

Séminaire, GIP Ecofor

« De l'observation des écosystèmes forestiers à l'information sur la forêt ».
2 et 3 février, PARIS.

Observation du cycle du carbone des forêts : où va le carbone fixé ?

Denis Loustau, EPHYSE, Bordeaux

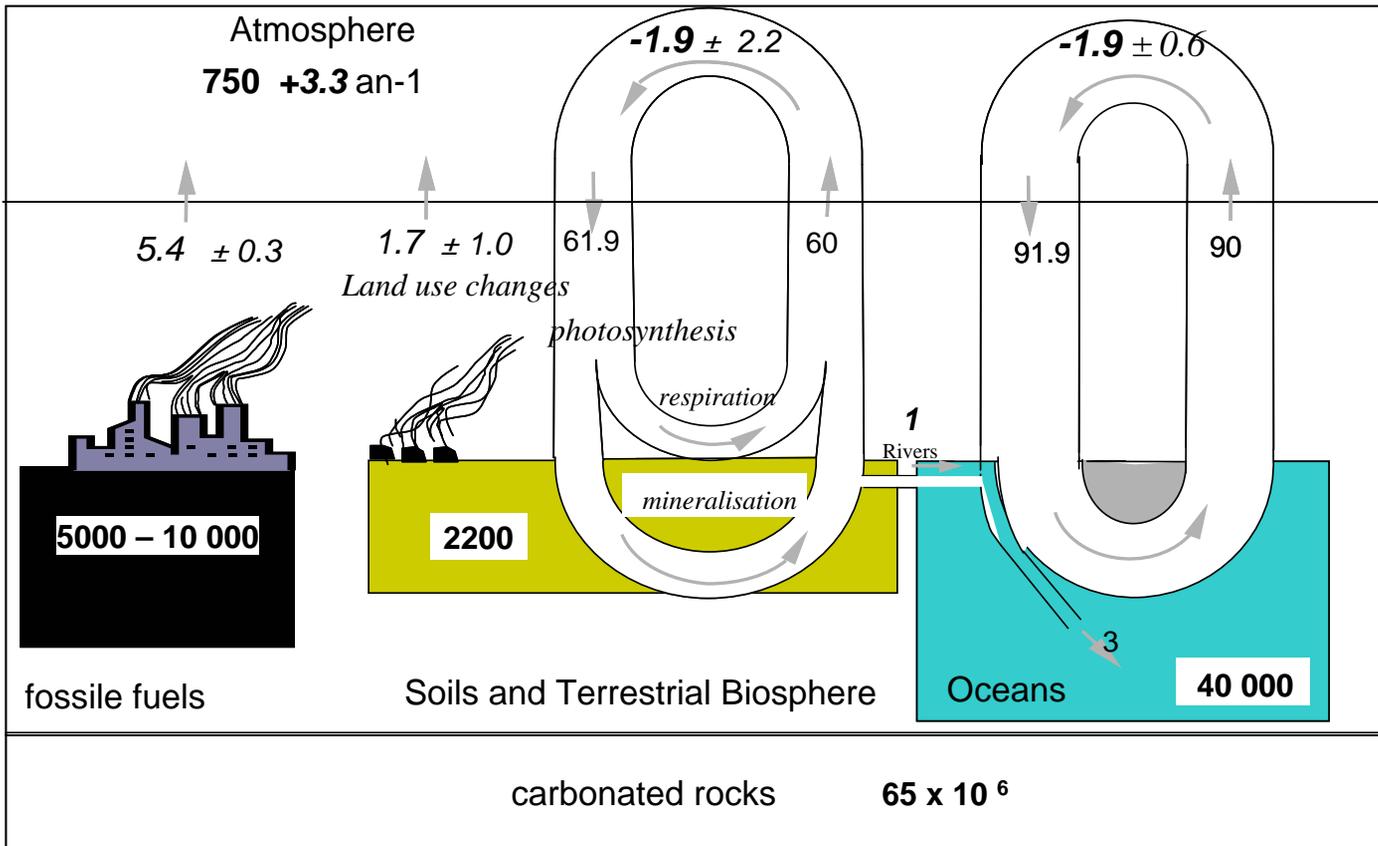
avec des contributions de A Granier, R Joffre, S Rambal, E Dufrêne,
C Nys, Y Nouvellon, JM Bonnefond, J Balesdent, JR Disnar, B Guillet.



La question du cycle du carbone terrestre

Global Annual Carbon Cycle 1980-90

(stock: GtC, flux: GtC.an-1, GIEC 2001)



IPCC, 2001

Quantification des stocks ?

Sensibilité du cycle du carbone terrestre au climat ?

→ comprendre et gérer le cycle du carbone forestier.

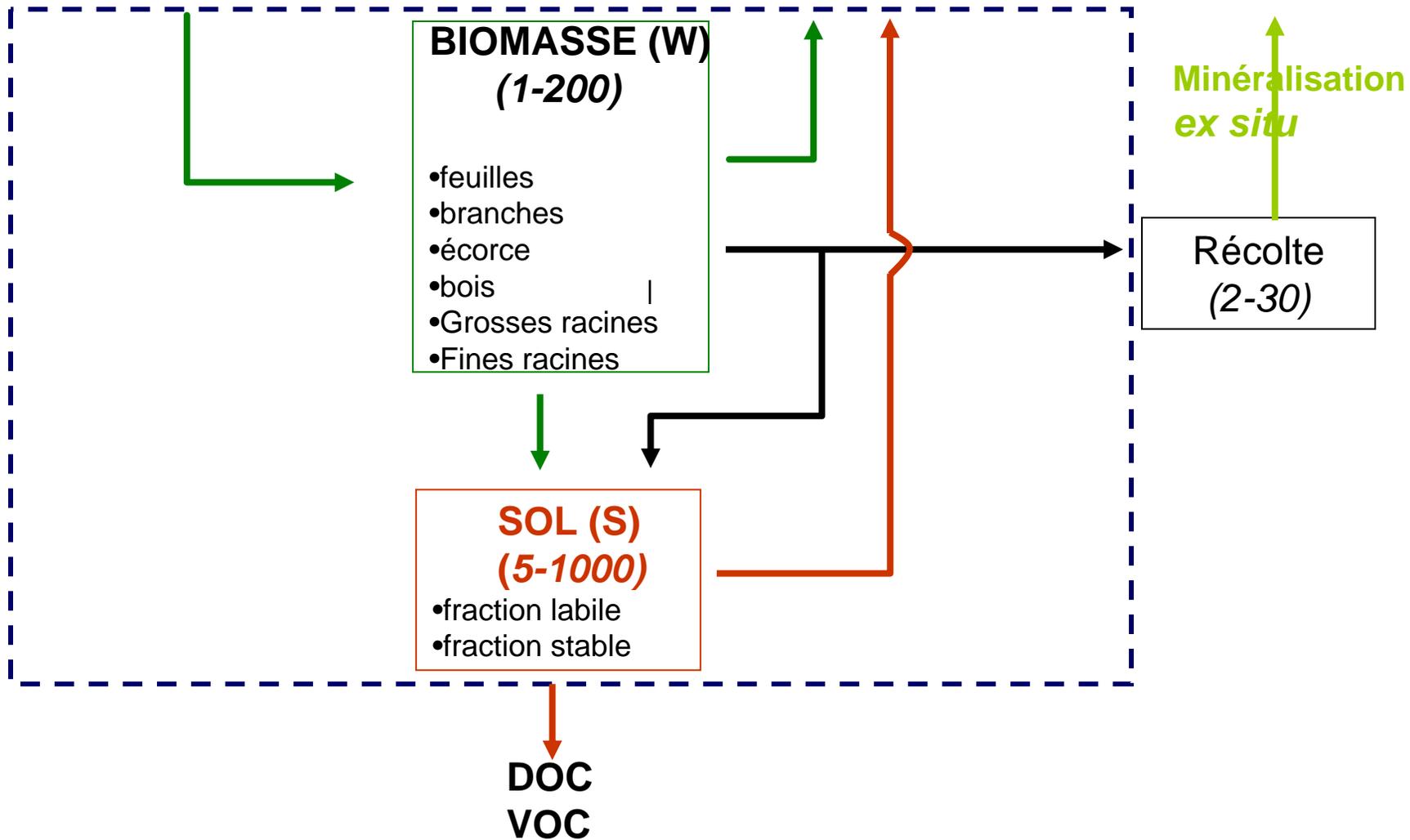
Cycle du carbone en forêt: flux, compartiment et temps moyen de résidence (an)

ATMOSPHERE

Production Primaire Brute
(GPP)

(3-5)

Respiration de l'écosystème
(RE)



Flux de C: que sait on mesurer ?

