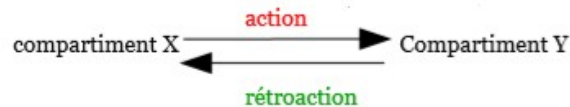


# Perturbations anthropiques des cycles biogéochimiques

## **I-Cadre conceptuel et représentation**

### *A-Principe de base*

De la structure au fonctionnement d'un système écologique : (Cf tp BECO L1) :



Un cycle biogéochimique est une **boucle caractérisée par 2 phases**, une phase **minérale** et une phase **organique**.

Un cycle biogéochimique inclue au moins 2 compartiments clés :

- Les **producteurs** (organismes qui fixent les éléments minéraux et produisent de la matière organique)
- Les **décomposeurs** (organismes qui décomposent la matière organique en matière minérale)

⇒ la biogéochimie permet l'**étude des flux & fonctions en écologie fonctionnelle**

Un modèle biogéochimique nous permet d'étudier le fonctionnement des écosystèmes :

- Un **système** désigne un **ensemble d'éléments reliés, avec présence d'une dynamique**.
- Les cycles constituent une façon d'aborder la complexité de la dynamique.
- Application aux écosystèmes : **étude des transferts d'éléments biogènes, de matière et d'énergie**

### *B-Quelques éléments de la théorie des systèmes*

Approche systémique (écosystémique)	Approche analytique
RELIE : privilégie les interactions	ISOLE : privilégie les éléments
EFFETS des interactions	NATURE des interactions
ÉTUDIE des groupes de variables	Modifie UNE VARIABLE à la fois
INTÉGRATION du TEMPS	INDÉPENDANCE de la DURÉE
Validation par COMPARAISON (modèle vers réalité)	Validation par PREUVE EXPÉRIMENTALE
Modèles pour l'action et la décision	Modèles trop précis pour l'action
APPROCHE GLOBALE (holisme) ⇒ systèmes interactifs complexes	APPROCHE du DÉTAIL (réductionnisme) ⇒ systèmes simples

## II-Fonctionnement écosystémique et cycle des bio-éléments

### A-Les grands flux

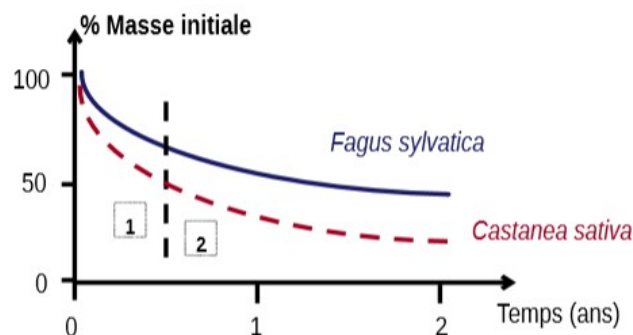
Des formes minérales aux formes organiques de la matière :

- Production = fabrication de matière organique
  - autotrophe : producteurs primaires
  - hétérotrophe : producteurs secondaires, décomposeurs
- Production Primaire Brute (GPP) et Production Primaire nette (NPP) (une fois que les végétaux ont absorbée il peut y avoir des pertes)
- Net Ecosystem Productivity (NEP) (ensemble des échanges)  
⇒  $NEP = GPP - R_p - R_h$   
→ Avec :
  - GPP = flux lié à la photosynthèse
  - $R_p$  = respiration autotrophe
  - $R_h$  = respiration hétérotrophe
- ⇒ Net Ecosystem Exchanges (NEE) = gains - pertes (respiration, lessivage, etc.)

Des formes organiques aux formes minérales de la matière :

Il existe un processus de biodégradation et de minéralisation de la matière organique morte.

- Le devenir de la matière organique est fonction de l'activité microbologique.  
→ Devenir de la matière organique =  $f(\text{activité microbologique})$
- L'activité microbologique, quand à elle, est fonction de la qualité de la matière organique morte, des nutriments disponibles, de l' $O_2$  (oxygénation) et de la température.  
→ Activité microbologique =  $f(\text{qualité MO, nutriments, } O_2, T^{\circ}C)$
- Le modèle général de décomposition est le modèle exponentiel  
→ exemple de la forêt :



