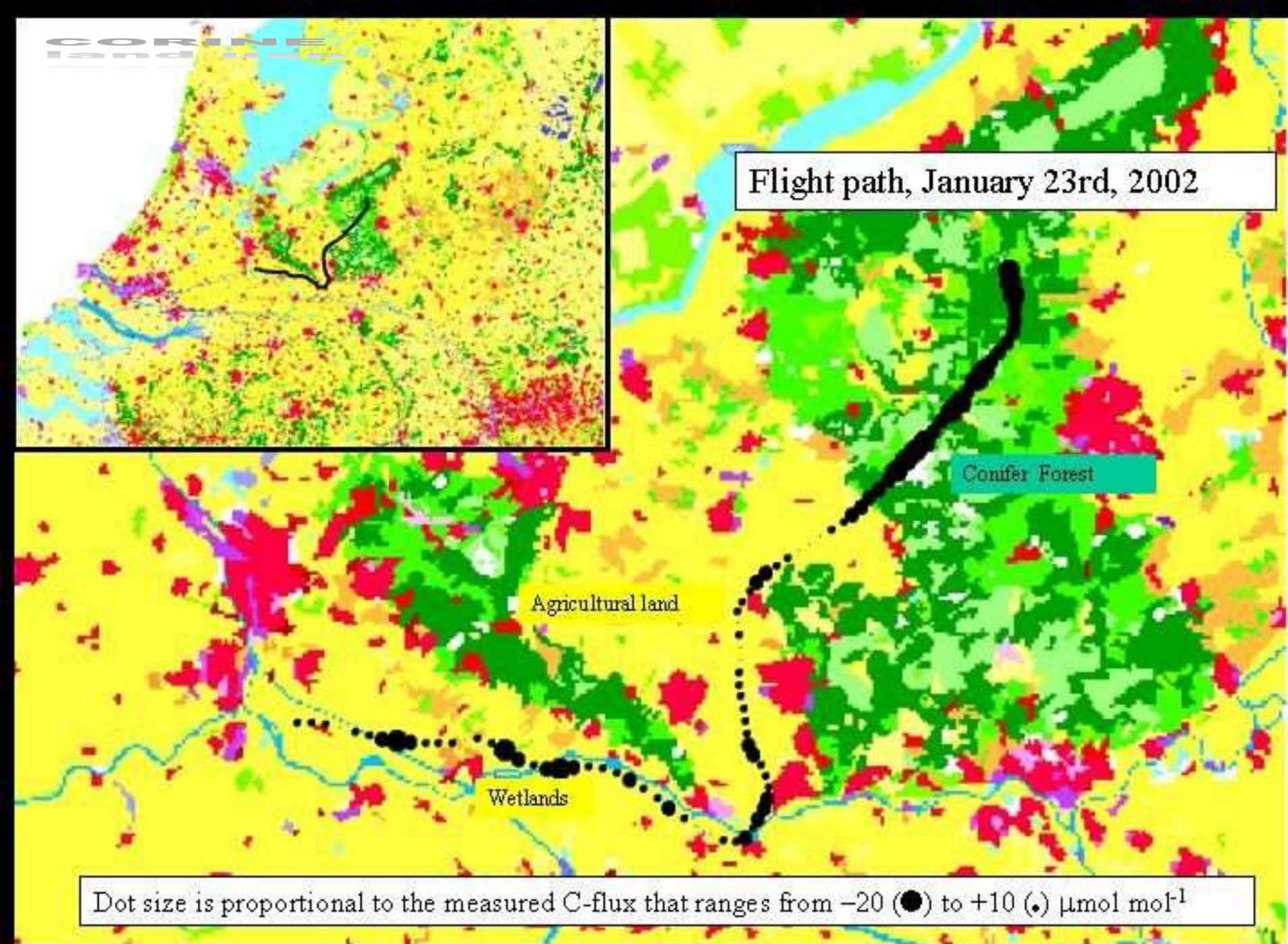
Flight path, January 23rd, 2002

Conifer Forest

Agricultural land

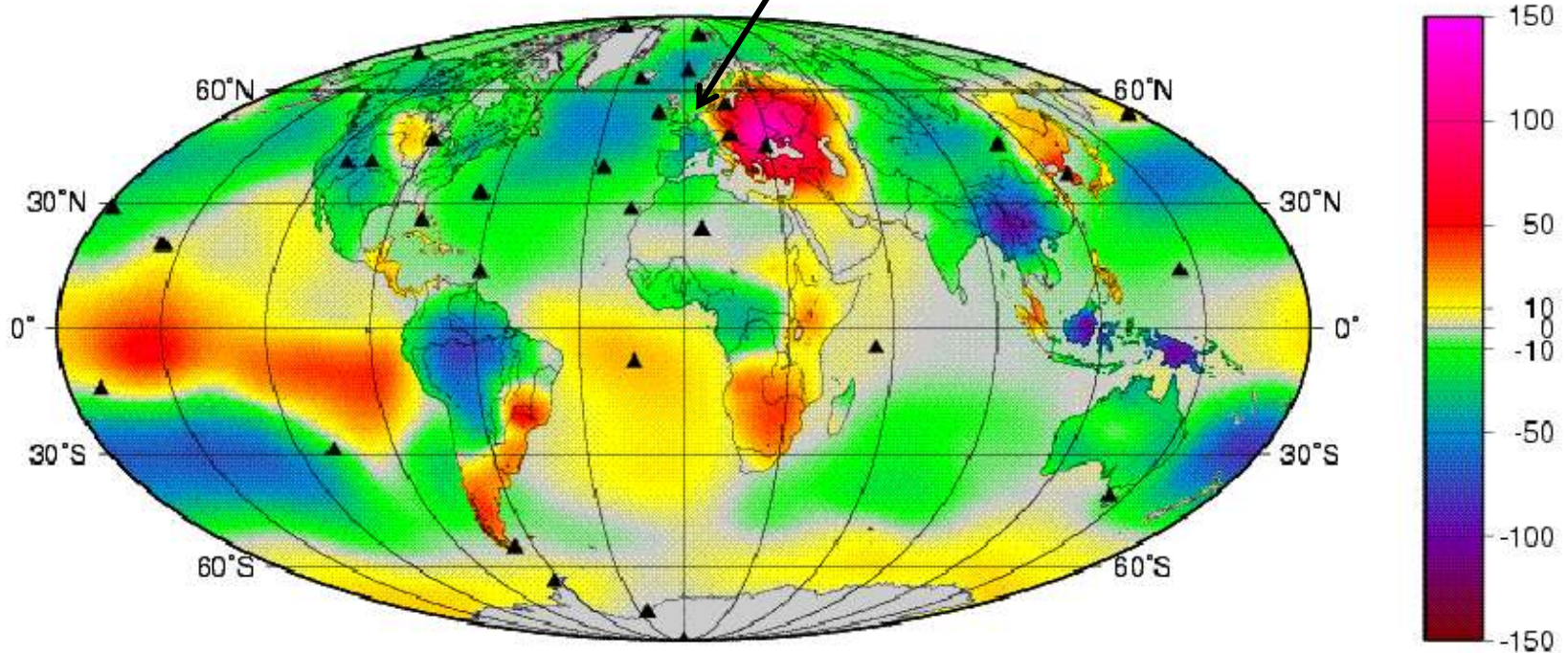
Wetlands

Dot size is proportional to the measured C-flux that ranges from  $-20$  (●) to  $+10$  (◦)  $\mu\text{mol mol}^{-1}$





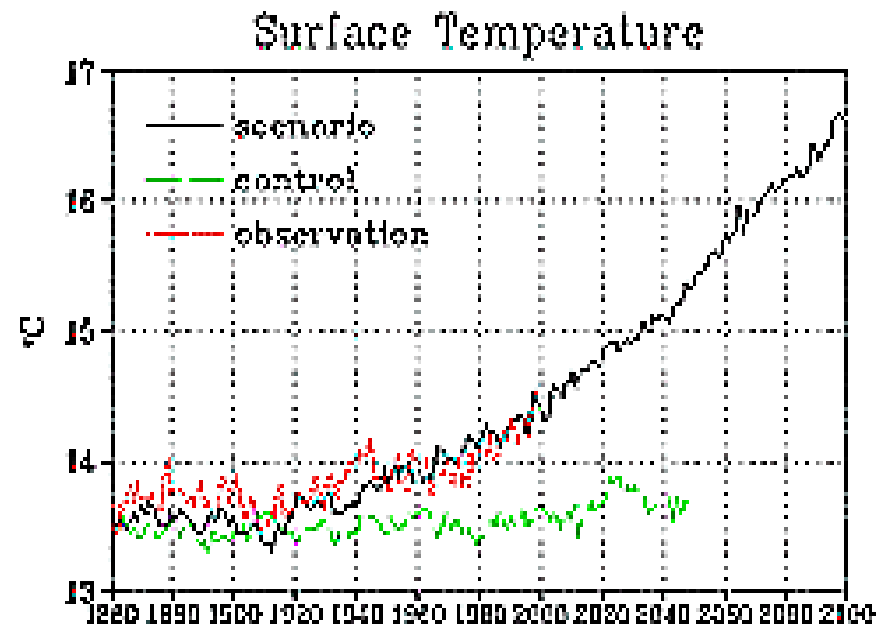
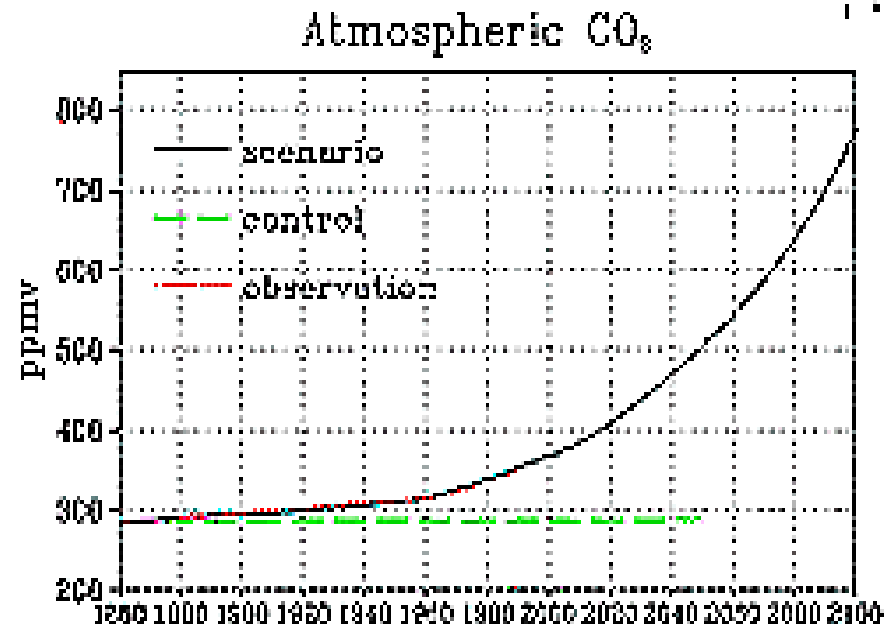
Implies about 0.1 Gt C a<sup>-1</sup> for EU15 forests