Production primaire brute

$$GPP = A_g \quad (= A_n - R_d)$$

Production primaire nette

$$NPP = GPP - R_a - VOC$$

Echange Net de l'écosystème (CO₂)

$$NEE = GPP - R_a - R_h$$

Production nette de l'écosystème

$$NEP = GPP - R_a - R_h - VOC - DOC$$

Ag, An Gross and net Assimilation
Rd Day mitochondrial leaf respiration
Ra Autotrophic Respiration
Rh Heterotrophic Respiration

VOC Volatile Organic Carbon
DOC Leached Carbon

Net Primary Production

$$\text{NPP} = \Delta W + d_l + d_r + c_{II}$$

Echange Net de l'écosystème (CO₂)

$$\text{NEE} = \underbrace{\Delta W + \Delta S}$$

variations des stocks
(si NEE ~ NEP)

-
- W: Biomasse
 - S : Sol
 - d_l : litière aérienne
 - d_r : litière souterraine
 - c_{II} : herbivorie

La séquestration de carbone peut être définie comme un flux net positif depuis un compartiment à turnover élevé vers un compartiment à turnover faible.

Le cycle du carbone forestier met en jeu des échanges entre des compartiments à turn over contrastés (de <1 an à > 1000 ans).

Son étude suppose:

- mise en oeuvre d'approches adaptées**
- couvrant un continuum d'échelles temporelles et spatiales**
- approche organisée multisites**



Méthodes

1. Le suivi des flux instantanés caractérise le fonctionnement des pools à to rapide (feuilles, racines, nécromasse)

Les inventaires permettent de caractériser les stocks accumulés et leurs variations annuelles à quinquennales (biomasse, nécromasse, sol)

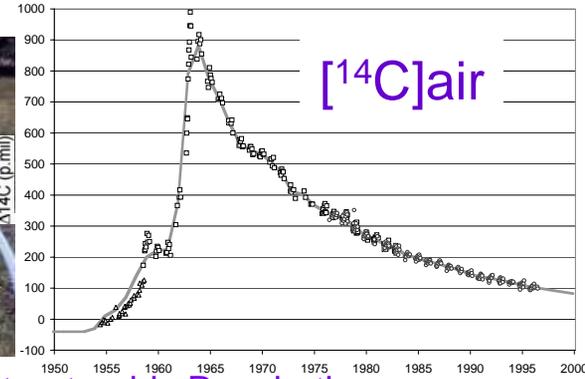


2. La datation des fractions de la MO du sol permet d'accéder à leur temps de résidence moyen et long (sol)
3. La synthèse comparative des résultats acquis sur des réseaux permet de comprendre les déterminants climatiques du cycle du C.

Connexion des différentes approches



Eddy flux



Heterotrophic Respiration

$$NEE = \Delta W + d + c_{II} - R_h$$

Biomass change

Mortality, Litterfall,
Root turn-over,
rhizodeposition

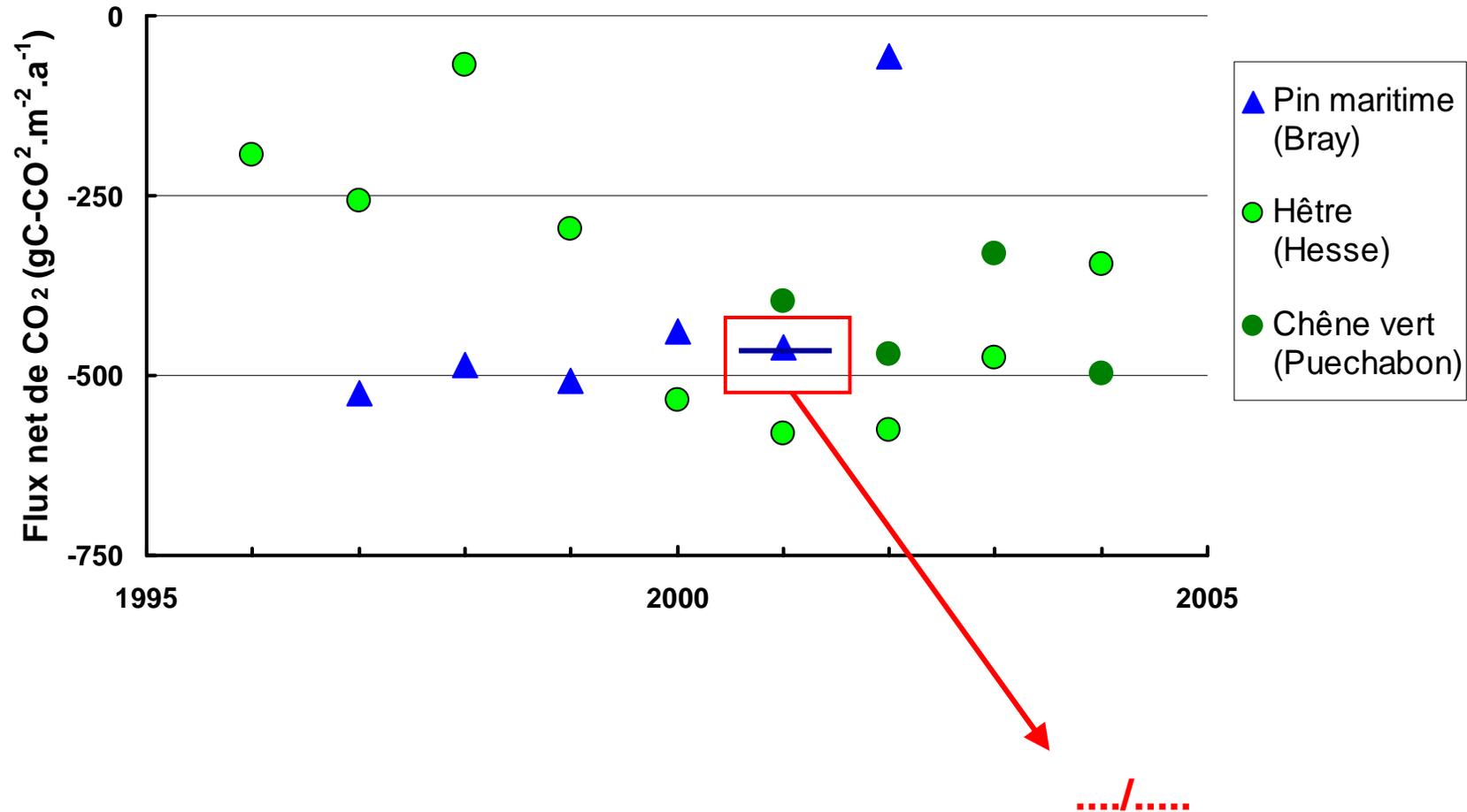
Herbivory
(Harvest)