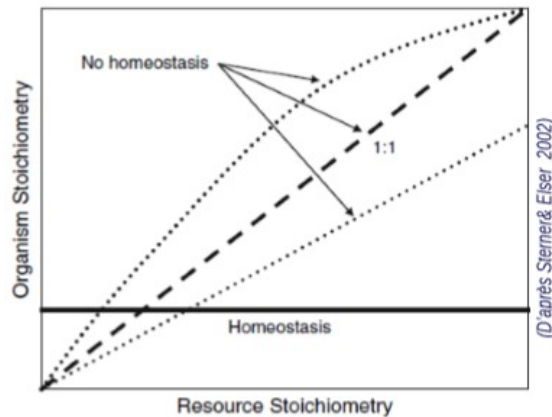
- Il existe des variations en fonction de la nature chimique des litières et du sol
- On observe 2 grandes phases, une phase de décomposition assez rapide et une phase de décomposition lente

## B-Le couplage des cycles

L'écologie stœchiométrique (ES) correspond à la science qui étudie les ratio des différents éléments au seins des relations trophiques.

Quelques rappels et définition :

- Homéostasie = processus de régulation de l'organisme permettant le maintien de conditions constantes
- Se dit d'un écosystème dont les propriétés permettent de conserver un état d'équilibre

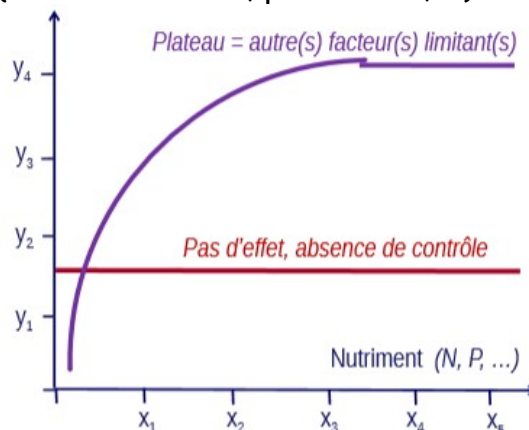


⇒ Modèles théoriques reliant ressource et stœchiométrie des organismes consommateurs :

- Organismes homéostatiques (trait plein horizontal)
- Organismes non homéostatiques :
  - Adaptation à la ressource (relation 1:1)
  - Divergence par rapport à la relation 1:1

Notion de facteur limitant :

→ réponse fonctionnelle (ex : assimilation, production, ...)

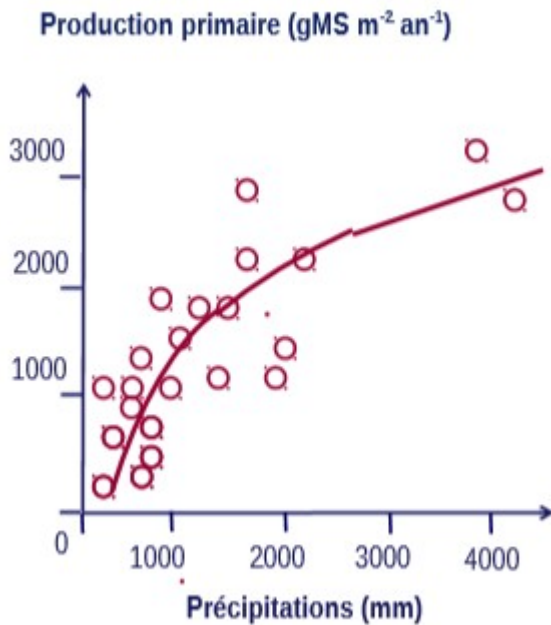


→ D'où intérêt d'étudier les ratios d'éléments (C:N, N:P, etc.)

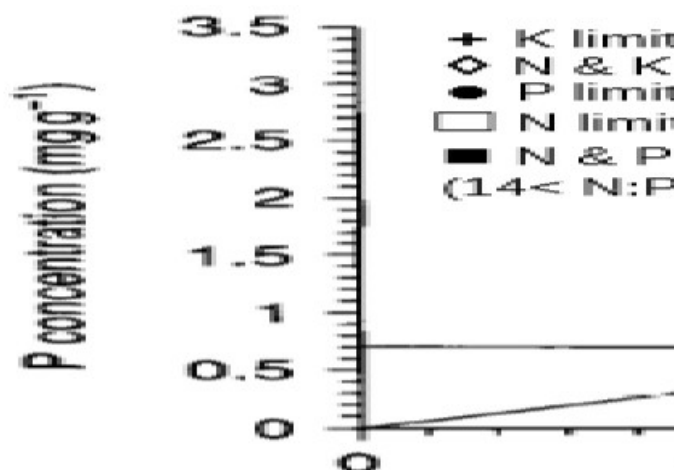
→ Redfield ratio (C:N:P) = 106:16:1 (phytoplancton marin)

ES = étude de l'équilibre des substances chimiques dans les interactions et processus écologiques

La production primaire concerne le carbone (C) mais aussi d'autres éléments ( $H_2O$ , N, S, etc ...).