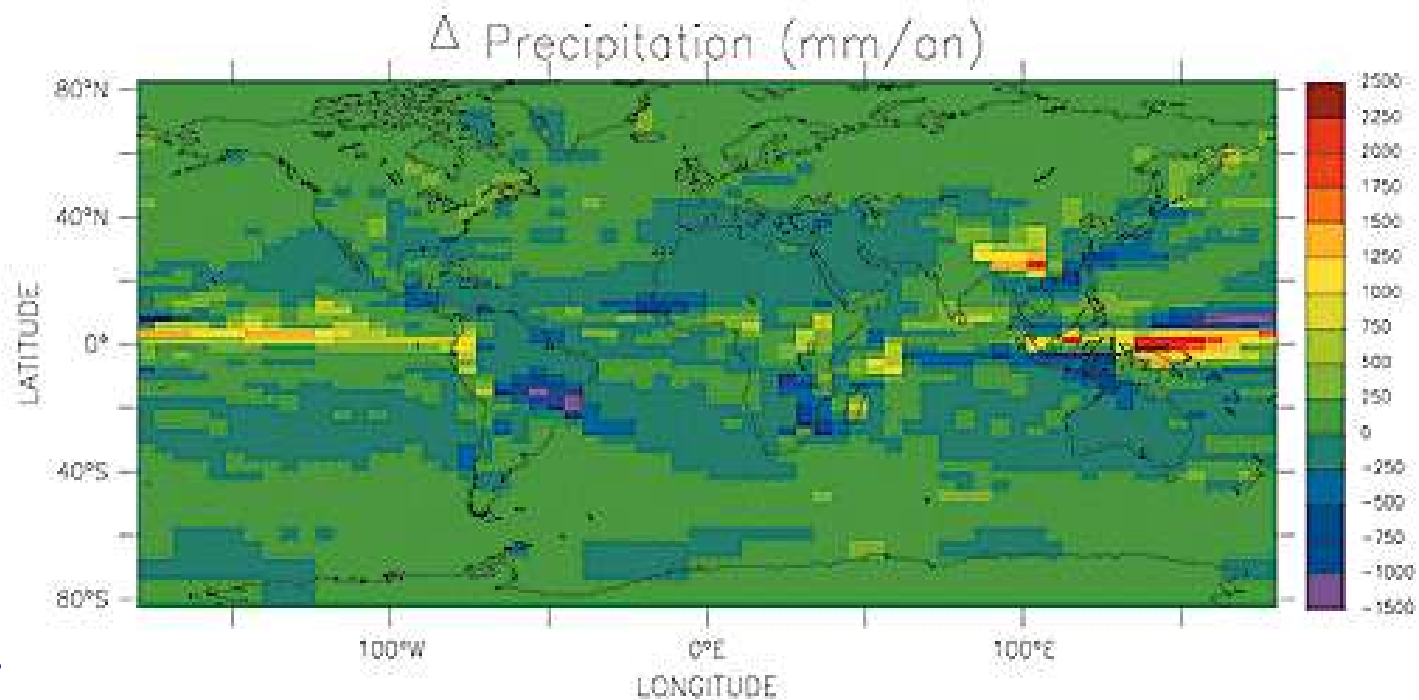
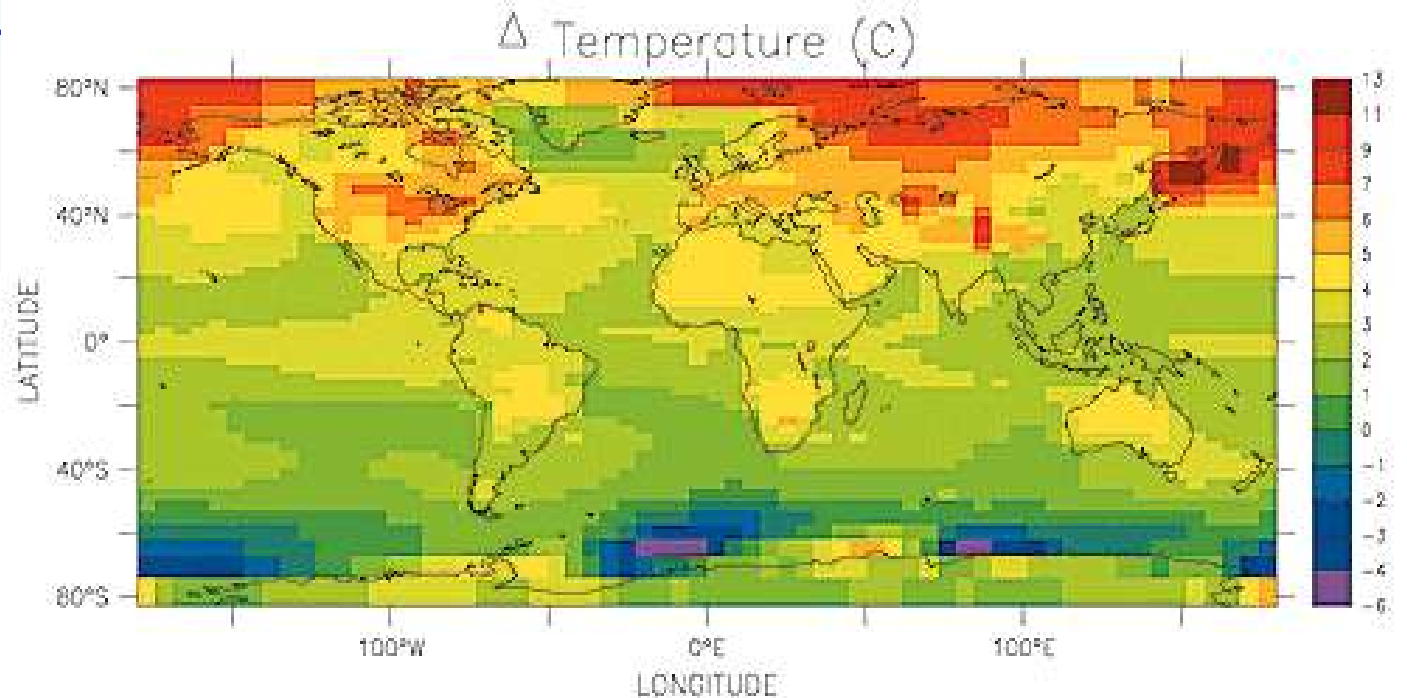
**Biotic C-fluxes inferred from 20 years of CO<sub>2</sub> concentration data measured at sample stations scattered across the world (triangles). Units are gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> and negative fluxes (blue and green) denote carbon sinks (Rödenbeck *et al.* 2003)**

USA thought to have a biotic sink strength of 0.30 to 0.58 Gt of carbon per year (Pacala *et al.* 2001), whilst that in Europe is between 0.13 and 0.20 Gt C (Janssens *et al.* 2003).

**Simulation de l'évolution de la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique et de la température de surface moyenne du globe de 1860 à 2050 par le modèle couplé Climat-Carbone de l'IPSL**



**Changement  
de  
température et  
précipitation  
entre 1850 et  
2050, simulé à  
l'aide du  
modèle couplé  
Climat -  
Carbone de  
l'IPSL**