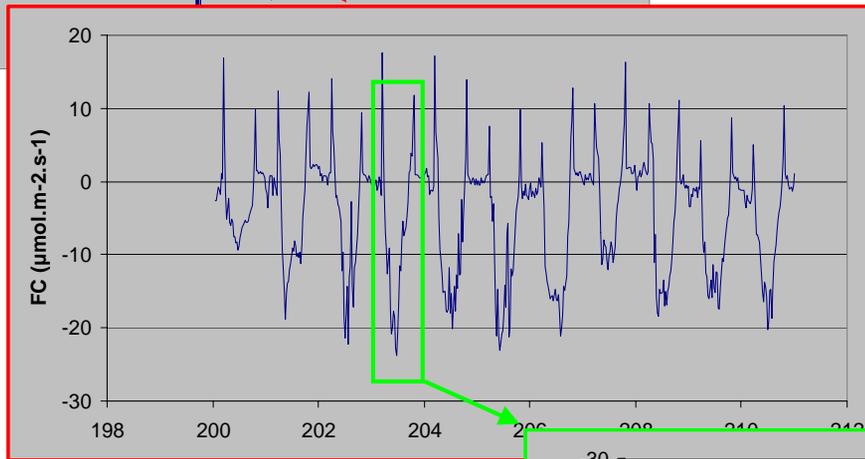
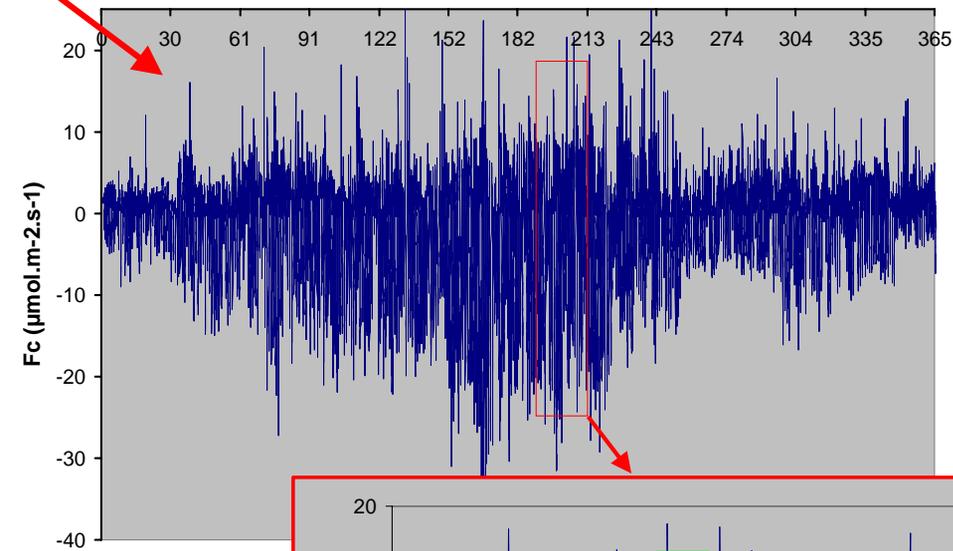
1. Monitoring du flux net de C de trois sites de l'ORE.



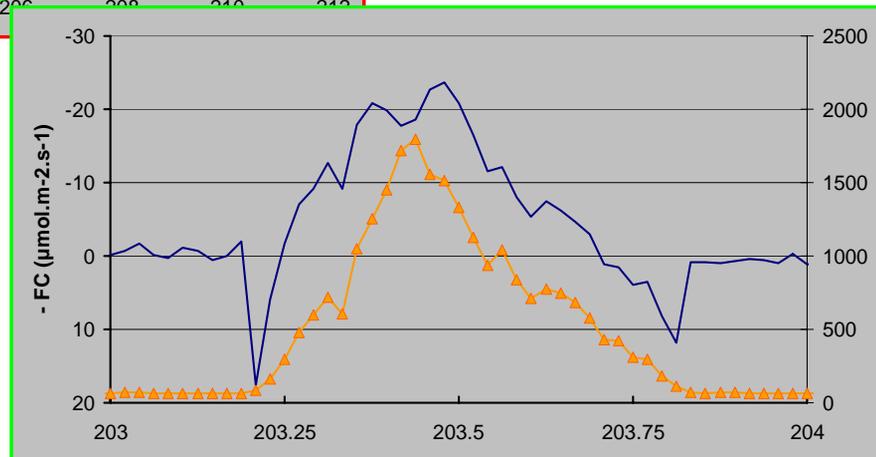
L'ORE F-ORE-T: des moyennes annuelles.....



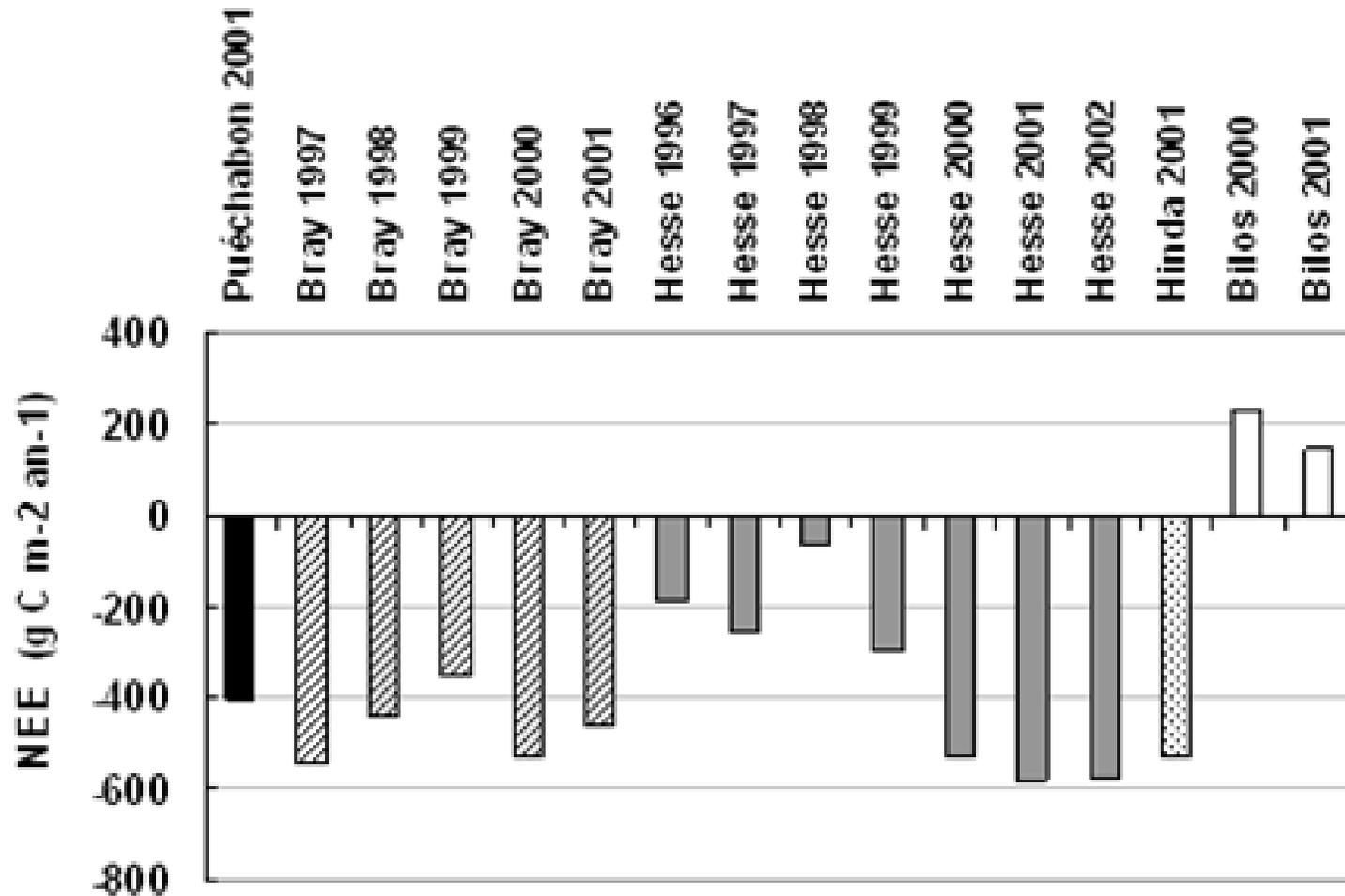
....aux valeurs instantanées .