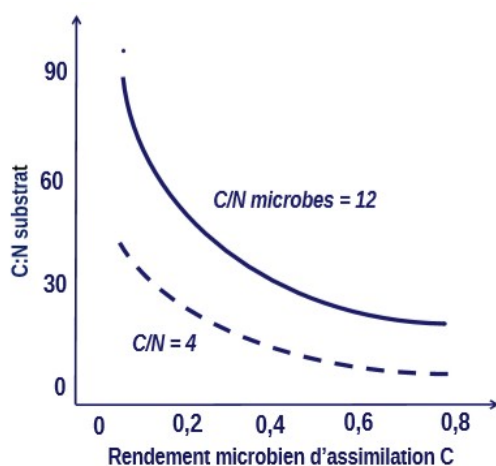


→ relation production primaire -  $H_2O$   
→ NPP augmente avec P (mm)



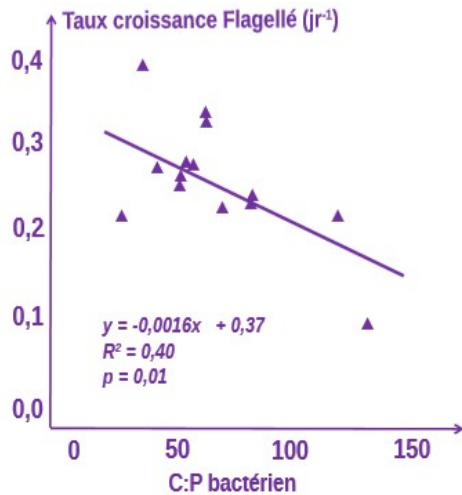
- lignes horizontale et verticale = concentrations critiques en P et N
- droite à l'origine pour N:P = 15

Hétérotrophes : qualité de la ressource et assimilation



Assimilation décomposeurs = f(qualité nutritive substrat)

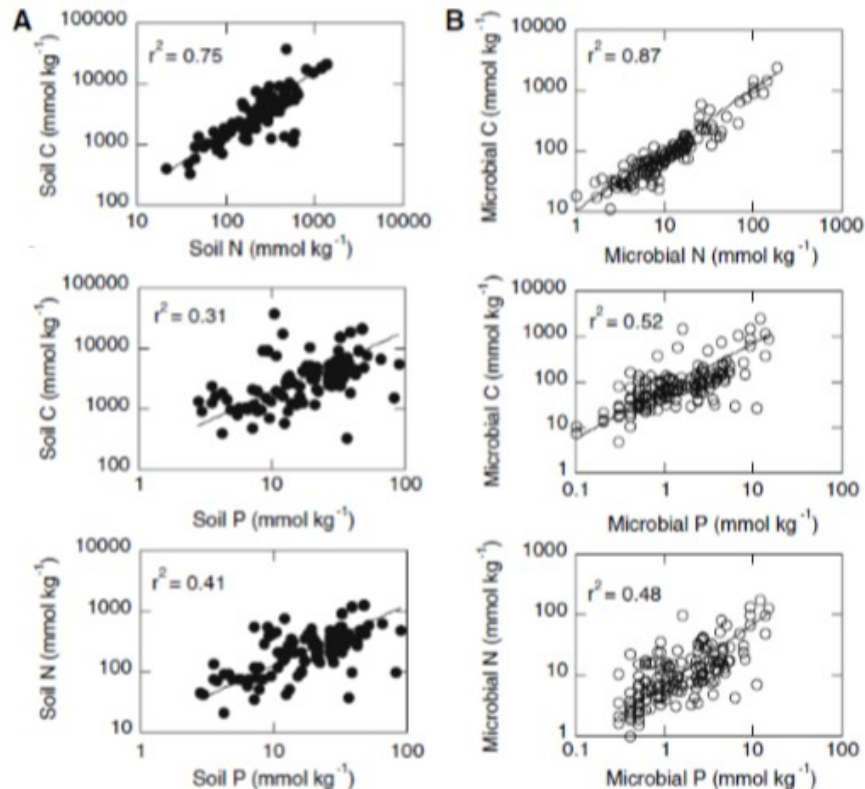
→  $C/N < 15 \Rightarrow$  minéralisation de la MO stimulée ;  
 $C/N > 30 \Rightarrow$  diminution de la minéralisation et augmentation de l'immobilisation de la biomasse