# CYCLES BIOGEOCHIMIQUES & NUTRIMENTS DANS LA BIOSPHERE

1. INTRODUCTION
2. CYCLE DU CARBONE
3. CYCLE DE L'EAU
4. CYCLE DU PHOSPHORE
5. CYCLE DU SOUFRE
6. CYCLE DES MINERAUX

## ■ Source

- océan 97,3% de la biosphère

## ■ Stocks

- Glace 2,06 %
- Nappes phréatiques 0,67%
- Rivières et lacs 0,01%

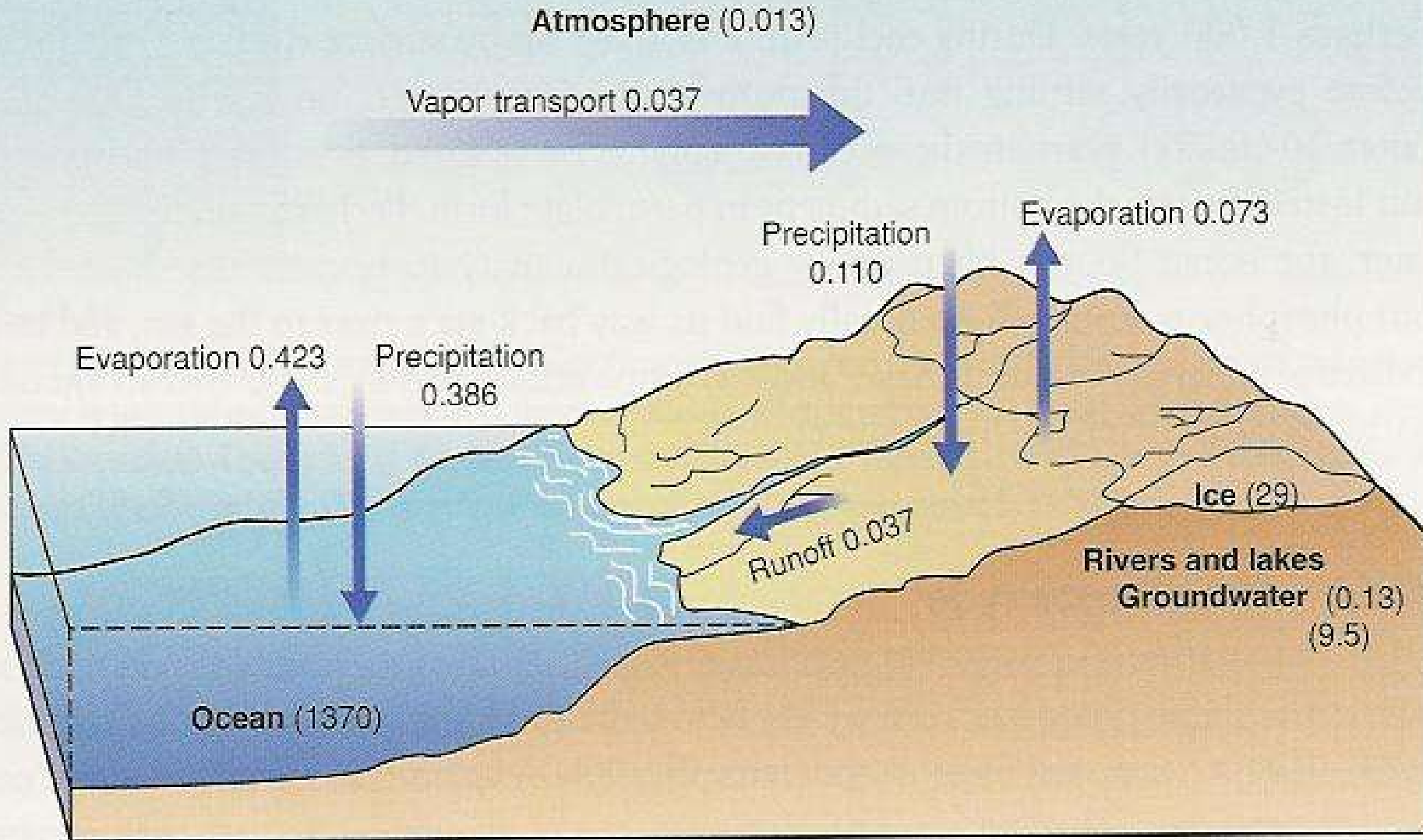
## ■ Transit

- Drainage, ruissellement, nuages, vapeur 0,08%



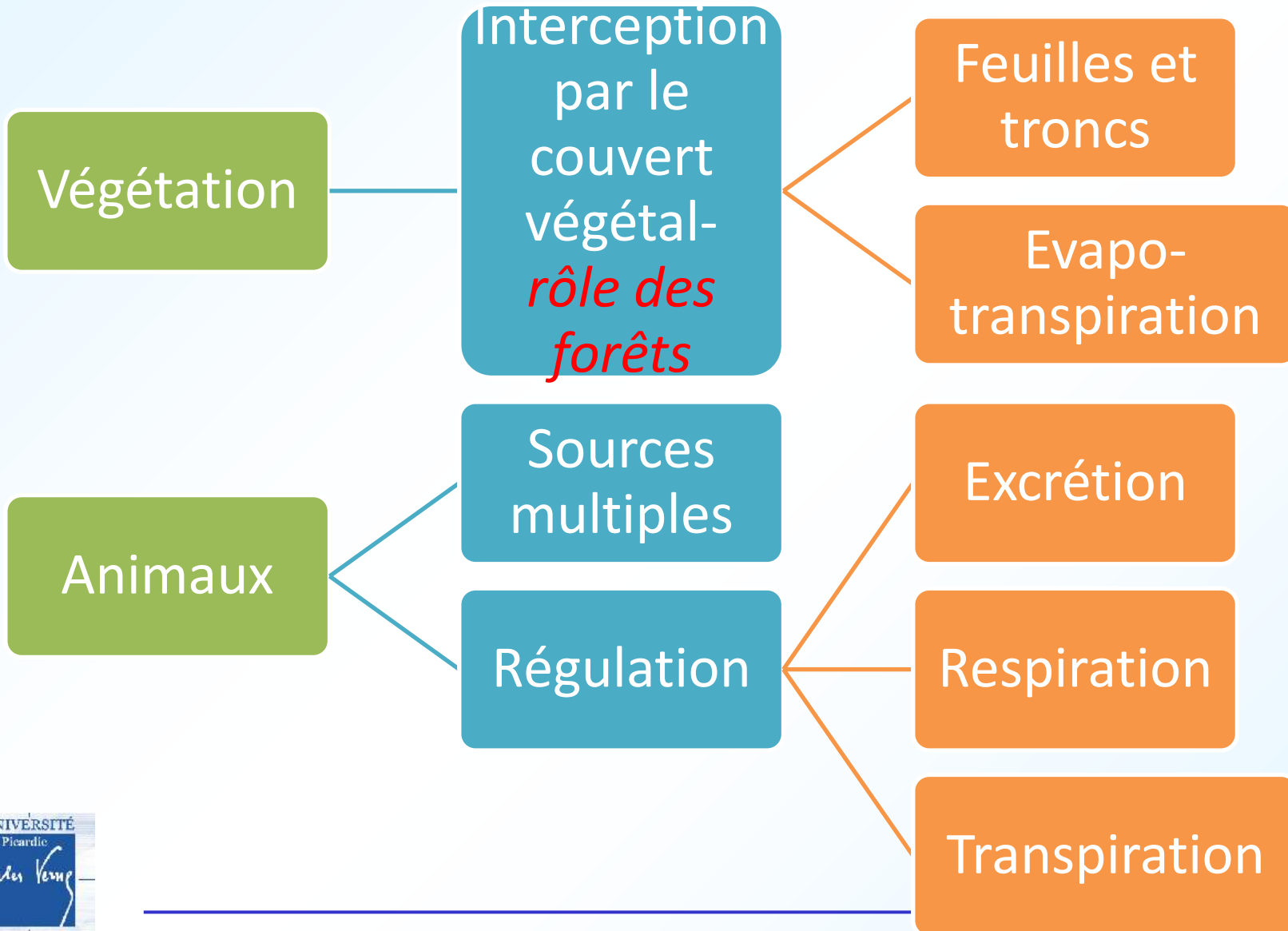
# Cycle de l'eau

Superficies en 10 km

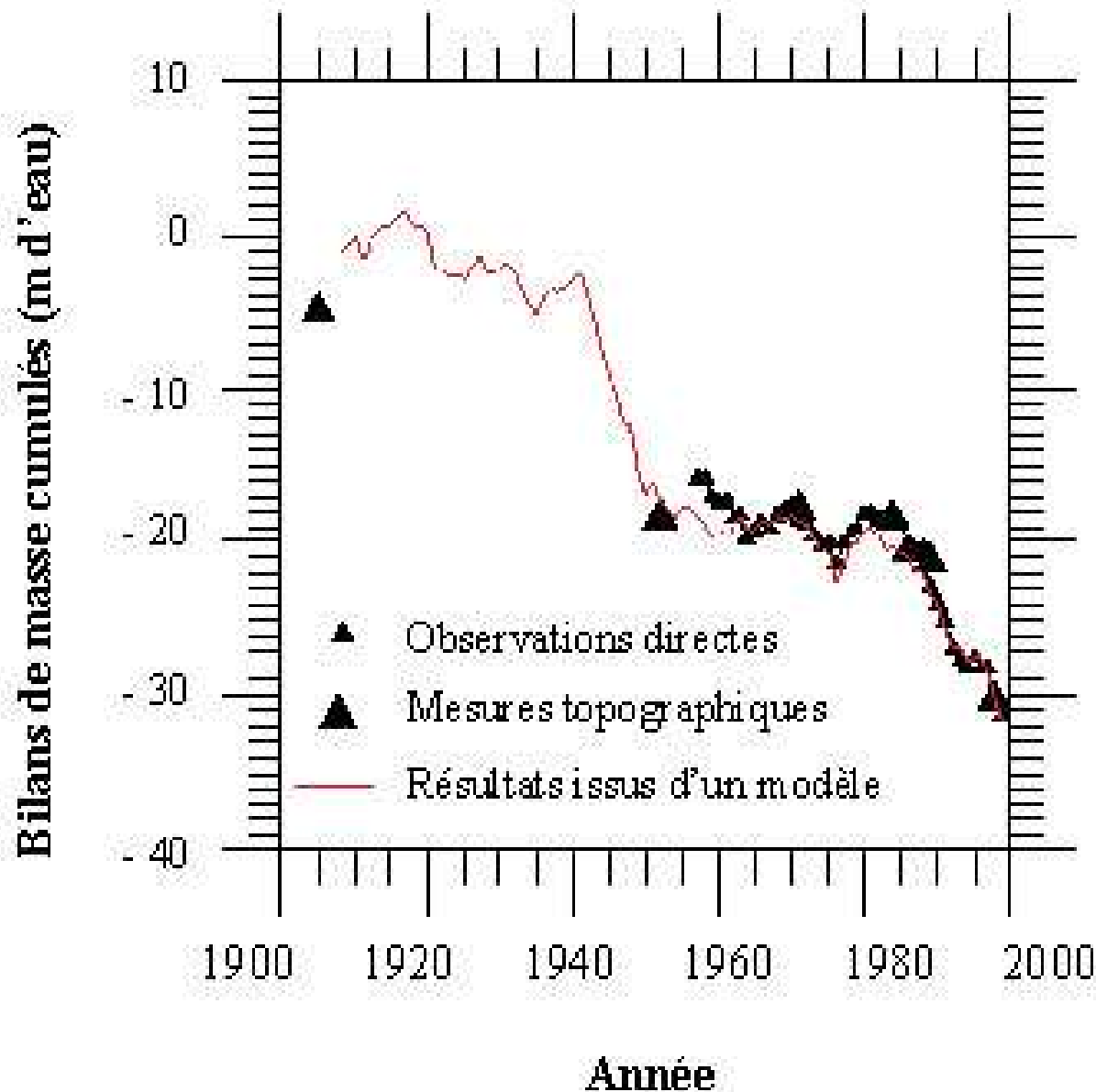




# Role des organismes



# Bilans de masse cumulés (ou variations de volumes) du glacier de Saint Sorlin au cours du 20<sup>e</sup> siècle.



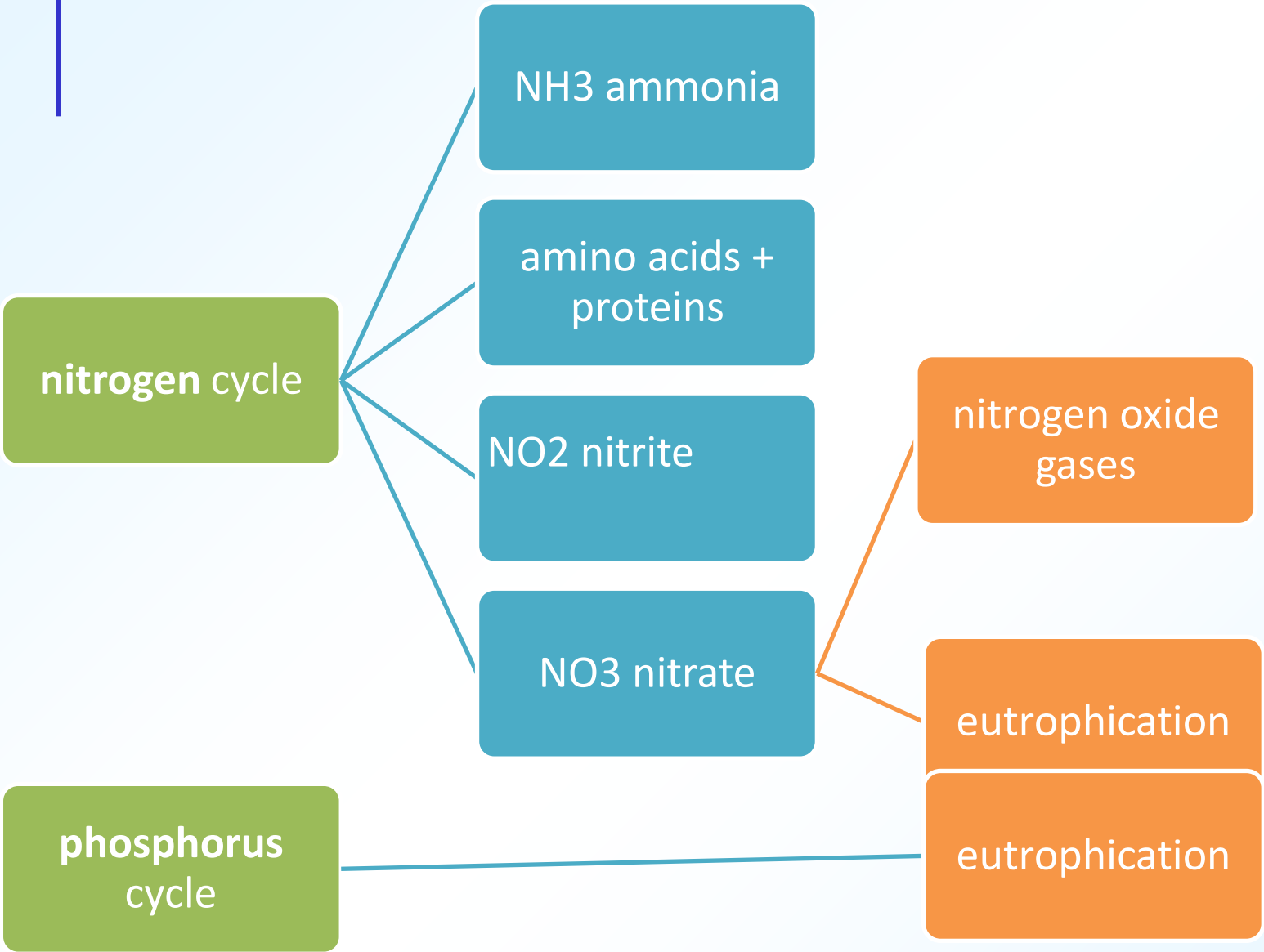
# CYCLES BIOGEOCHIMIQUES & NUTRIMENTS DANS LA BIOSPHERE

1. INTRODUCTION
2. CYCLE DU CARBONE
3. CYCLE DE L'EAU
4. CYCLE DES NUTRIMENTS :  
AZOTE ET PHOSPHORE
5. CYCLE DU SOUFRE
6. CYCLE DES MINERAUX

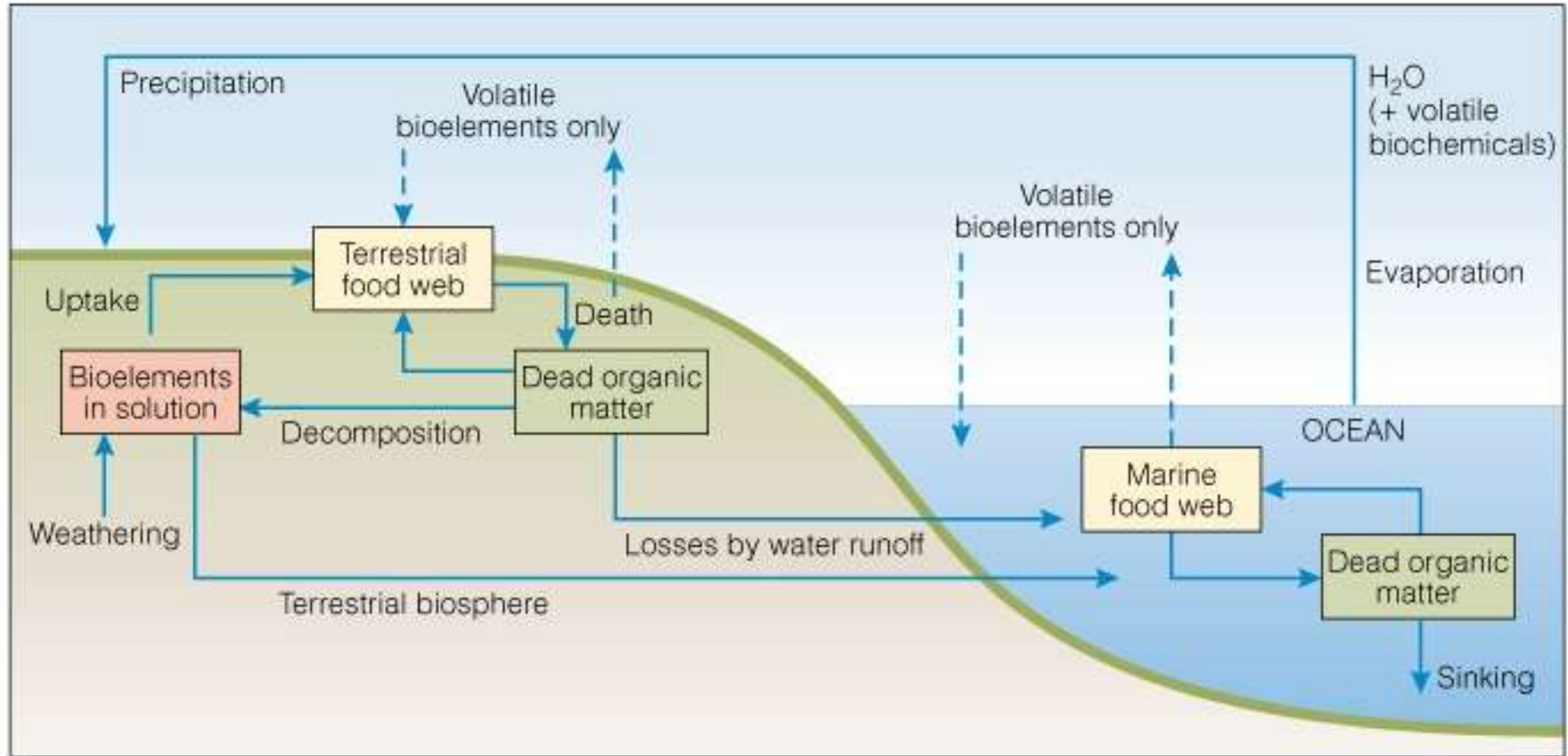
# nutriments

- éléments nécessaires à la croissance des plantes
- principalement **phosphore, azote et silice**
- ✳ **Atomes** présents dans de nombreux composés **minéraux** naturels
- ✳ Dans de nombreux produits de synthèse tels que engrais, détergents et insecticides.

# nutrient cycles



# Global nutrient cycling (pre-industrial)

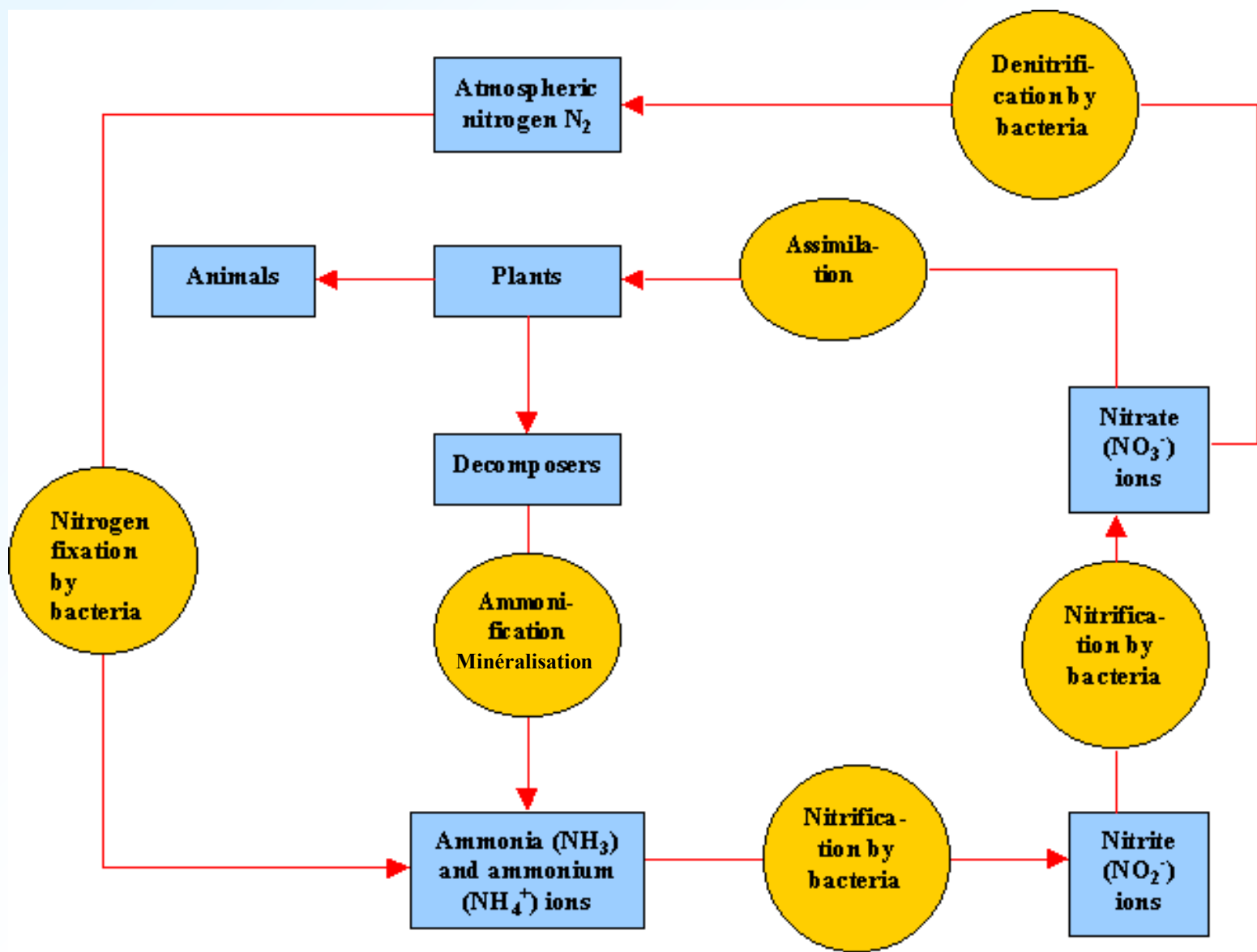




# Biogeochemical cycling and ground vegetation

- Nutrient fluxes (bulk deposition, throughfall, and litterfall), nutrient status of the stand and ground vegetation





# The evolution of nitrogen fixation

- Organisms cannot directly incorporate atmospheric N<sub>2</sub>
- Bacteria have evolved an enzyme (nitrogenase) and a metabolic pathway to break the triple bond and reduce N<sub>2</sub> to ammonia



The nitrogen cycle describes the circulation of nitrogen in the environment from the atmosphere into soil, water and living matter, and its return to air.