— Fc
— Rayonnement utile (PPFD)



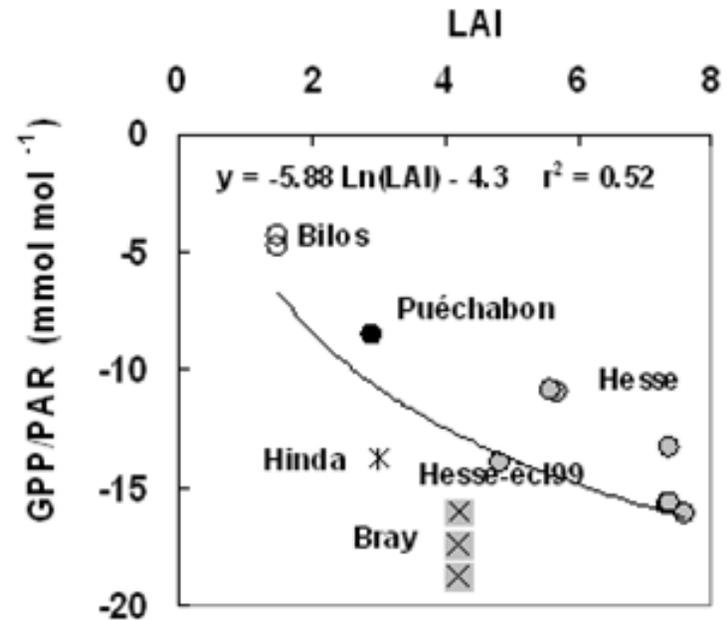
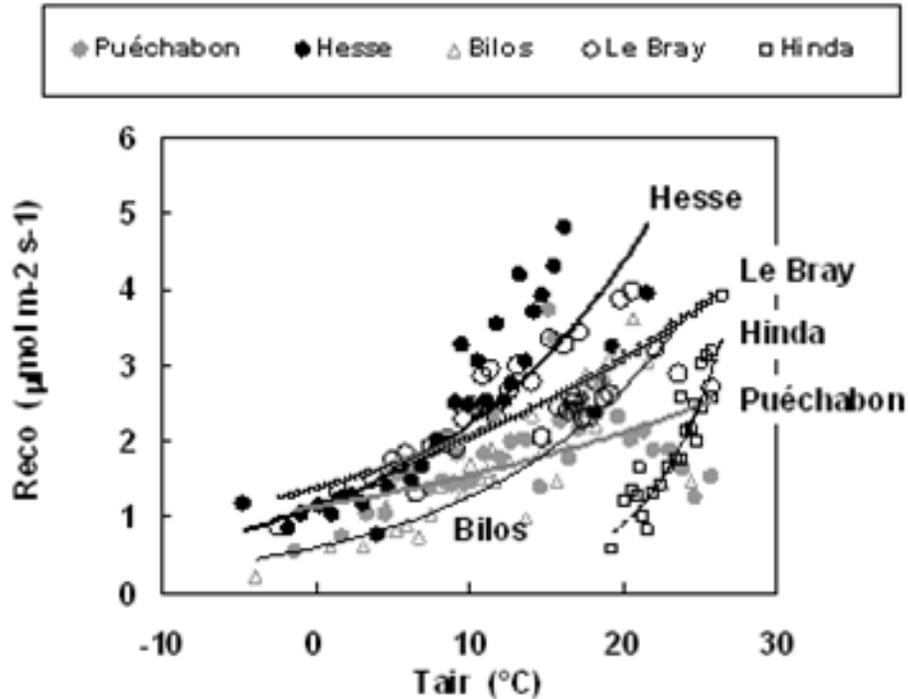
1. Flux.



Différences importantes entre sites et interannuelles

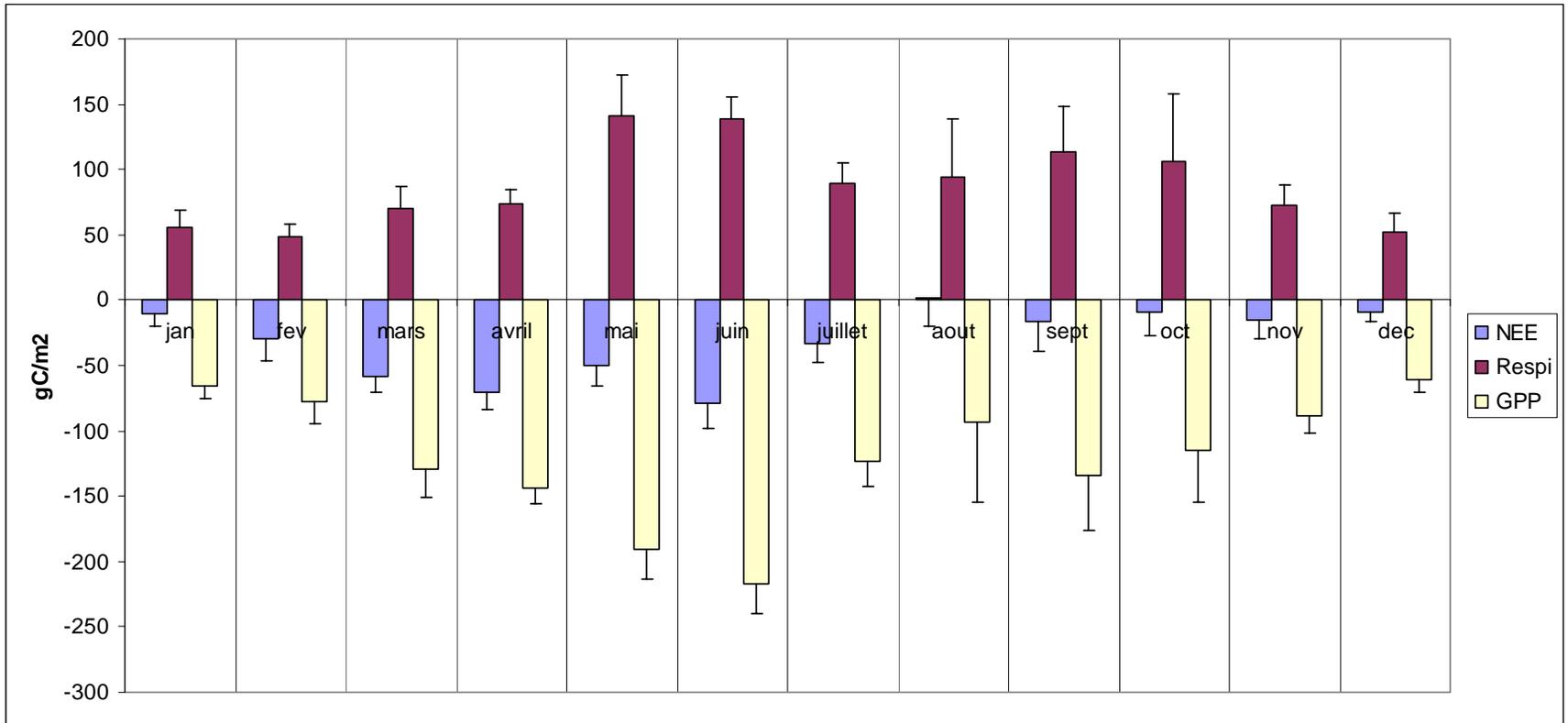
1. Flux

Analyse comparative des contrôles climatiques et structuraux des flux.