Relation prédateur - proie et ratio élémentaire :  
 → Si C:P proies augmente alors taux de croissance Flagellé diminue (déséquilibre stoechiométrique)

## Écologie stœchiométrique

→ Relations stœchiométriques C-N-P dans le sol et la biomasse microbienne édaphique



## C-Les composantes écosystémiques et l'analyse de la dynamique des éléments

La question de l'équilibre d'un système :

- Échelle de temps court, qui correspond à une hypothèse de stabilité. Autrement dit, il n'y a pas de changement dans l'intervalle de temps considéré.
- Alors application possible d'une des propriétés fondamentales des systèmes à l'équilibre :

⇒ Il y a une égalité des flux d'entrée et des flux de sortie.

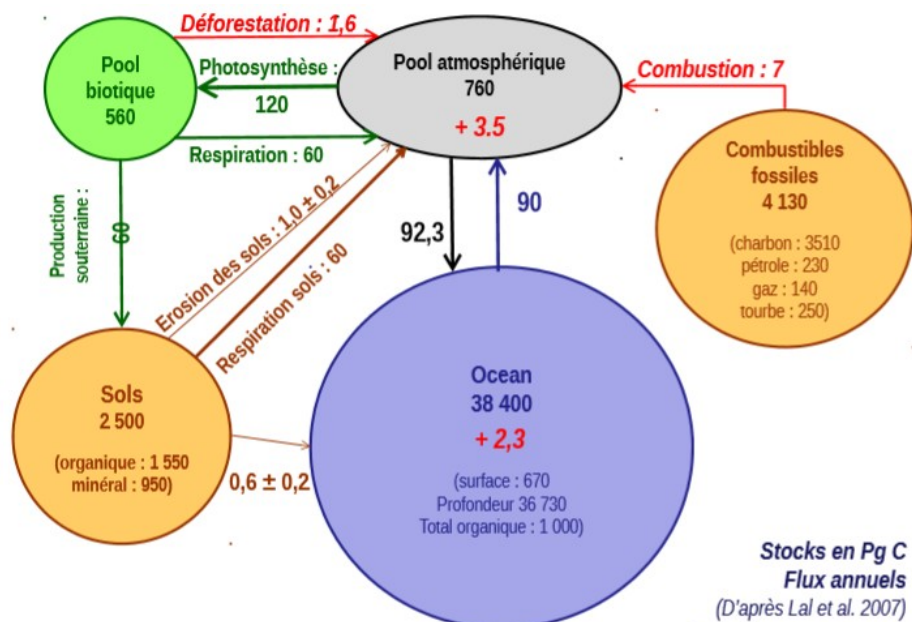
La construction de la structure et du fonctionnement :

- La construction de la structure et du fonctionnement est fonction des objectifs  
→ exemple : représentation comparative (types de forêts, dynamique dans le temps, etc ...).
- L'application se fait à différentes échelles (d'un écosystème à la biosphère) :
  - La complexité et la précision sont fonction de la connaissance.
  - Il y a présence d'une incertitude plus ou moins élevée.

Comment s'y prendre ? Il faut bien définir la question, exemples :

- Quels sont les impacts de la remise en circulation du C fossile sur le climat ?
- Quels sont les impacts de la déforestation sur la minéralisation du C ?  
→ On procède à une identification des stocks et des flux.

Le carbone à l'échelle de la biosphère : impact anthropique global



⇒ Déséquilibre et modification des flux : le système n'est plus à l'équilibre (modifications dues aux activités anthropiques)

Le carbone à l'échelle de la biosphère, quelques données :

- Temps de résidence d'un atome de carbone :
  - atmosphère : 4 ans
  - biosphère : 11 ans
  - hydrosphère superficielle (0-10 m) : 385 ans
  - océan profond : 100 000 ans
  - lithosphère : 200 millions d'années



- Hiérarchisation des sous-cycles :
  - À l'échelle temporelle :
    - ⇒ Le recyclage du C-CO<sub>2</sub> de la plante se fait sur environ 10 ans (c'est un cycle court)
    - ⇒ Le recyclage du C du sol peut prendre jusqu'à 5 000 ans
  - Différenciation entre cycles internes (on ne se soucie pas des échanges avec l'extérieur, ni en perte ni en apport) et cycles externes
    - ⇒ Exemple : sols, échanges avec d'autres écosystèmes

### III-Types de perturbations et conséquences sur les cycles biogéochimiques

#### A-Déforestation : stockage du C et impact pédogénétique (Ca)

→ Impact du Land Use/Land Cover Change sur les flux de C à l'échelle de la biosphère.