The main types of process in the cycle are:

■ **Nitrogen fixation** – converting nitrogen from air into ammonium and then organic nitrogen

■ **Nitrification** – converting ammonium to nitrite and then nitrate, an oxidation process

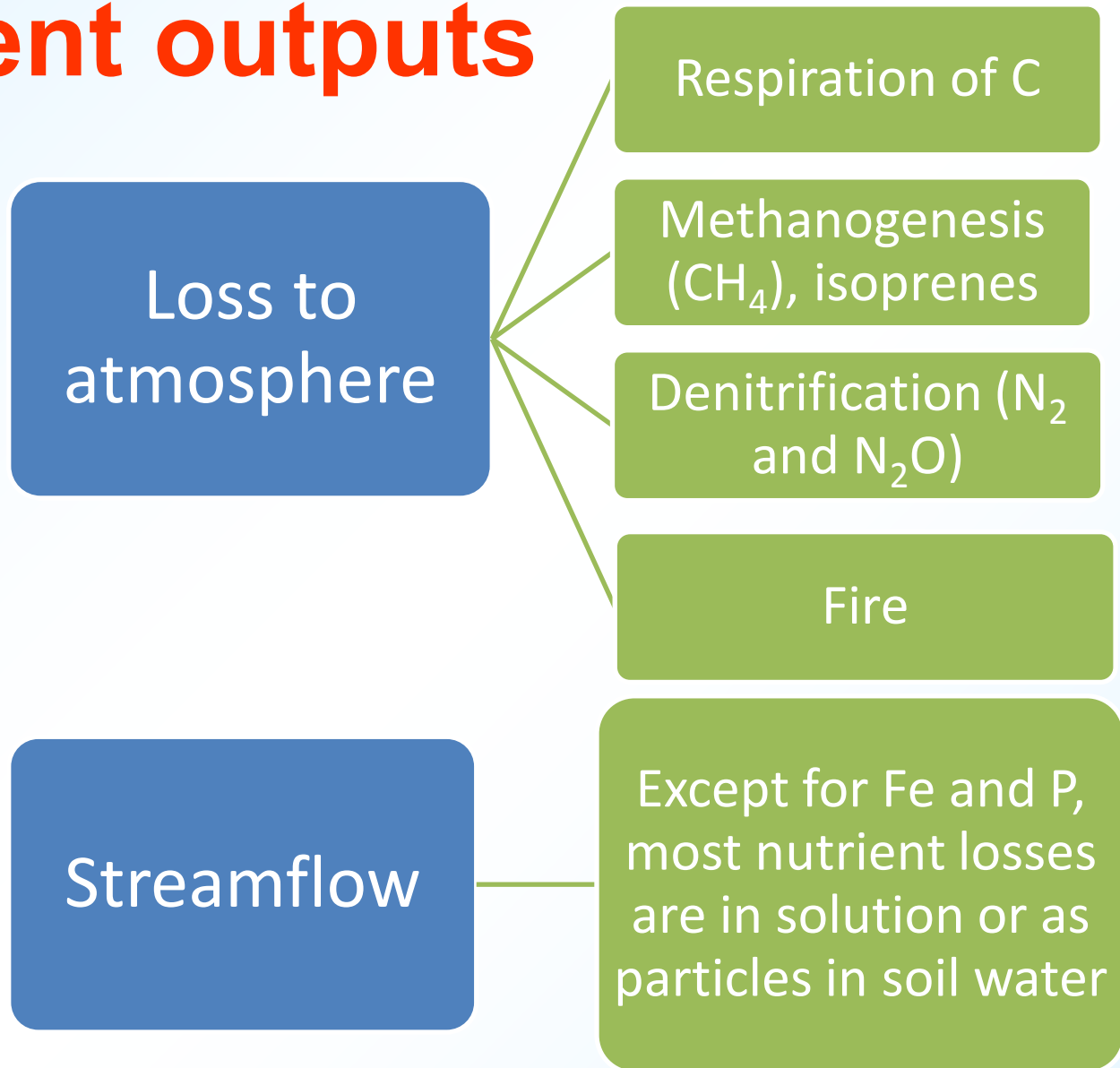
■ **Denitrification** – converting nitrate and nitrite to nitrogen gas, a reduction process

■ **Anammox** – converting ammonium to nitrate in the absence of oxygen

■ **Assimilation** – converting inorganic nitrogen to organic forms and ultimately biomass

■ **Mineralisation / Ammonification** – converting organic nitrogen to ammonium

# Nutrient outputs





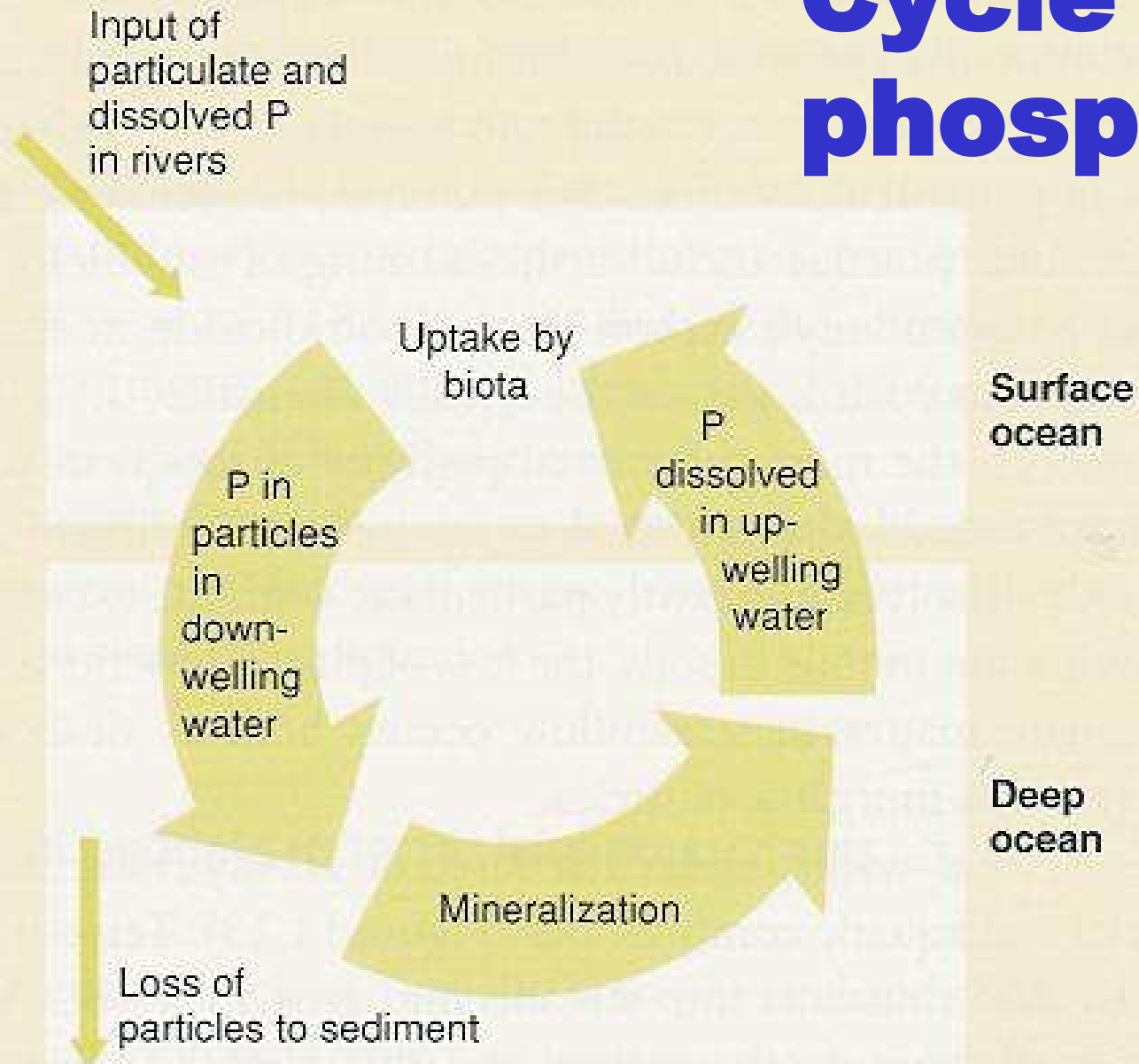
## ■ Un cycle sédimentaire

- Stocks : eau du sol, rivières, lacs, océans, roches et sédiments
- Flux : du continent vers l'océan

## ■ Chez les organismes

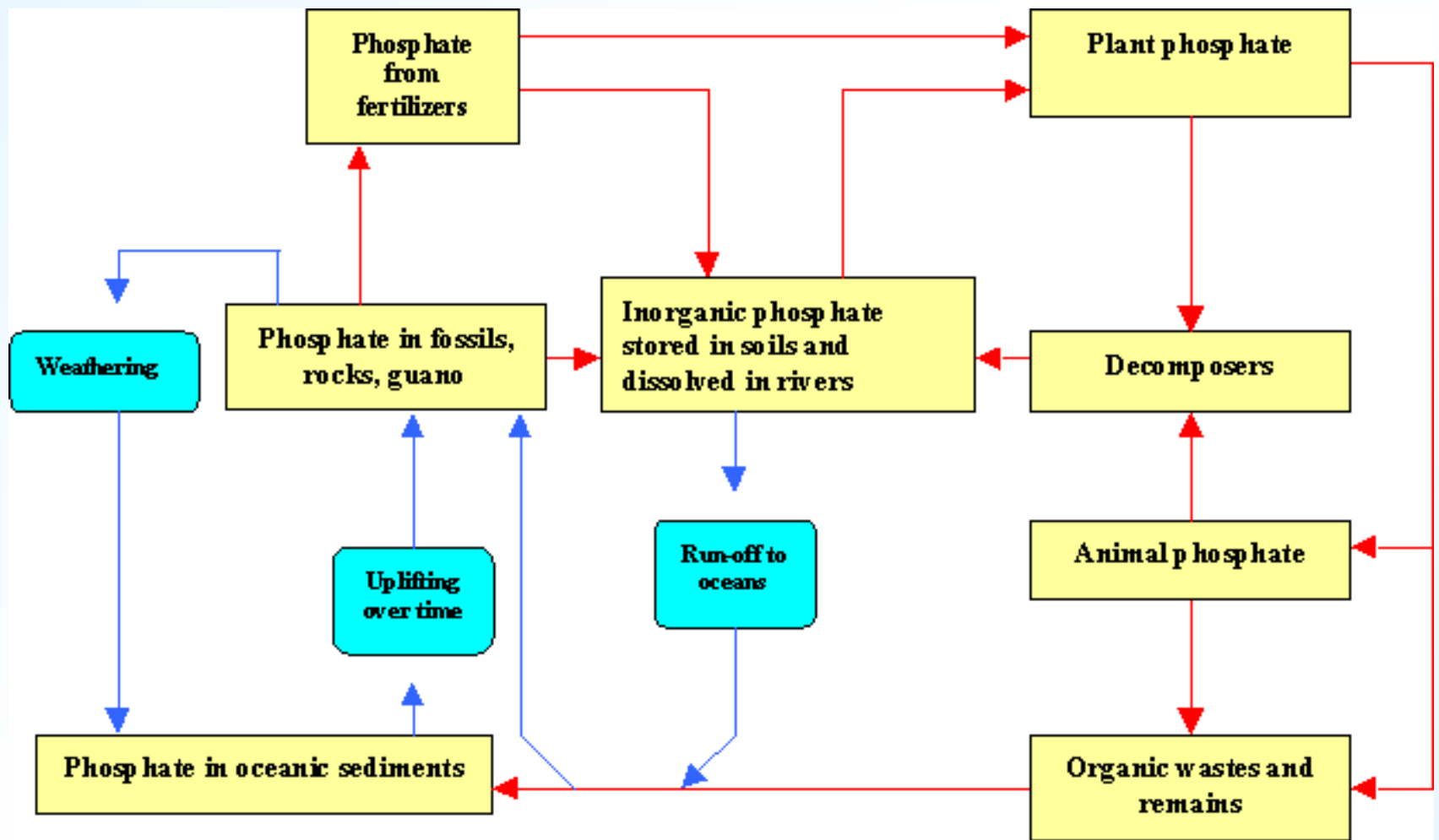
- Formations squelettiques  
→  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
- Constituant du cytoplasme  
■  $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \varepsilon$

# Cycle du phosphore



# Phosphorus cycling

- P does not occur in appreciable amounts in the atmosphere
- Released by weathering of the mineral apatite in soils
- Closely linked with pH in the soil
- 98% of P in lakes is held with plankton
- P cycling in lakes thus depends on rates of plankton predation
- In oceans and stratified lakes, P lost by sinking must be replaced by external inputs