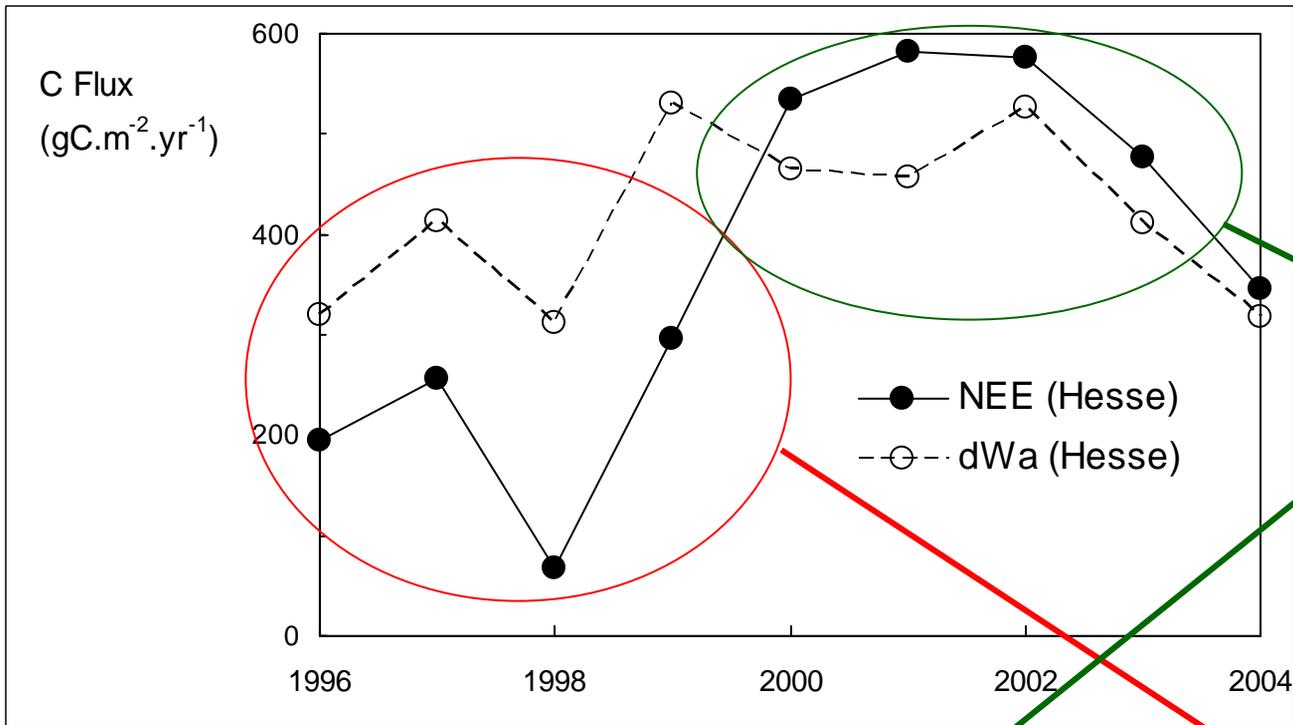


1. Flux

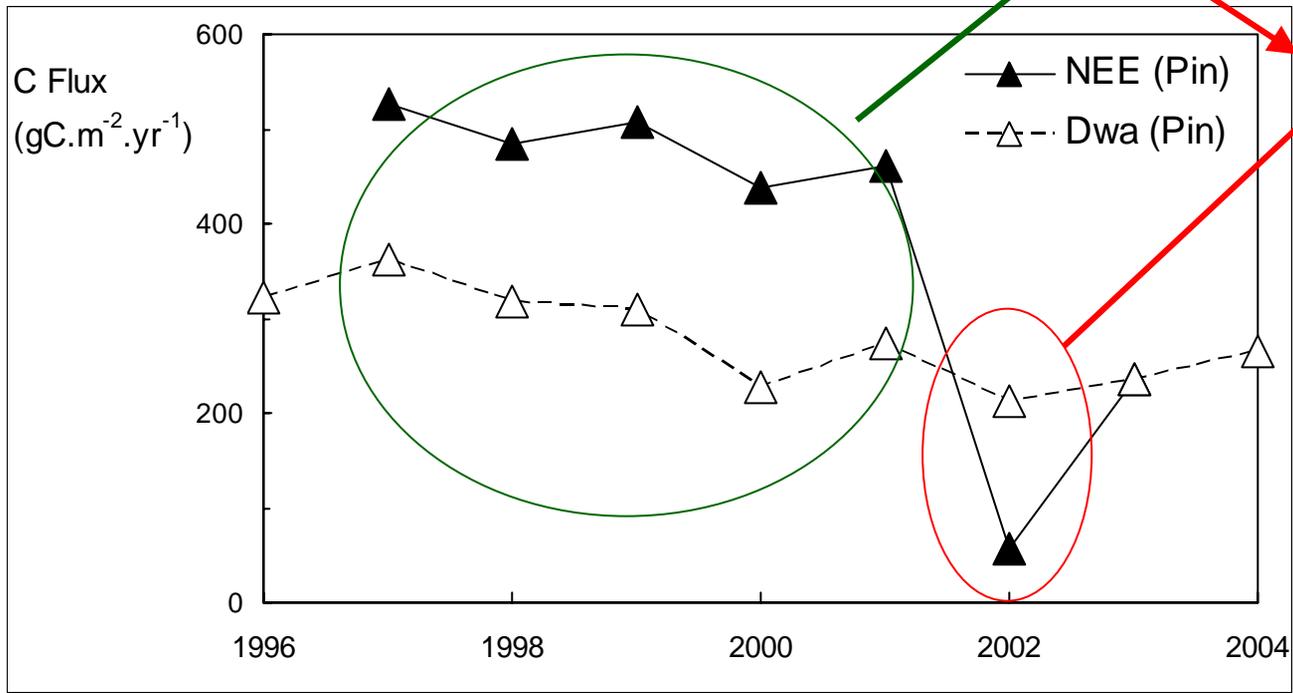
Saisonnalité des flux.



Cycle annuel de NEE, GPP et RE du site de Puechabon (Moyennes 2001-2003)



Minéralisation
≤ assimilation



Minéralisation
> assimilation

1. Flux

Le suivi des flux permet de caractériser le fonctionnement des compartiments à turnover élevé: feuillage, litière, racines..

Le fonctionnement de ces pools est peu sensible à l'effet espèce mais très affecté par la structure du couvert (hauteur, densité, indice foliaire, sous-bois).

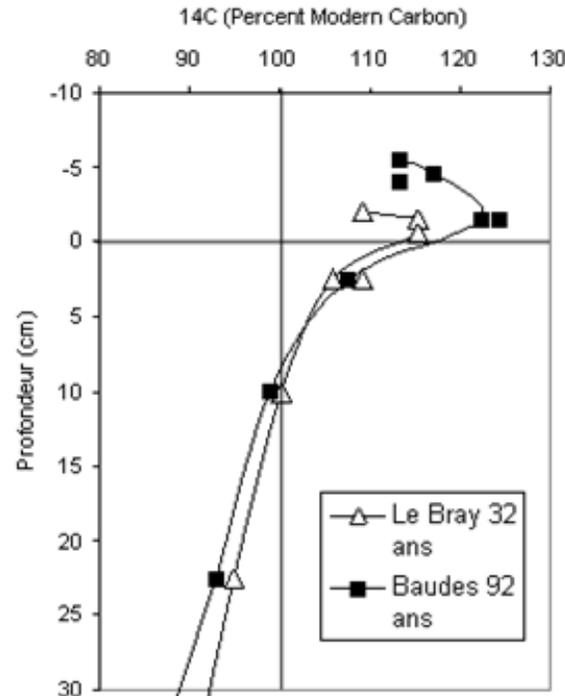
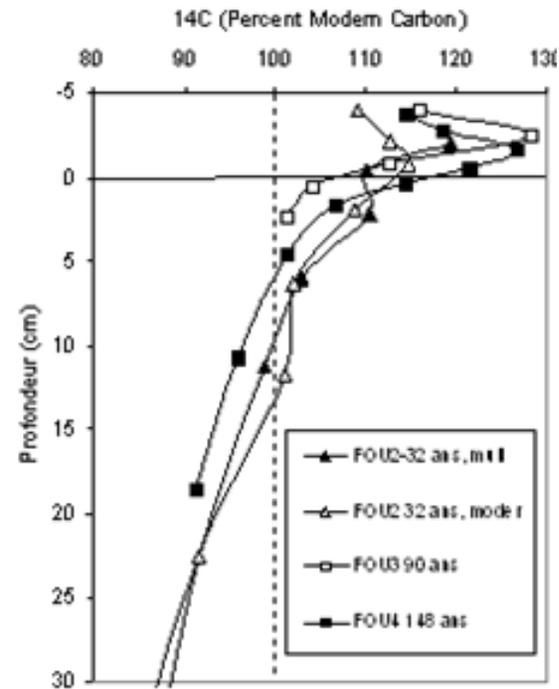
La production brute annuelle varie de 10 à 25tC.ha⁻¹ et est sensible aux variations climatiques (ex: 2002, 2003)

La respiration de l'écosystème est contrôlée à court terme par sa production primaire. Ce couplage temporel varie d'un site à l'autre, de quelques jours à la saison et l'année.