Production brute : production nette + stock perdu par la respiration

a & b : bilan C Planète : 2000-2009

a = flux nets ; b = flux bruts (GPP vs respiration)

c : part du C issu 'héritage' (contribution des années passées)

- décomposition (source) et repousse (sink) activités avant 2000

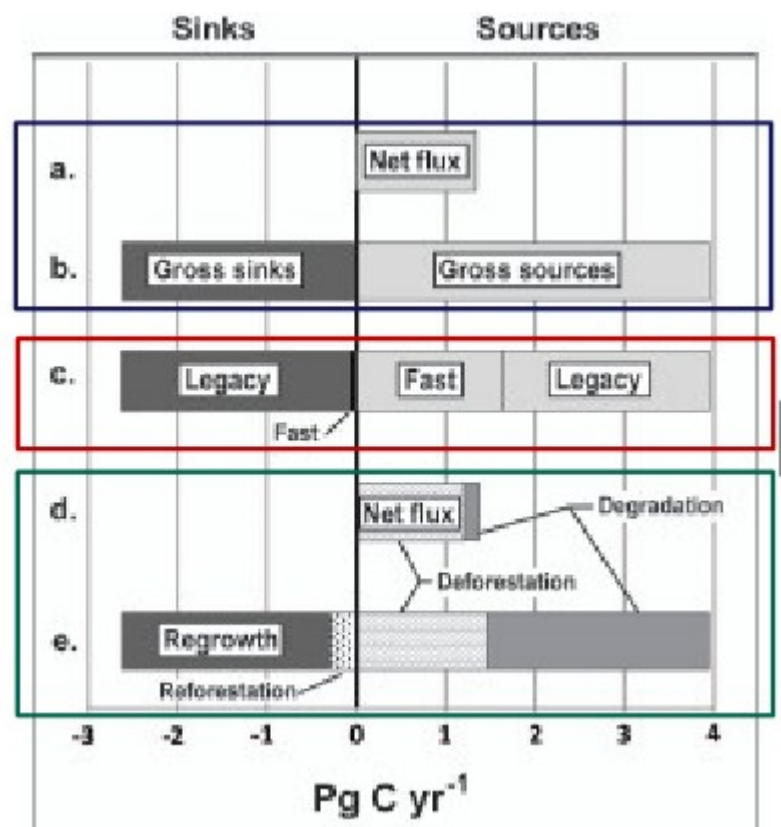
- 'fast' = activité de l'année 2011

d & e : part de la déforestation dans bilan

- impact déforestation et dégradation forêt

- repousse forêts exploitées + jachères cultures itinérantes

- reforestation après abandon cultures



→ Déforestation et stockage du C à l'échelle régionale

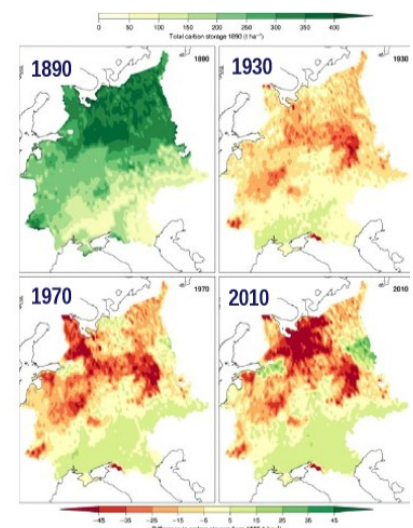
→ Exemple des forêts de l'Europe de l'Est :

- 1890 : Stock de carbone total

→ de 0 à 400 t/ha (gradient de vert)