# Variations spatio-temporelles

## ■ Répartition spatiale

- En mer stratification verticale

- Horizontale

- Atlantique :  $1,8 \mu\text{g/l}$

- Pacifique :  $2,8 \mu\text{g/l}$

## ■ Rythmes tidaux, diurnes et saisonniers

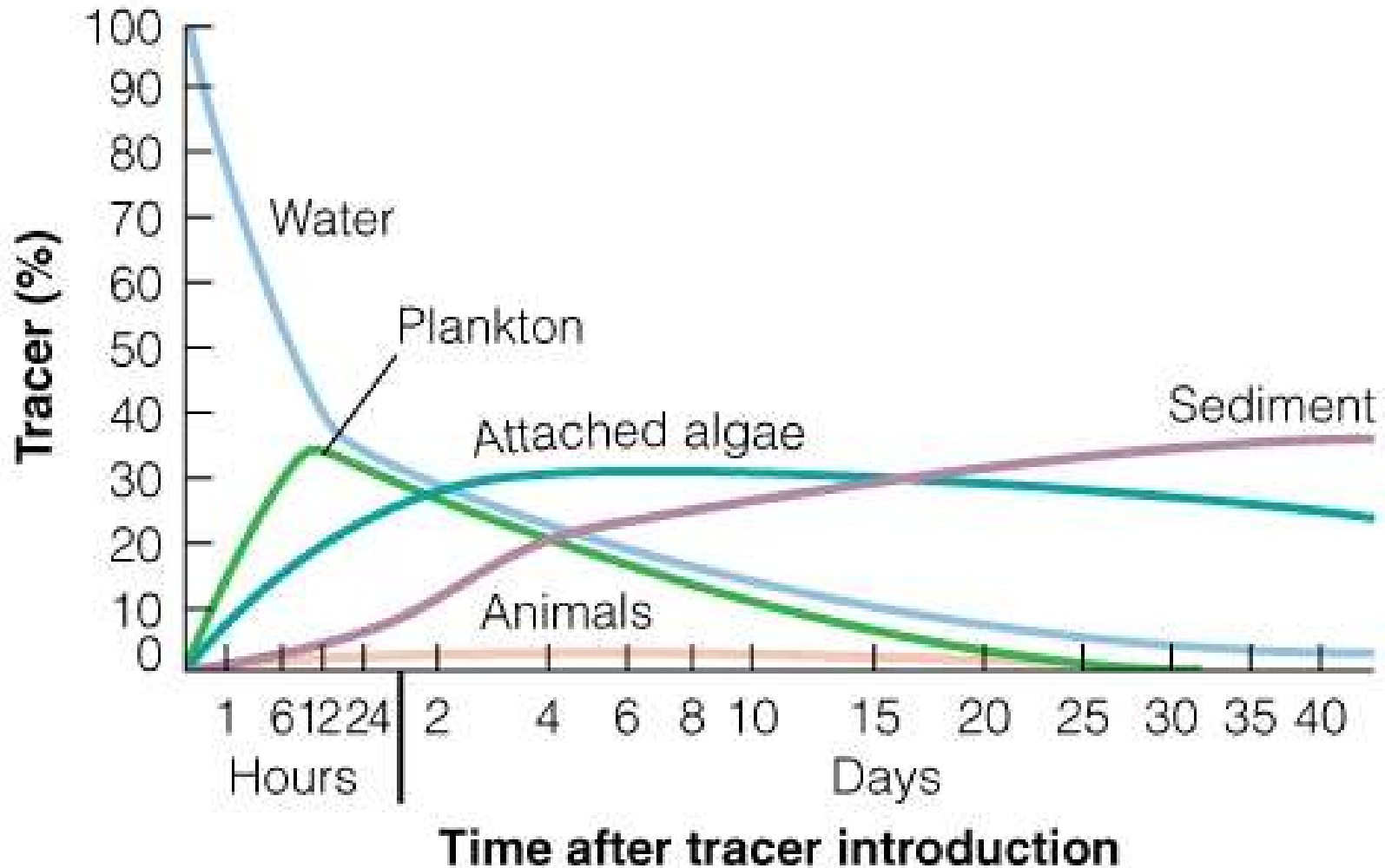
- Baisse à marée montante

- En baisse en liaison avec la photosynthèse

- Crise estivale de consommation



# Movement of radiophosphorus in an aquarium microcosm



# Nutrient retention in soils

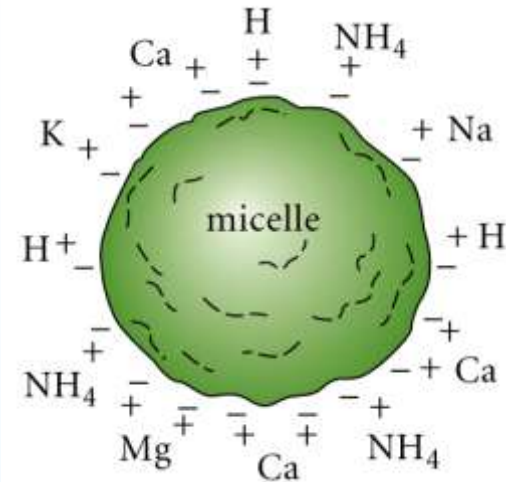
- Clay and humus content of soil determines nutrient retention via charge attraction of cations

- Soil total negative charge – cation exchange capacity

- Can vary with soil pH

- ✦ Acid soils and tropical

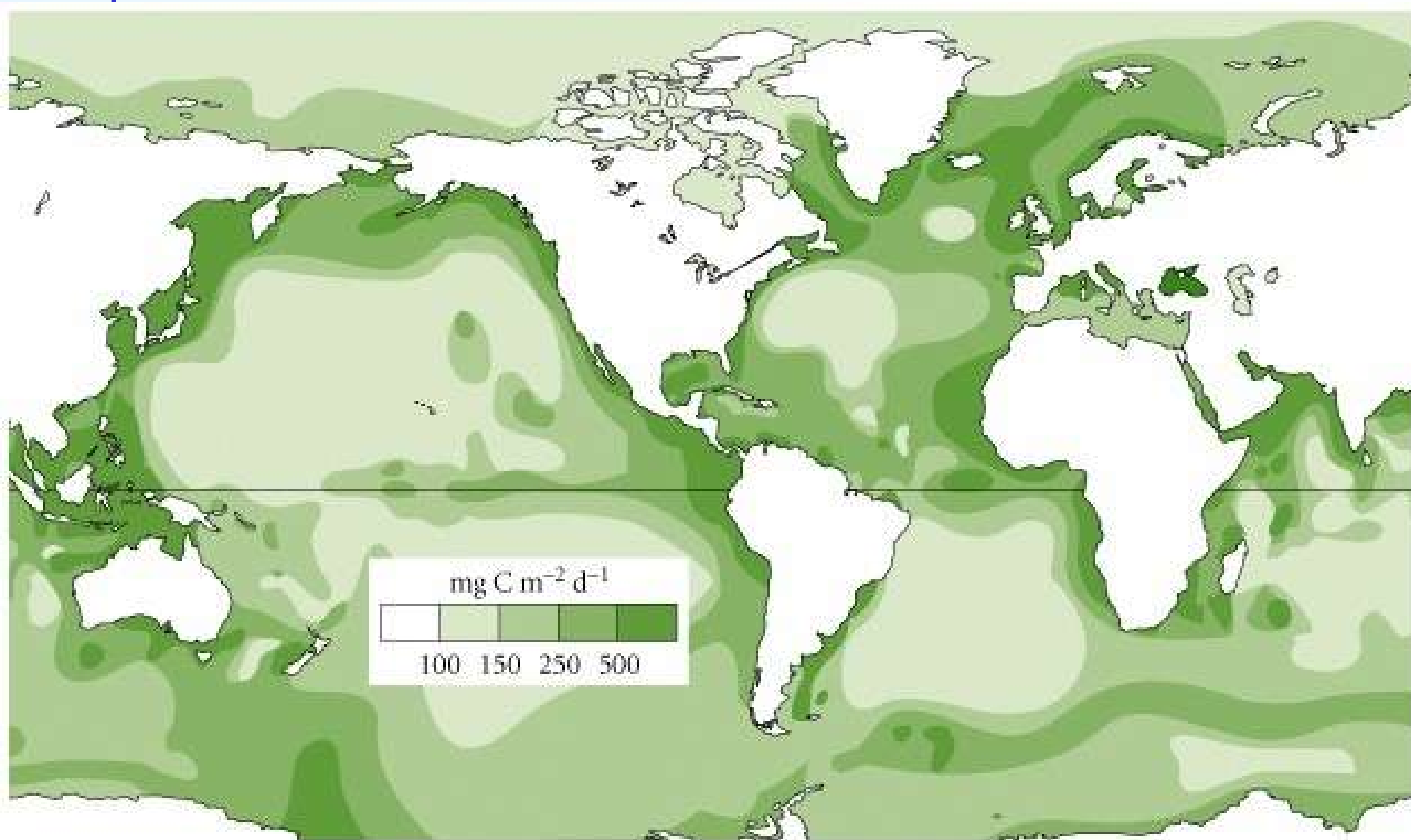
  - weathering break down clay particles



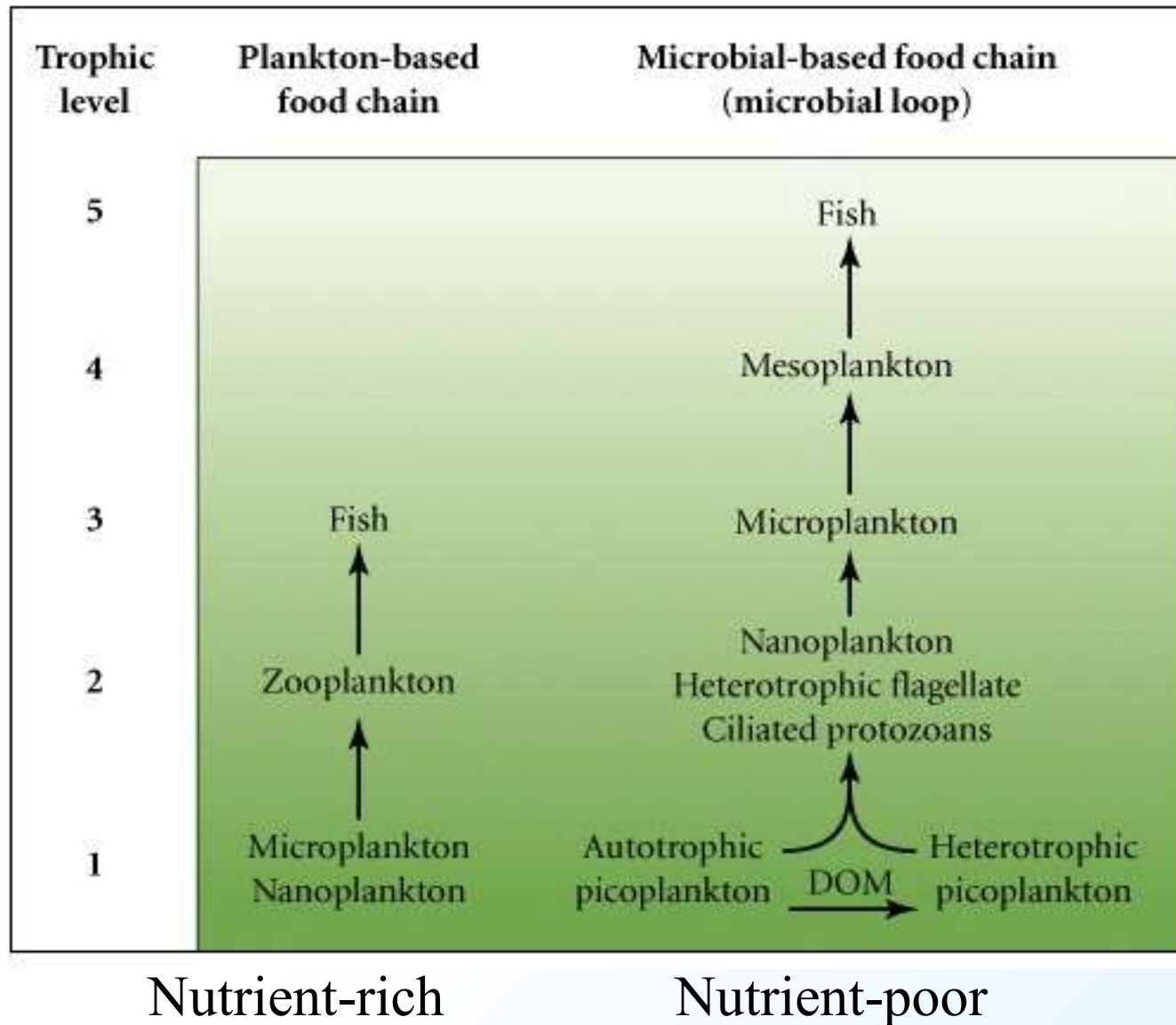
# Oceans

- Most nutrient input is from terrestrial sources (river transport)
- Shallow, coastal zones are richer in nutrients, and thus more productive
- Stratification shuts off sediments from surface waters
- Upwelling areas bring nutrients from depth to the surface and are v. productive

# Ocean nutrients controls production



# Nutrients control trophic structure





# Differences between terrestrial and aquatic ecosystems

## ■ Cycling rates versus input/output rates

✱ Forest systems have high cycling, low I/O

✱ Aquatic systems have a higher ratio of throughput to recycling

## ■ Storage

✱ Woody biomass stores nutrients in terrestrial ecosystems

✱ Phytoplankton are short-lived and low biomass

# Rivers and estuaries

Water currents  
in rivers displace  
nutrients  
downstream



Nutrients 'spiral'  
downstream  
through organic  
and inorganic  
compartments



Estuaries are  
nutrient-rich due to  
terrestrial loading  
and rates of nutrient  
cycling are rapid in  
these shallow  
environments

# Differences between terrestrial and aquatic ecosystems

## ■ Spatial patterns

- ✱ Terrestrial nutrient cycling is more localised
- ✱ Aquatic systems have tides and currents

## ■ Nutrient supply

- ✱ Rock weathering provides local nutrient sources in terrestrial ecosystems
- ✱ Oceanic ecosystems rely on terrestrial nutrient input via rivers