2. Turn over des pools de MO du sol

Hêtre

Pin maritime



Age Moyen (année)

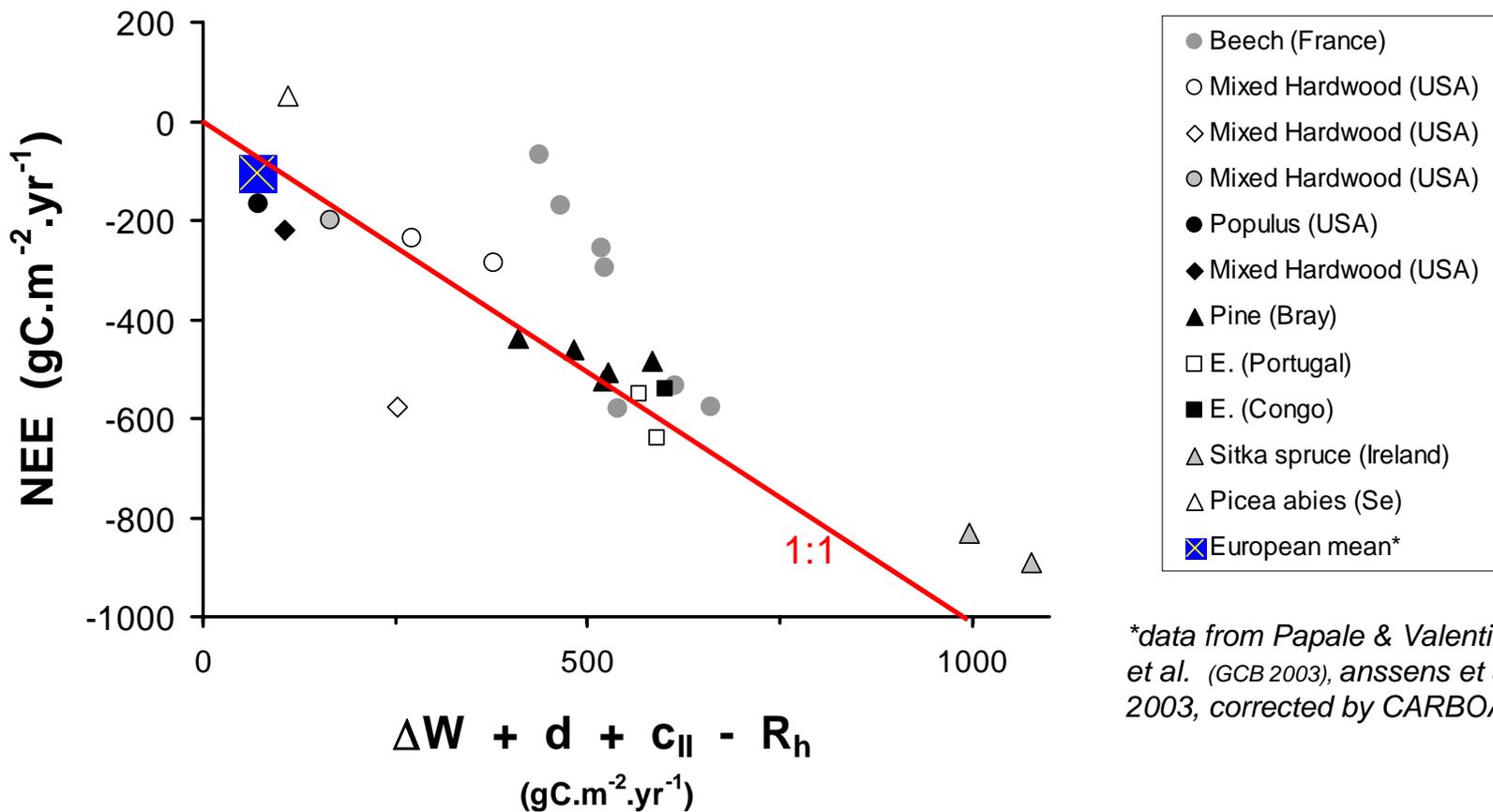
	Hêtre	Pin
OL	5	8
OF	8	10
OH	33	34
A1 0-10	160	
A1 >20	1000	

Profil vertical du ^{14}C dans les sols forestiers de deux chronoséquences du réseau ORE.

2. Turn over des pools de MO du sol

- 70% de la respiration hétérotrophe provient de l'humus et correspond à un pool à turn over élevé
- Le pool de C du sol est vulnérable (vite détruit, long à reconstituer)
- La durée écoulée depuis la dernière perturbation (labour, feu,..) est déterminante de la dynamique du C dans le sol.
- La sylviculture conditionne la dynamique du C du sol en forêt gérée (préparation du sol, éclaircie, distribution en classe d'âge,..)

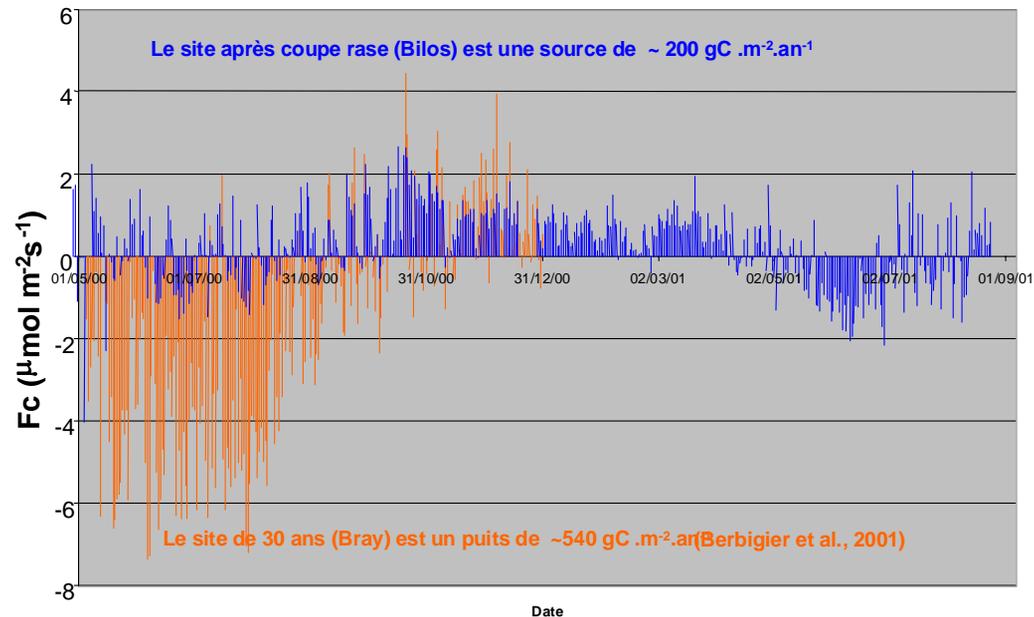
3. Connexion des échelles temporelles: fermeture du bilan annuel



Comparaison des échanges nets annuels et des inventaires de biomasse et litières pour 11 sites forestiers européens et américains.

La séquestration dans la biomasse correspond de 70 à 100% du flux net de carbone des forêts de production adultes.