- De 1890 à 2010 : différence de stockage (t/ha) lié à la déforestation

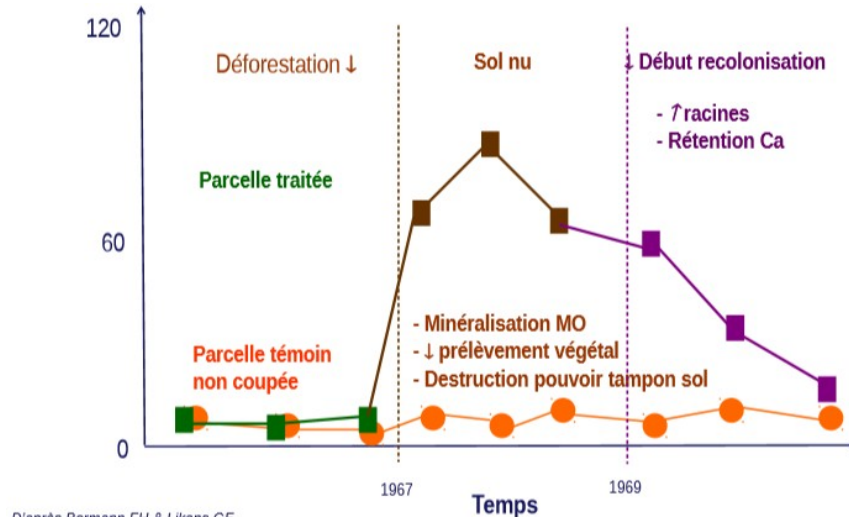
→ de -45 (rouge) à +45 (vert foncé)



Le fonctionnement est majoritairement de type source, il y a libération de C.

Perturbation pédogénétiques :

→ Lessivage du calcium : étude diachronique (qui s'intéresse à l'évolution au cours du temps ; s'oppose à synchronique) à l'échelle d'un écosystème



D'après Bormann FH & Likens GE

- sur un sol nu, on observe une minéralisation de la matière organique, une diminution du prélèvement végétal (les arbres ne pompent plus dans le sol par exemple) et une destruction du pouvoir tampon du sol.  
⇒ Il n'y a pas de possibilité de fixation sur le complexe argileux.
- au début de la recolonisation, on observe une augmentation du nombre de racines et une rétention de Ca (Calcium)

### B-Intensification agricole (NPKCa) et cycle du C en tourbières

Un écosystème, la tourbière : des sphaignes et de la tourbe

- Il y a accumulation C depuis début de l'Holocène
- Il y a présence de nombreuses espèces relicttes glaciaires

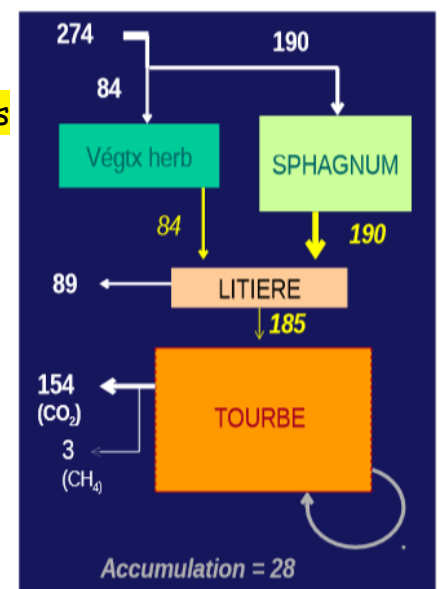
Fonctionnement naturel :

⇒ Fonction « puits » pour le C, autrement dit, en conditions naturelles non altérées, la tourbière se comporte tel un puits de C. Il y a donc accumulation de carbone.

⇒ présence d'une activité microbienne dans la tourbe

Conclusion :

- Sphagnum sp joue un rôle déterminant, c'est une espèce ingénieure (Archées → méthanogènes)
- on observe une accumulation annuelle de Carbone qui correspond à environ 10 % de la production



(D'après Francez & Vasander 1995, Acta Oecologica)



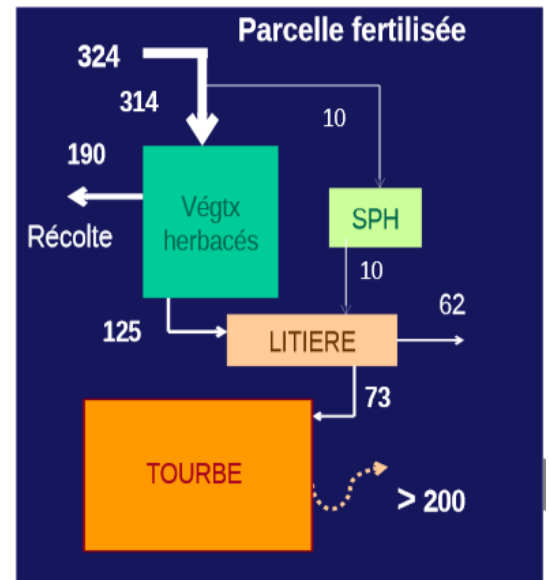
La tourbière suite :

on a un contexte de moyenne montagne (Jura, Massif central, Vosges)

⇒ on observe une conduite de fauche en fertilisation :  
→ quel devenir ?