# Eutrophication

ISSUES OF CONCERN

elevated concentrations of nitrogen and phosphorus (also silicates)

phytoplankton blooms (*Phaeocystis sp*)

benthos community structure / anoxia



# CYCLES BIOGEOCHIMIQUES & NUTRIMENTS DANS LA BIOSPHERE

1. INTRODUCTION
2. CYCLE DU CARBONE
3. CYCLE DE L'EAU
4. CYCLE DU PHOSPHORE
5. CYCLE DU SOUFRE
6. CYCLE DES MINERAUX



# cycle du soufre

## Sources

Roches

Aérosols  
marins

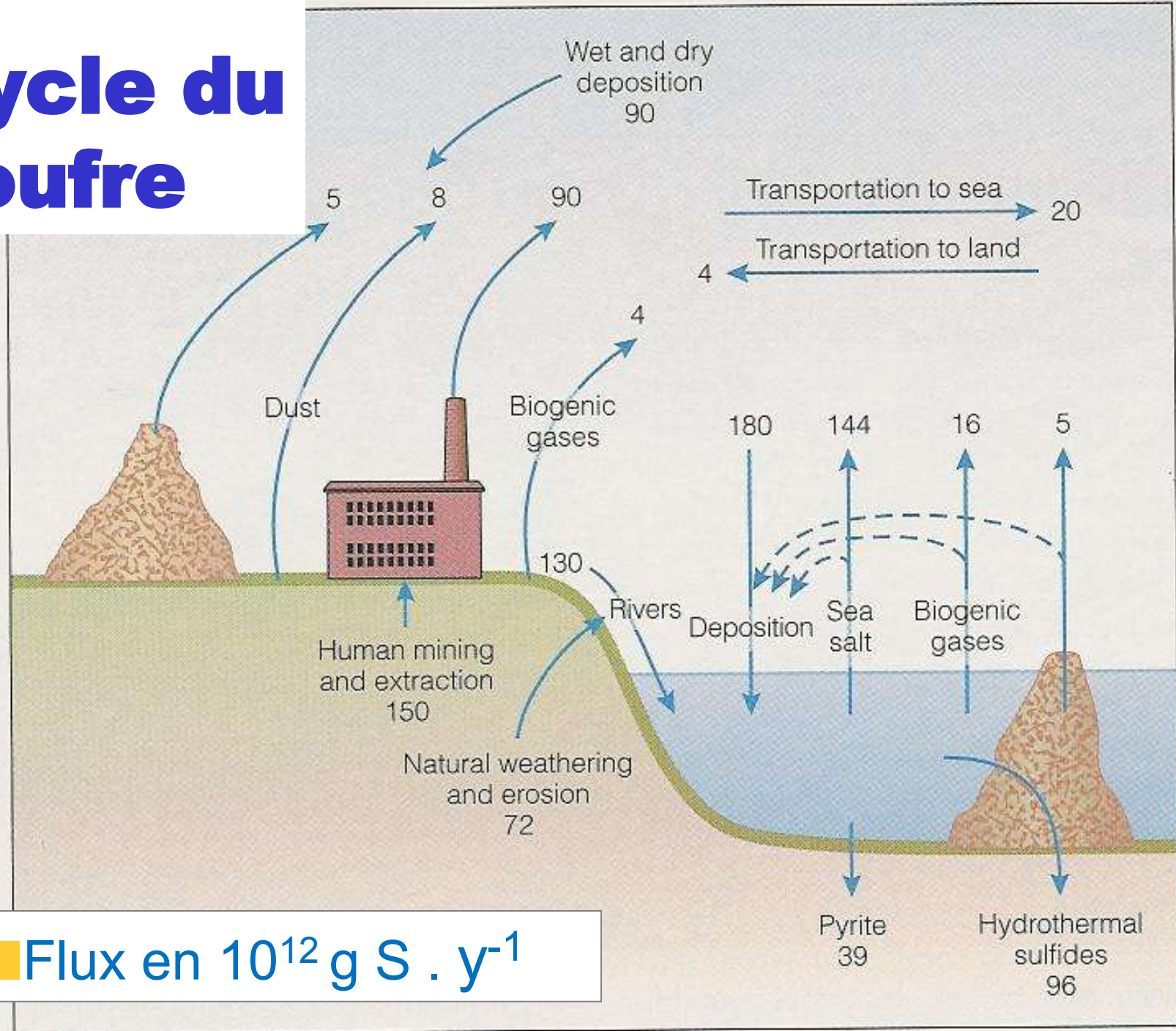
Activité  
volcanique

## Organismes

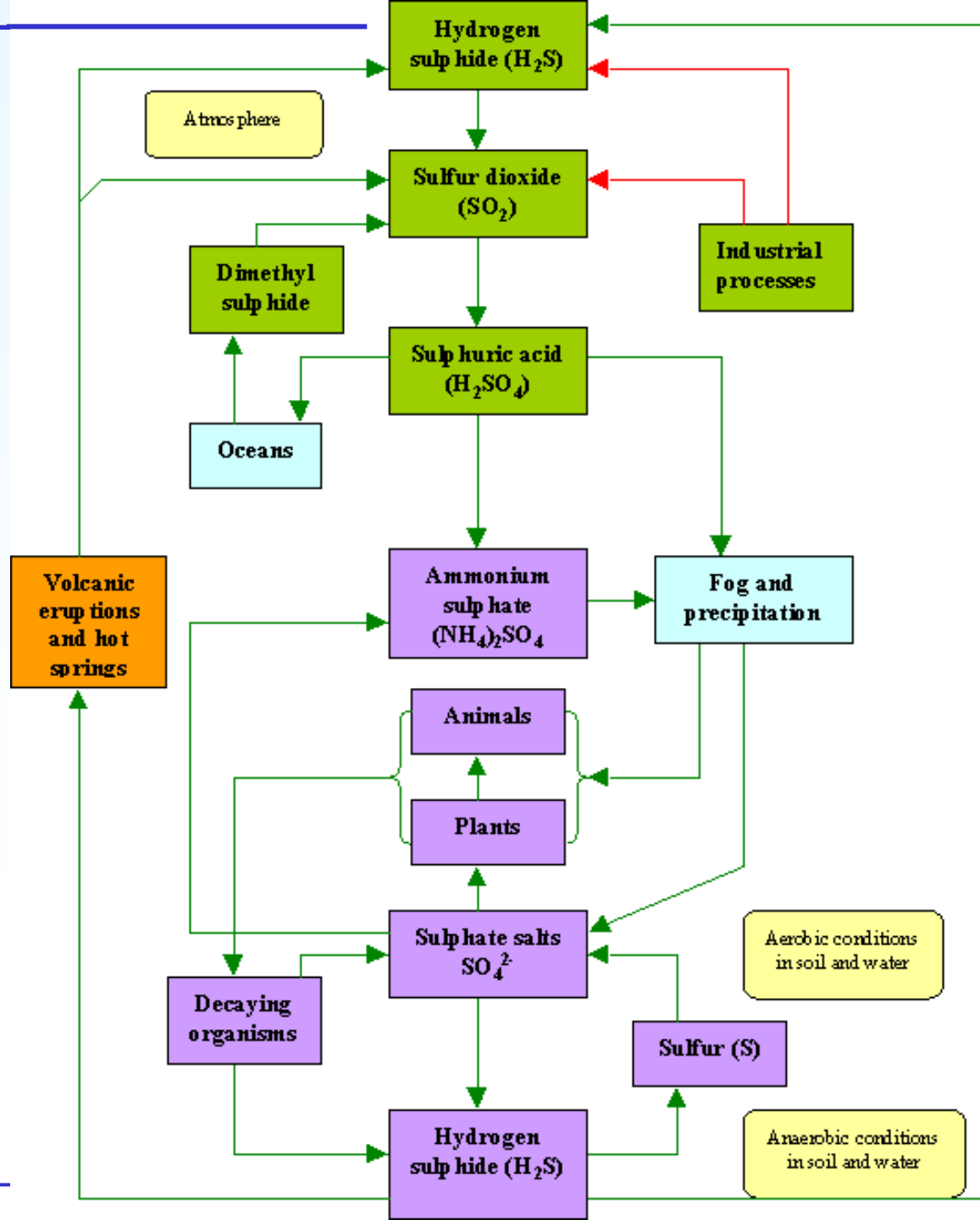
Bactéries sulfo-  
réductrices

- Protéines sulfurées
  - Cystine
  - Méthionine...
- Végétaux *seule source pour les animaux*

# Cycle du soufre



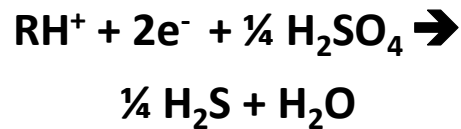
■ Flux en  $10^{12} \text{ g S} \cdot \text{y}^{-1}$



# Les bactéries

## Sulfato-réductrices

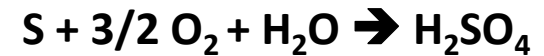
Réduisent le sulfate en sulfure



Ubiquistes

## Sulfo-oxydantes

Utilisent le soufre minéral



pH bas

# Les pluies acides

Soufre atmosphérique transformé en sulfate  $\text{SO}_4$

Redéposé à la surface du globe

Effet destructeur de la végétation

Pluies dont le  $\text{pH} < 5,6$

Dû à la combustion des énergies fossiles

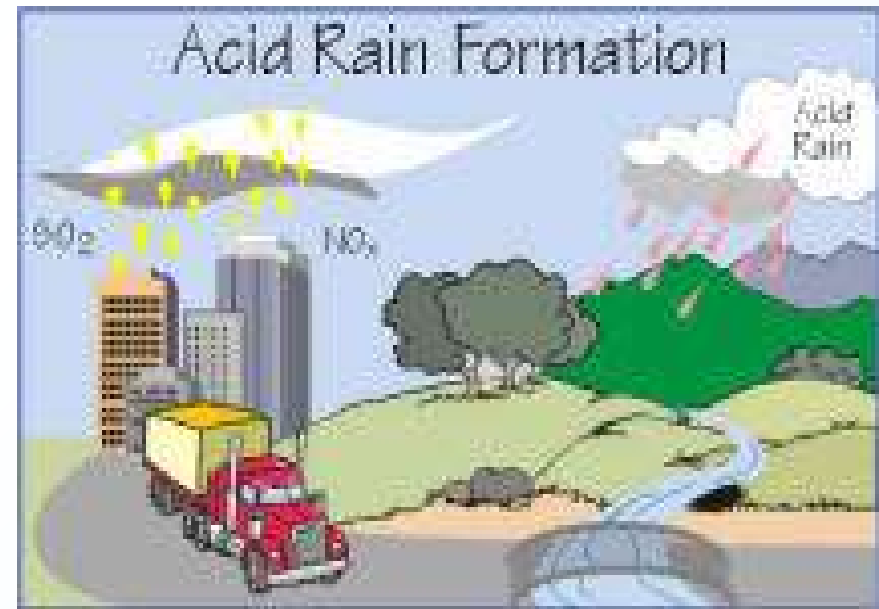
160% de soufre produits par les humains

Existent au Groenland

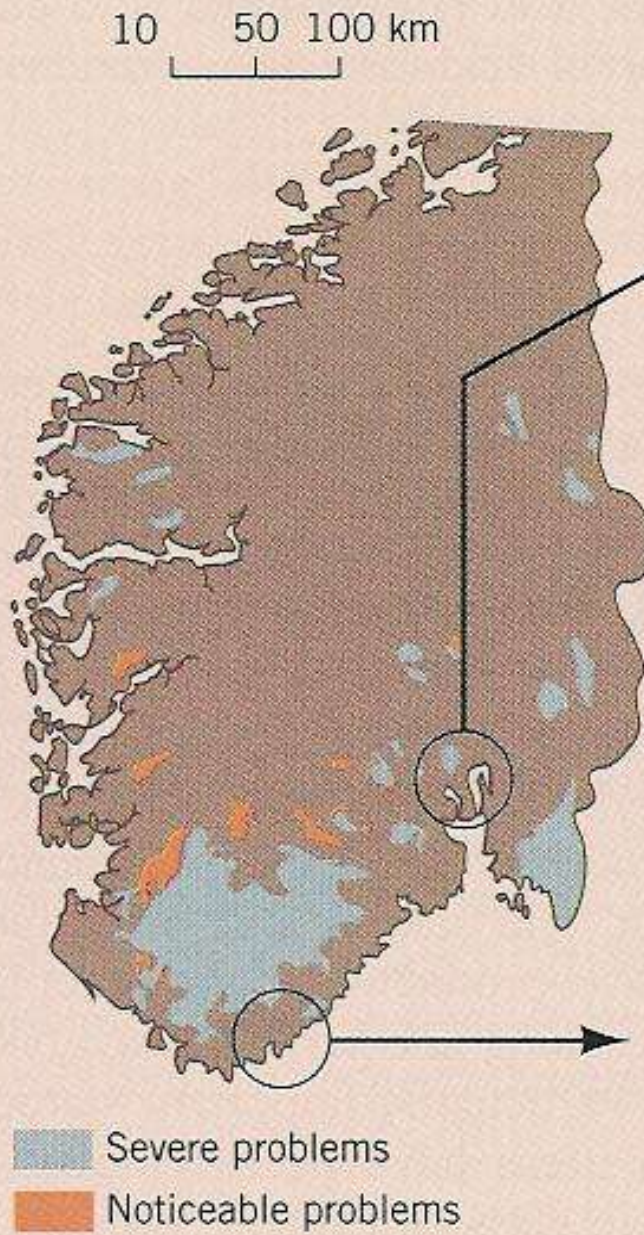
# Nitric acid

■ Nitric acid is formed from nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) emissions from fossil fuel combustion.