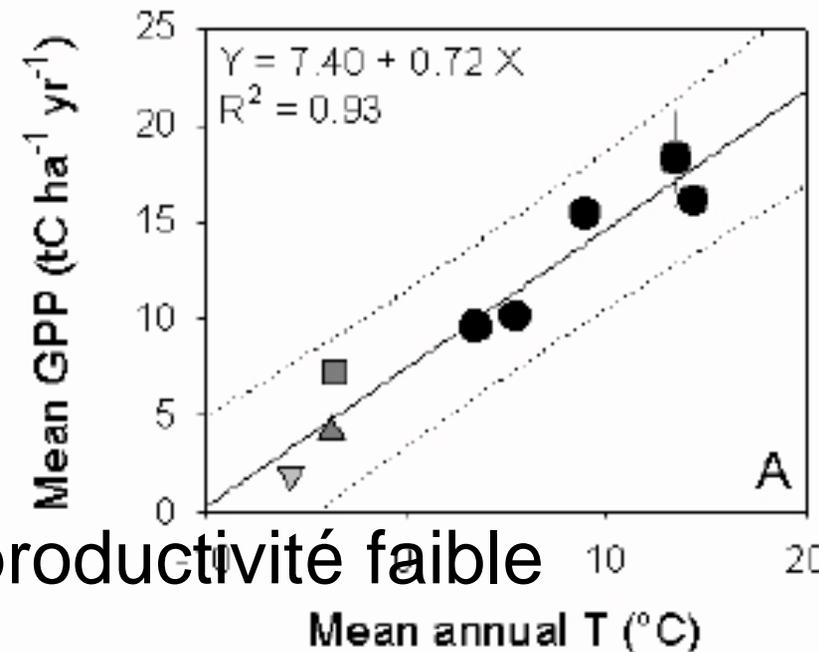
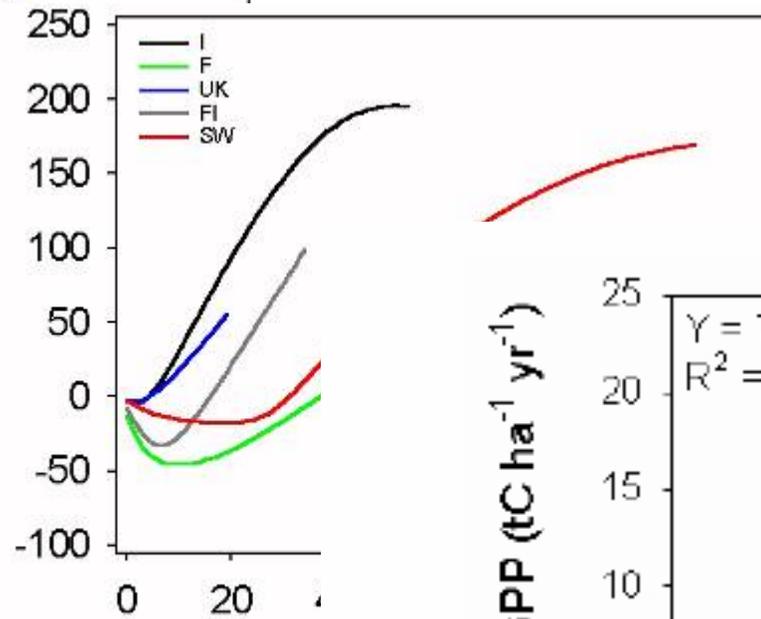
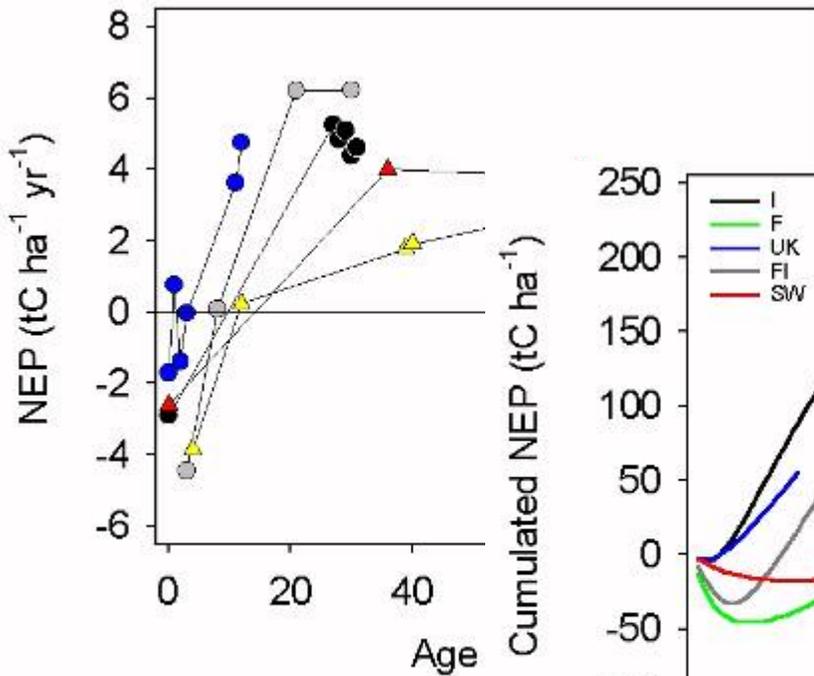
Les flux nets de C évoluent au cours d'une révolution.



Pine maritime

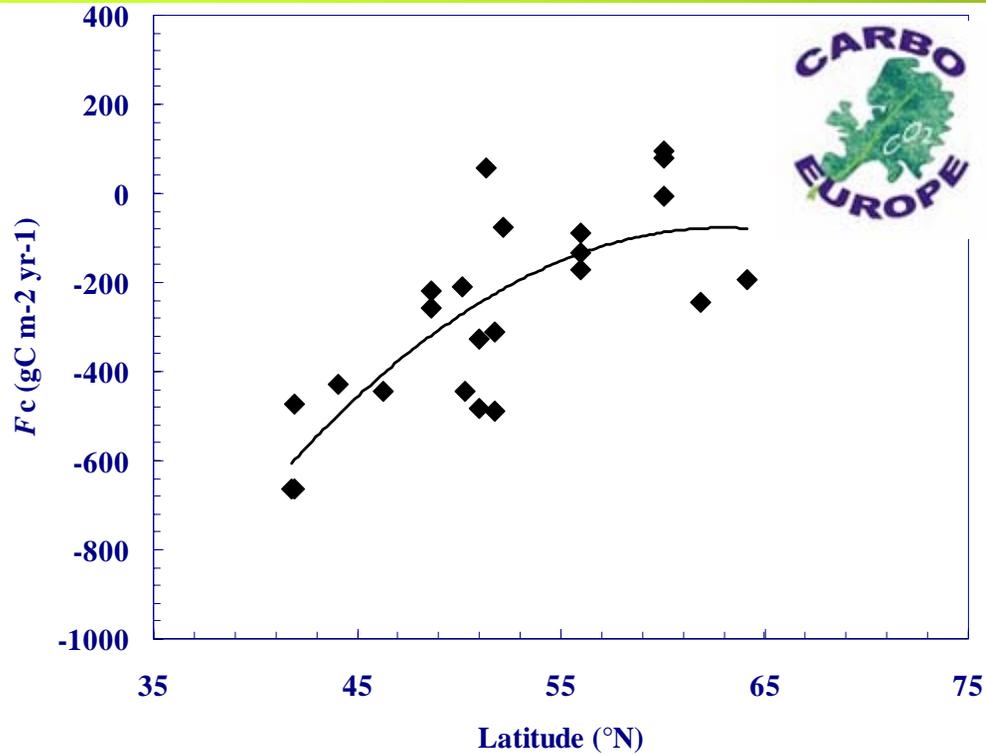


Effets de l'âge et de la sylviculture



- Vieux peuplements ont une productivité faible
- L'âge d'équilibre du bilar primaire
- le GPP moyen est corrélé à la température moyenne