⇒ Conclusion :

- On observe une régression de Sphagnum, qui est liée à une modification du biotope, et des différents facteurs environnementaux tels que le pH, par les différents éléments (N, C, P ...)
- On constate une « Ouverture du cycle », il y a ainsi augmentation des exports
- Il y a basculement d'un fonctionnement « puits » vers un fonctionnement « source » de C, il y a libération de carbone  
→ pertes >> gains



### C-Pluies acides et dépôts atmosphériques (N)

Définitions :

Pluies acides (Robert Angus SMITH, 1870) : précipitations altérant ou détruisant les écosystèmes et corrodant les bâtiments.

Origine de l'acidité :

- Source naturelles :  $\text{SO}_2$  (souffre) volcan,  $\text{NO}_x$  foudre, dénitrification, etc ...
- Sources anthropiques : engrais N (agriculture), combustion (Charbon, ...)

Les pluies acides sont liées à la pollution de l'air :

- Les principales molécules responsables sont  $\text{SO}_2$  et  $\text{NO}_x$
- Les sources de pollution d'origine anthropique sont par exemple HCl (incération plastique) et l'ammoniac (épandage engrais)

Les substances sont transportées (via le vent) et déposées (dépôts atmosphérique)

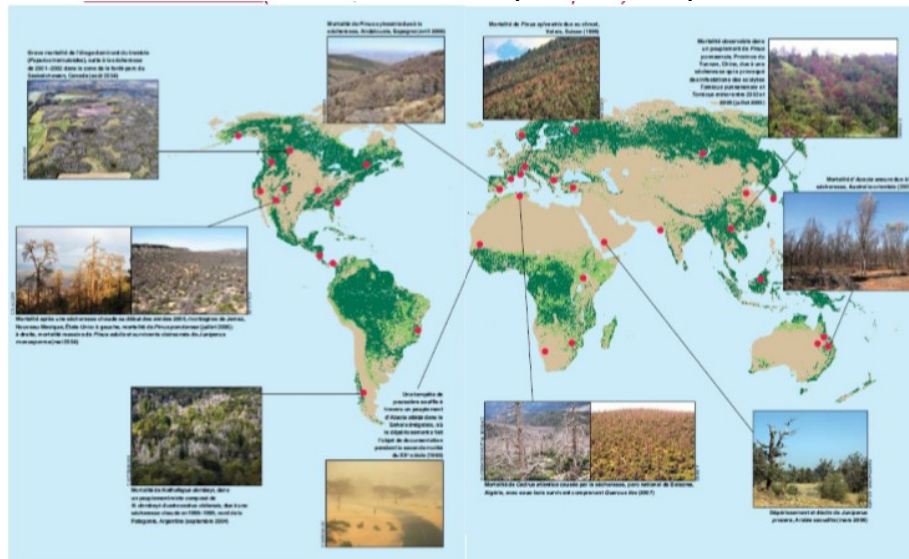
- Physique et chimie de l'atmosphère
- On observe des effets directs (sols) et des effets indirects (plantes)

Il y a compétition entre dépôts secs et dépôts humides (précipitation VS particule)

Principales conséquences des pluies acides :

- Sur les sols :
  - perte des éléments nutritifs (Ca, Mg)
  - désorption des métaux toxiques (Al par exemple) pour la végétation
- Sur les espèces :

- ## Le dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant ?