- It contributes about 30% to the overall acidity of deposition.
- *Reaction mechanism: NO<sub>2</sub> + OH<sup>-</sup> -> HNO<sub>3</sub>*



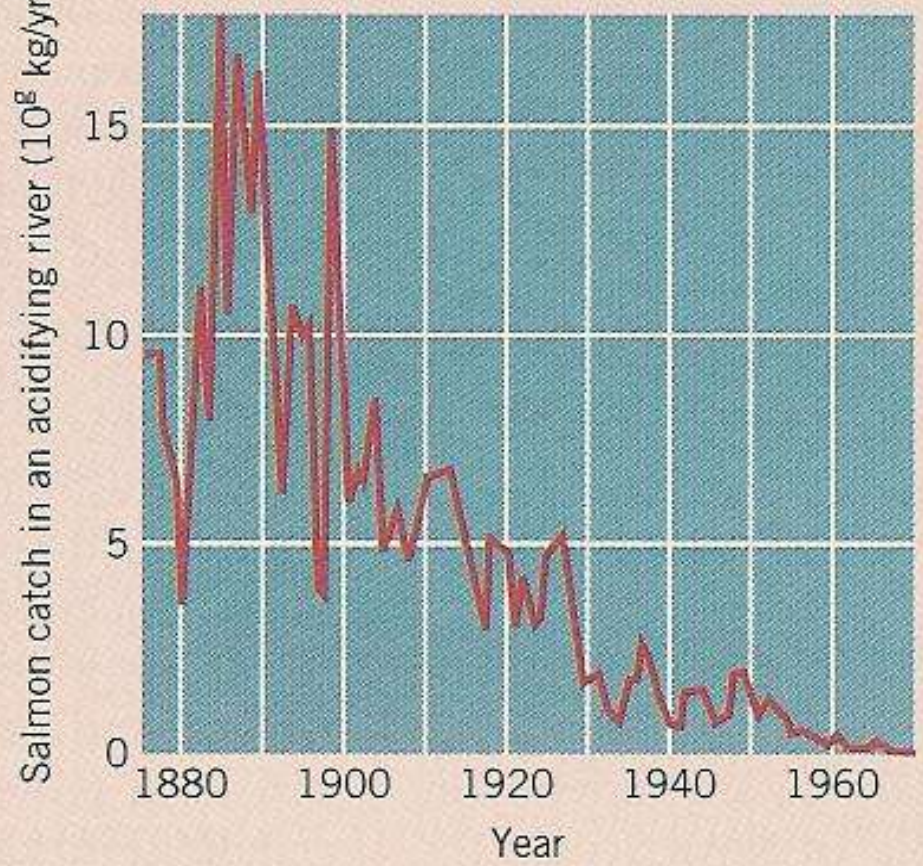




**(a)** Location in Norway



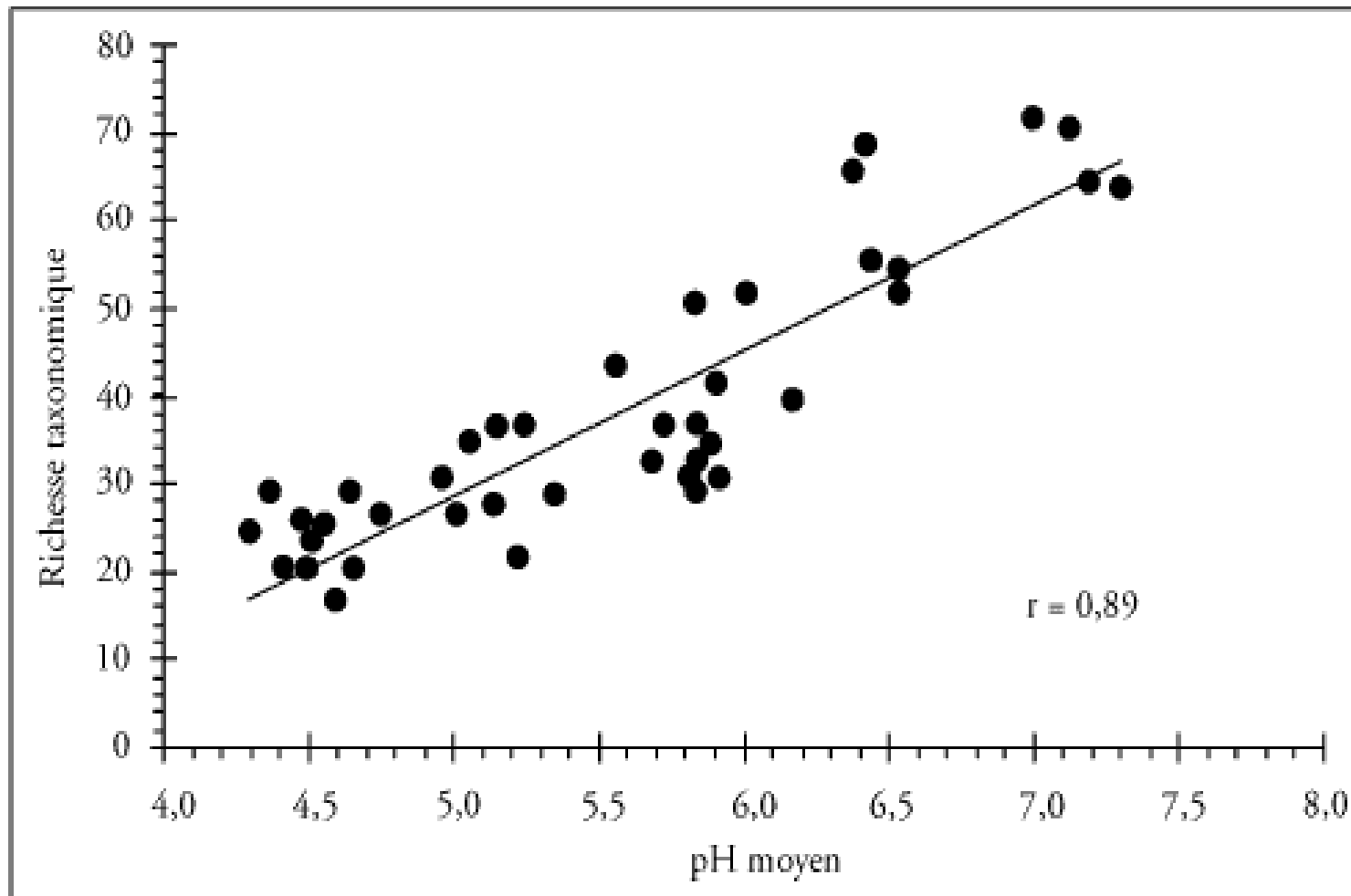
**(b)** pH at Oslo



**(c)** Catch of fish

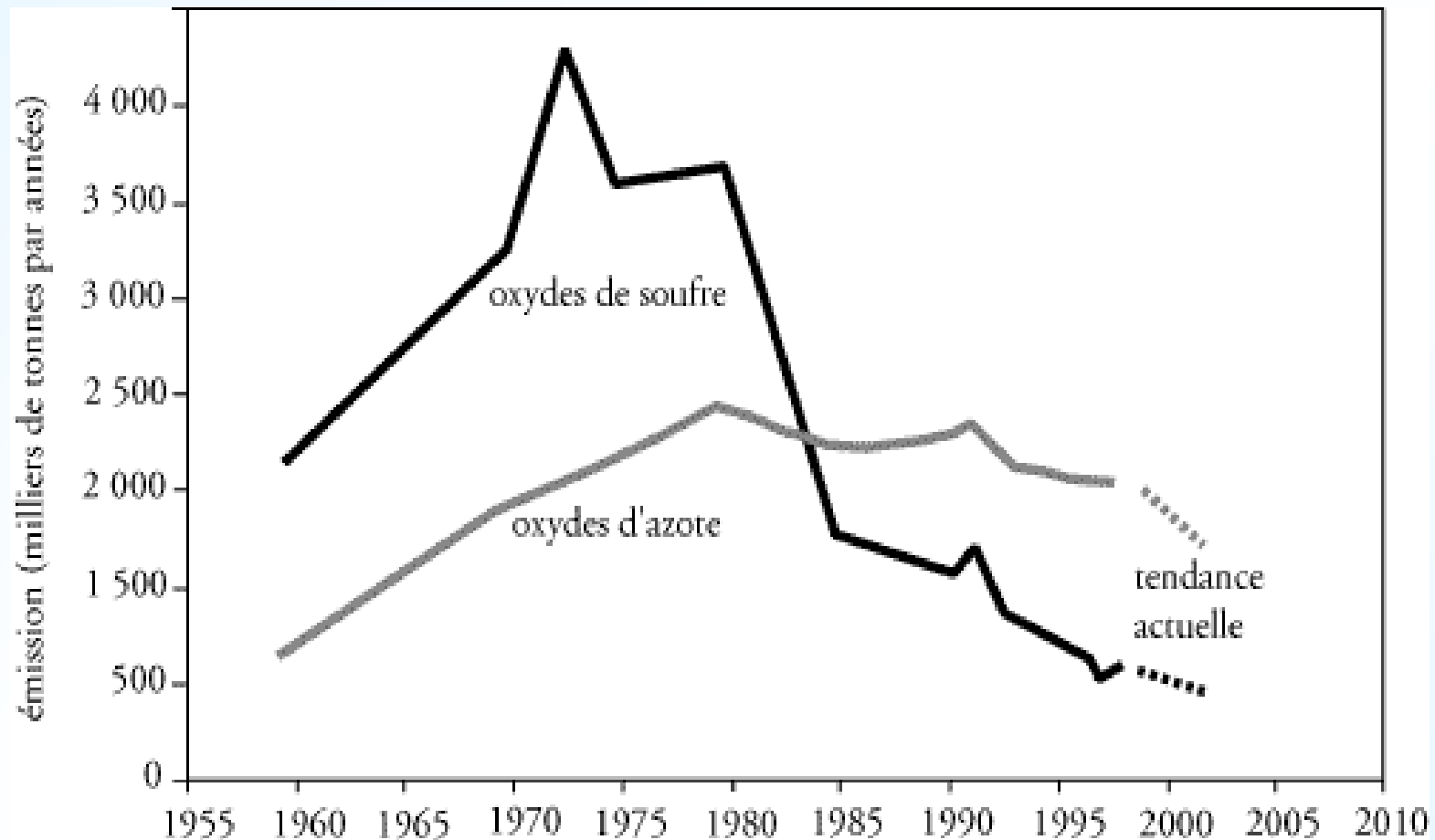
Wright et al, 1970

# Réduction de la richesse taxonomique en fonction du pH moyen de 41 cours d'eau (d'après Guéroid et al., 2000).





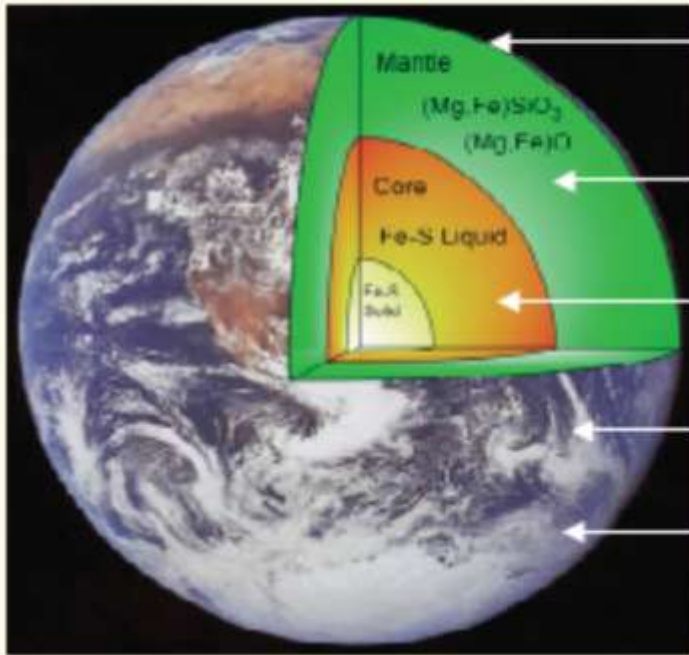
# Emissions françaises d'oxydes de soufre et d'azote au cours des 4 dernières décennies (sources : CITEPA et EMEP).



# CYCLES BIOGEOCHIMIQUES & NUTRIMENTS DANS LA BIOSPHERE

1. INTRODUCTION
2. CYCLE DU CARBONE
3. CYCLE DE L'EAU
4. CYCLE DU PHOSPHORE
5. CYCLE DU SOUFRE
6. CYCLE DES MINERAUX

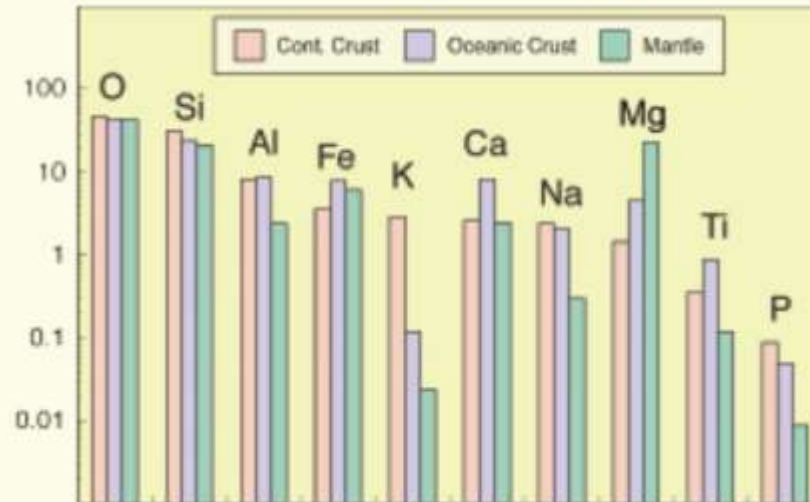
# Earth Differentiation



- Crust:** enriched in O, Si, Al, K, Na, Sr, Rb, P, U
- Mantle:** enriched in O, Si, Mg, Fe, Ca
- Core:** enriched in Fe, S, Ni, Co, Os, Ir, Re, Pt, Au
- Seawater:** enriched in H, O, Na, Mg, Cl, B, S, Br
- Atmosphere:** enriched in N, Ne, Ar, Xe, Kr

# Minéraux du globe terrestre : cations métalliques et anion Cl-

- croûte
- manteau



# The sedimentary cycles of essential minerals

- soluble but non-volatile
- through plants to animals
- Mg: chlorophyll molecule
- Ca and Si: shells, bones, teeth
- Fe, Mn, Na: vitally important