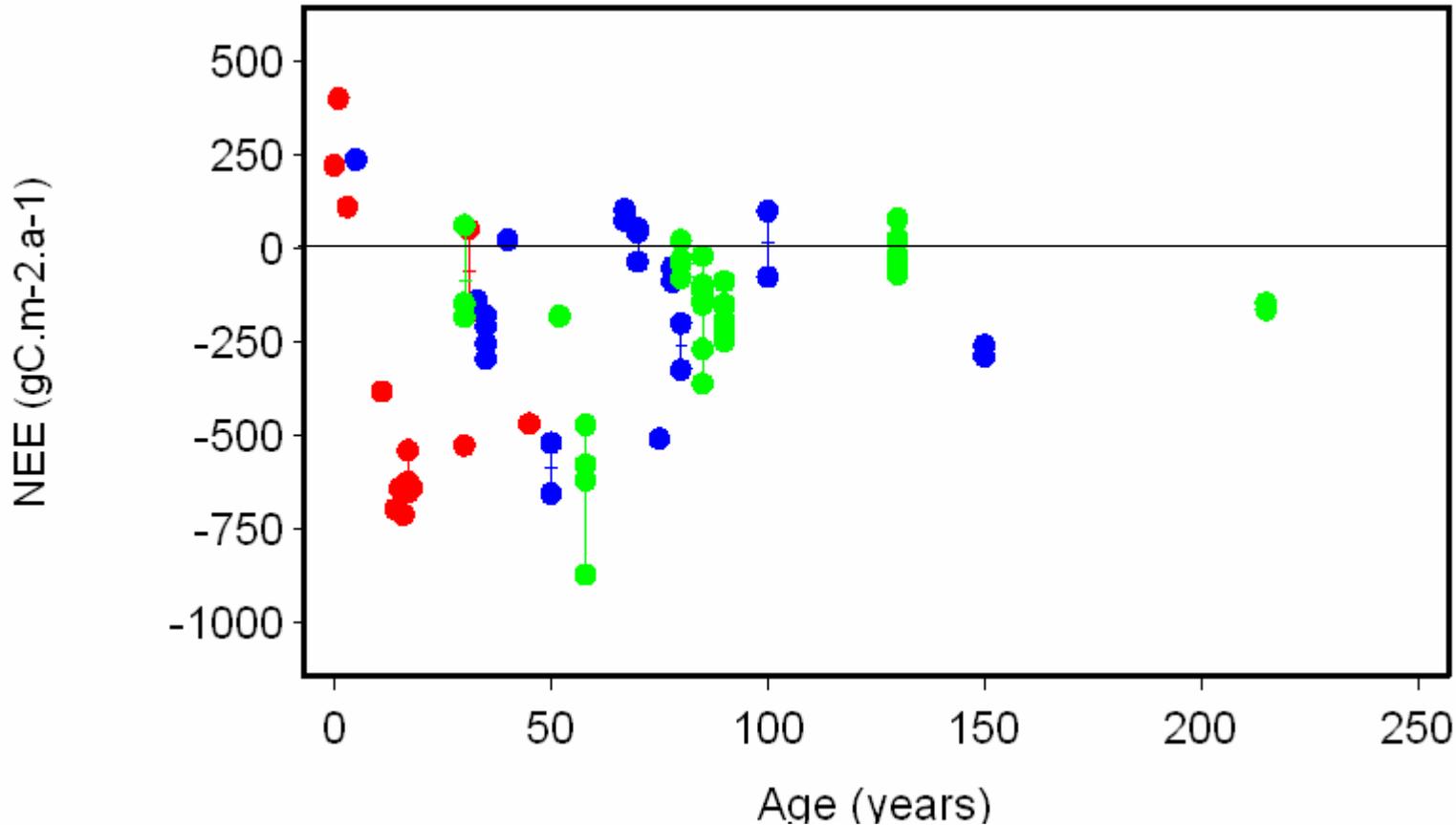
Flux de C: les résultats « pionniers »



Flux net de C-CO₂ de 22 forêts adultes tempérées et boréales, Europe du nord.

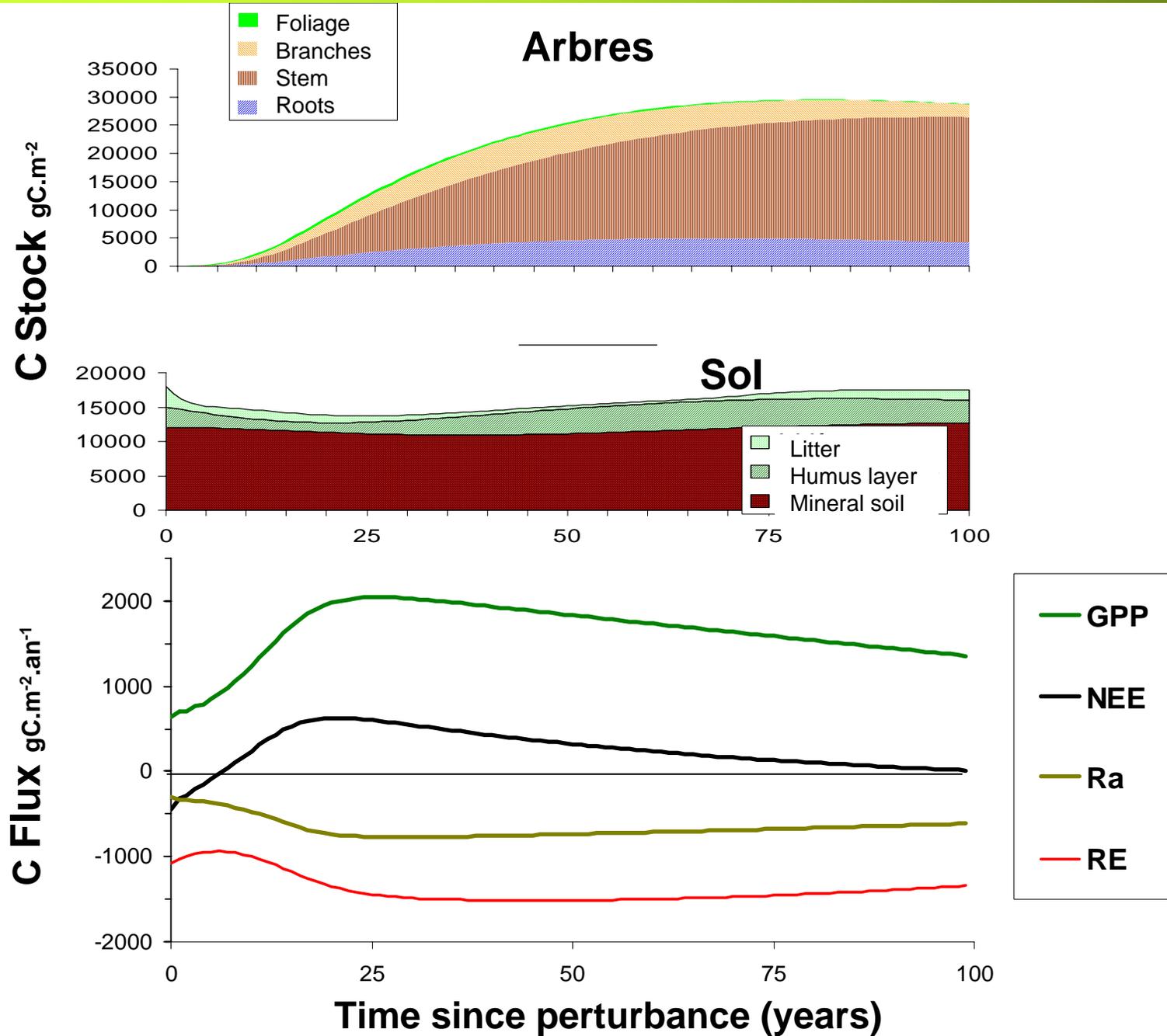
Valentini et al. *Nature* 2000

L'effet de l'âge sur le bilan net de C est dépendant de la sylviculture



- Forêt de production
- Forêt à gestion extensive
- Forêt non gérée

Synthèse et modélisation du cycle du C en forêt de production



La végétation est le point de contrôle de l'entrée du C dans l'écosystème

Le fonctionnement du cycle du C en forêt de production est plus dépendant de la structure du couvert que de l'essence dominante.

Les contrôles à court terme sont connus voire quantifiés mais les contrôles ultimes sont encore mal compris.

La gestion sylvicole est le principal facteur de contrôle du cycle du C en forêt gérée :

- la distribution en classe d'âge
- la structure du couvert
- l'aménagement (drainage, parcellaire)

Le suivi à long terme en réseau est la principale source de connaissances sur le cycle du carbone terrestre et son devenir.

Mauna Loa Monthly Mean Carbon Dioxide