## Acidification des eaux de pluie : conséquences sur le fonctionnement (cycle de l'N) d'une steppe

[illegible]

- complexe argilo-humide
- structure des communautés
- flux d'azote

Sol :

- **Déstructuration complexe argilo-humique**  
→ toxicité Al (augmentation), altération stocks Ca, Mg, Na
- **Perturbation recyclage N**  
→ N minéralisation (diminution nitrification & augmentation ammonification)  
→ SM soil moisture (augmentation), P disponible (AP diminution)

Micro-organismes :

- **MCS = indice de diversité**
- Ba = bactéries (diminution) & Fu = Fungi (augmentation) (PLFAs)

Nématodes :

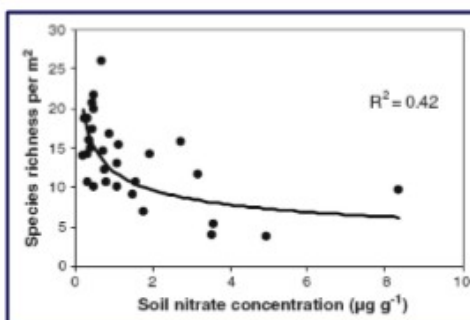
- **MI et PPI = indices de réponse fonctionnelle** (basés sur r-K sélection et traits d'histoire de vie)
- **TR = taxa richness** (diminution) & **TA = abondance totale** (augmentation)

Communautés végétales :

- **PSR = richesse spécifique** (diminution) & **PCC = recouvrement** (diminution)

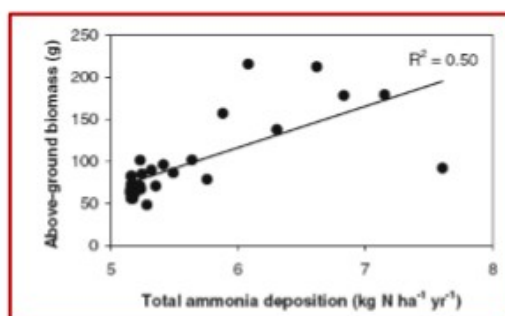
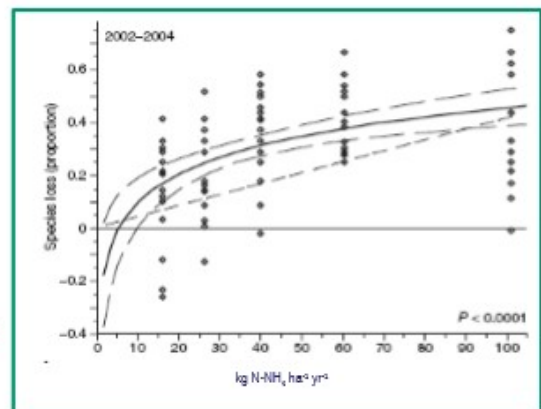
### Impacts sur les communautés végétales de prairies

(D'après Stevens & Tilman 2010, Clark & Tilman 2008)

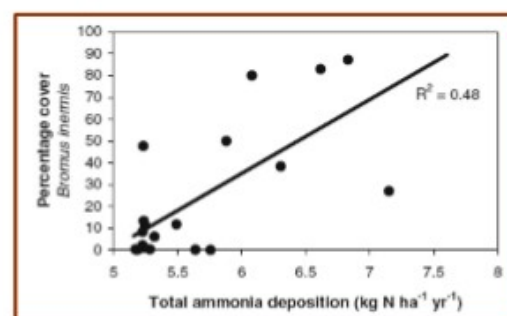


Richesse S ↓  
avec ↑ NO<sub>3</sub> sol

- Perte de diversité avec ↑ NH<sub>4</sub> précipitations (faibles concentrations → N limitant)



- Augmentation de la biomasse aérienne totale



- Une espèce (*Bromus inermis*) favorisée

⇒ le nombre d'espèces diminue avec l'augmentation de NO<sub>3</sub> dans le sol

## IV-Conclusion

Les cycles biogéochimiques sont modifiés par les activités anthropiques, de l'écosystème à la biosphère.

Perturbations locales :

- Conséquences directes (fertilisation)
- Conséquences indirectes à plus grande échelle (pluie acides/dépôts atmosphériques)
- Conséquences cumulées (augmentation  $\text{CO}_2$  atmosphérique, apport N, ...)

Cycle Biogéochimique :

- Les certitudes :
  - augmentation du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère : +25 % en 2 siècle
  - augmentation du  $\text{CH}_4$  : x100 en 1 siècle
  - présence de relations entre photosynthèse, carbone du sol et Température
  - l'enregistrement des températures est considéré fiable depuis 1 siècle
- Les incertitudes :
  - Le bilan C entre les différents réservoirs et l'atmosphère est mal connu
  - La végétation augmente avec l'augmentation du  $\text{CO}_2$  s'il y a augmentation des autres nutriments (N,P ...)