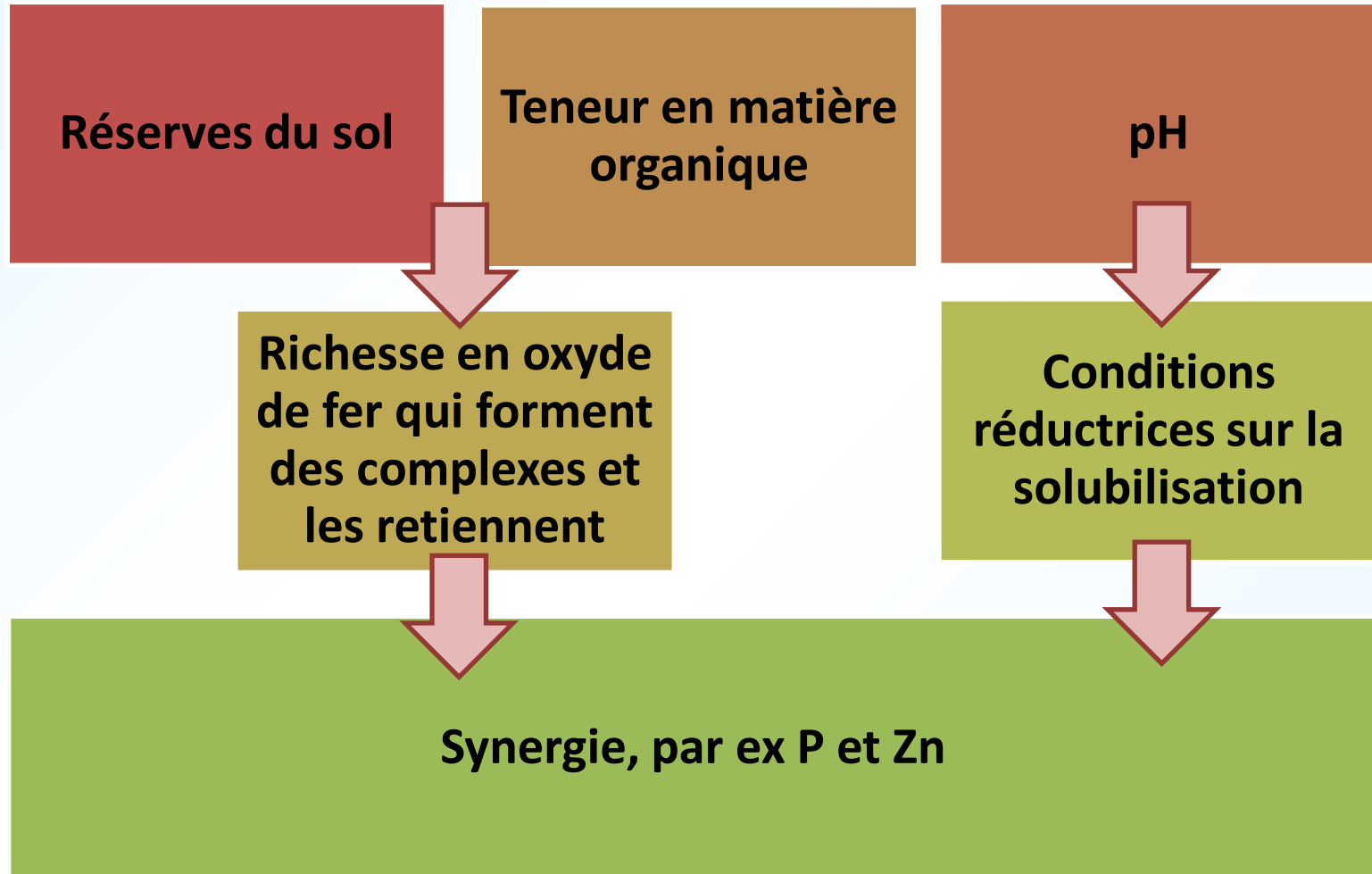
*Le bore contribue à synthétiser le carotène qui, à son tour, sert à fabriquer la vitamine A chez l'animal.  
Carence ou intoxications selon les doses.*



# Oligo-élément

- substance présente en très faible quantité (quelques microgrammes) dans l'organisme humain mais néanmoins indispensable à celui-ci ; les principaux oligo-éléments sont le cobalt, le cuivre, le fer, le fluor, l'iode, le manganèse, le molybdène et le zinc.

# Facteurs de l'assimilation des oligoéléments



# Richesse du sol en oligoéléments

Nature de la roche mère

Type d'altération

Sols sableux lessivés pauvre en Cu, Co et Mo

Seuls neutres mal drainés riches en Mo

Fonds de vallons riches en césium

Techniques culturales

Le chaulage insolubilise Mn et Zn

Plantes

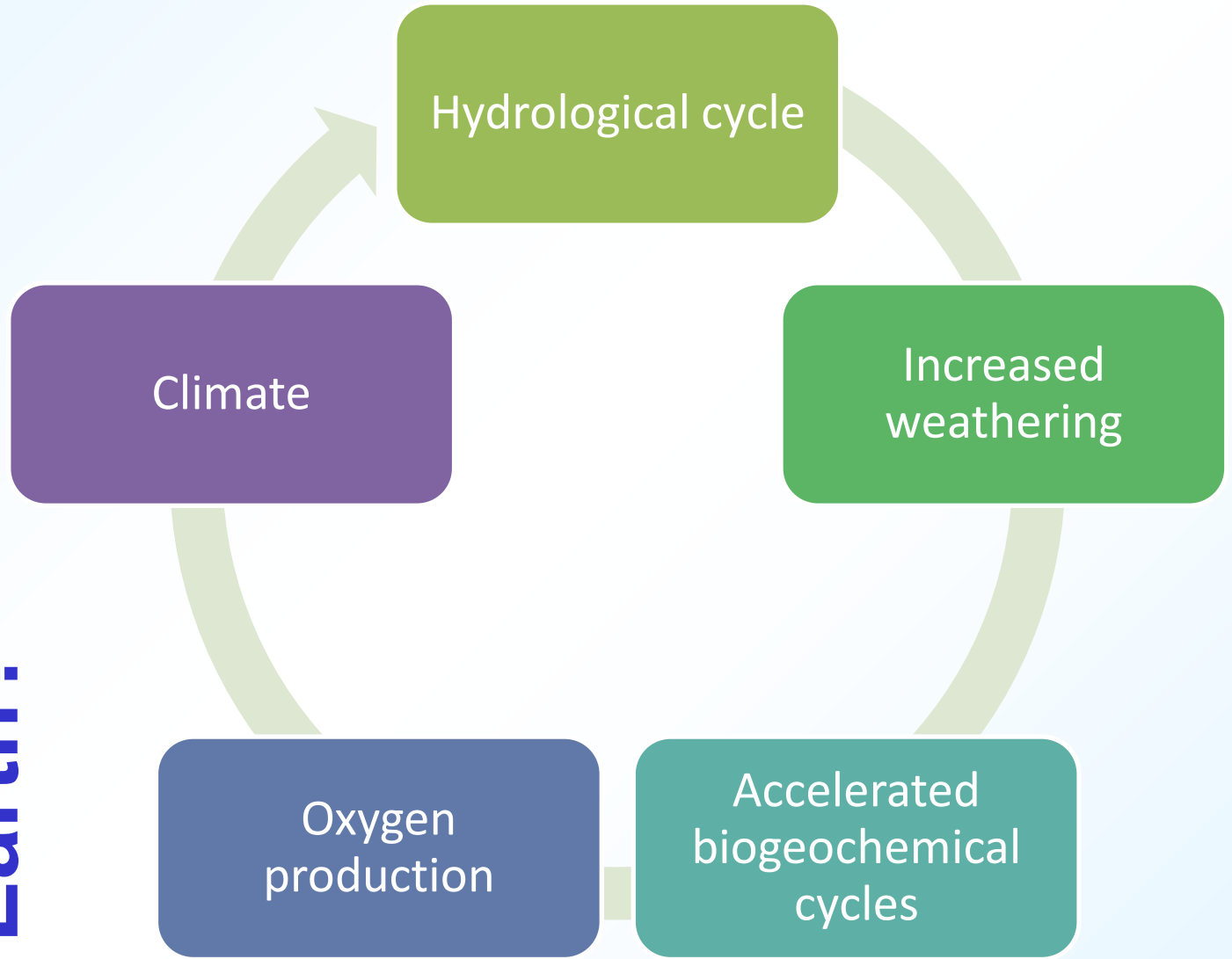
Légumineuses riches en Cu et Co

Facteurs Écologiques

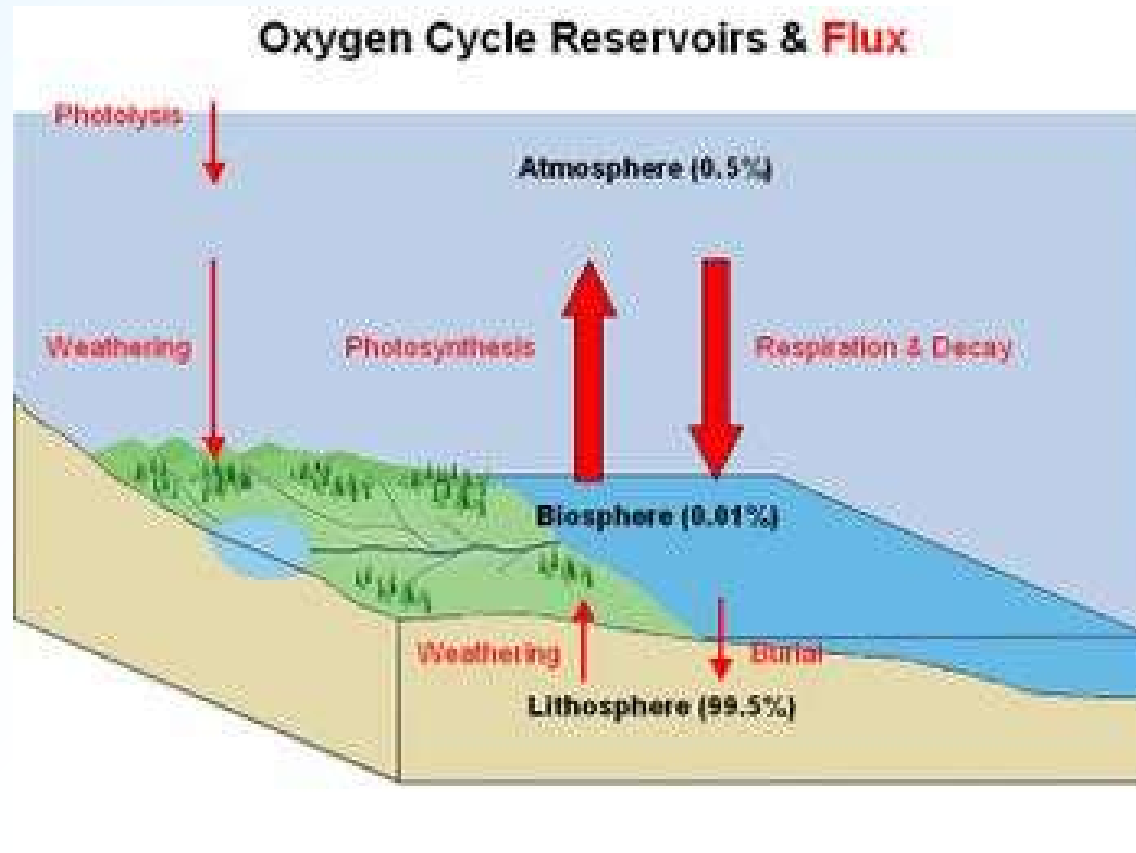


# En guise de conclusion

# How has life affected planet Earth?

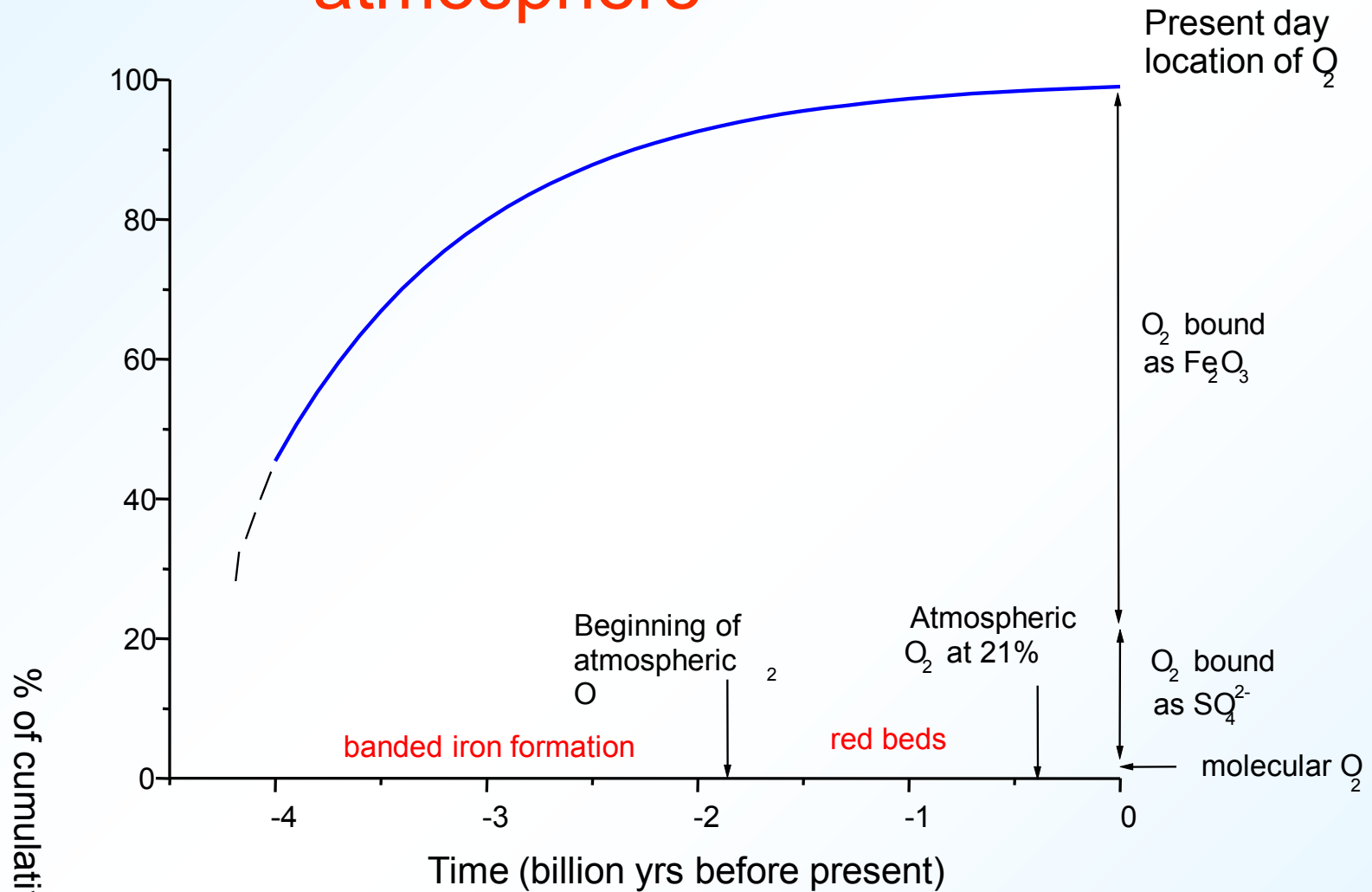


# Le cycle de l'oxygène





# An oxygen atmosphere



# Human impacts

- C cycle: 7 billion tonnes of C combusted from fossil fuels each year
- N cycle: artificial N fixation is now greater than natural rates of fixation
- Land-use change (fires, clearance) and industrial activities can affect aerosol transport of nutrients

