



Les forêts tropicales humides non perturbées stockent-elles du carbone ?

D. Bonal (INRA Kourou)



Ecole Thématique
« Réponse des écosystèmes forestiers tropicaux aux changements globaux »
Fréjus, Mai 2007

Plan

Les gaz à effet de serre

- évolution passée
- prévisions futures

- Le cycle du carbone à l'échelle du globe

-> le puits de carbone biosphérique

- Le rôle des forêts tropicales humides non-perturbées dans le puits de carbone

- Un exemple de stockage de carbone en forêt guyanaise

Responsable : L'effet de serre ... additionnel

“ Most of the observed increase in globally averaged temperatures since the mid-20th century *is very likely* due to the observed increase in anthropogenic greenhouse gas concentrations ”

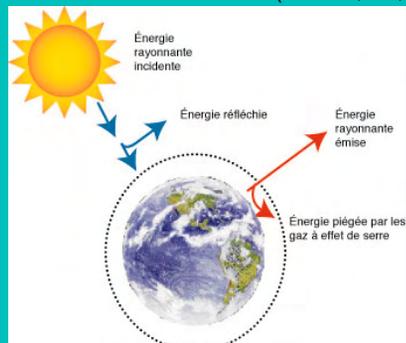
D'après Résumé du rapport *Working group I*, GIEC, Paris février 2007

Responsable : L'effet de serre ... additionnel

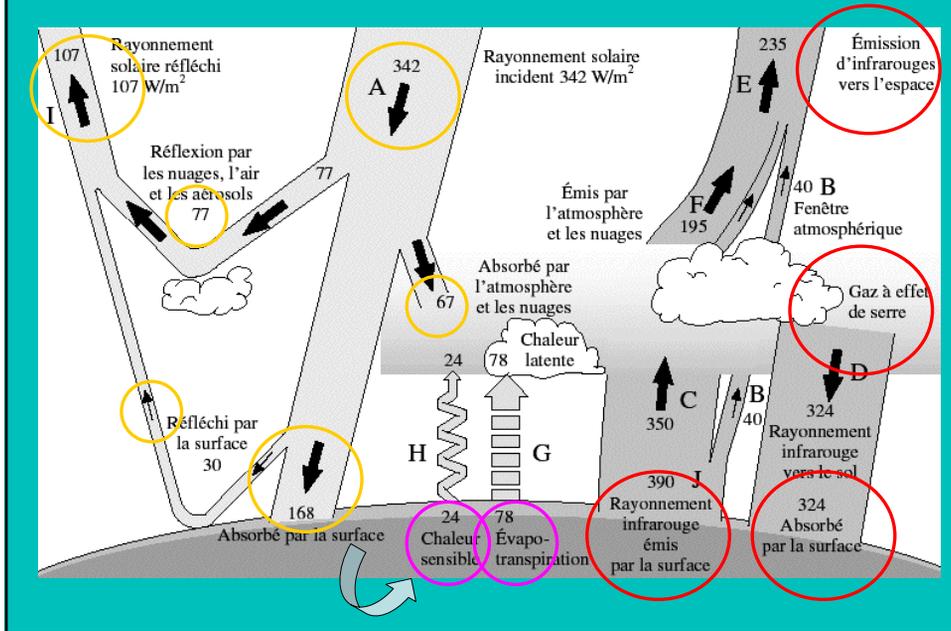
Qu'est-ce que l'effet de serre ?

Deux effets contribuent à retenir la chaleur prisonnière à l'intérieur de l'atmosphère :

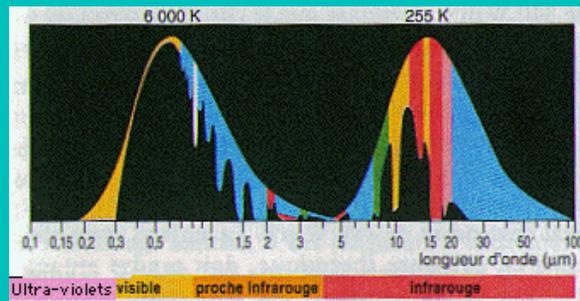
- un effet purement mécanique
- un « effet de serre », qui correspond en fait à l'absorption par les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère du **rayonnement infrarouge** émis par la Terre, suite à l'absorption du **rayonnement solaire incident** (visible, IR, UV, ...)



Explication du phénomène



Les émissions et absorptions des rayonnements du soleil et de la Terre



Distribution du rayonnement du soleil (6000 K) et de la Terre (255 K) et représentation simplifiée de l'absorption par les gaz à effet de serre.

Source : Robert Sadourmy, le Climat de la Terre, Flammarion, Collection Domino

■ Vapeur d'eau (H_2O)	■ Gaz carbonique (CO_2)	■ Ozone (O_3)
■ Méthane (CH_4)	■ Protoxyde d'azote (N_2O)	■ Oxygène (O_2)

Responsable : L'effet de serre ... additionnel

- ✓ « L'effet de serre » est un phénomène naturel
- ✓ Il est indispensable à la vie Humaine sur Terre : sans lui, la température serait de -18°C au lieu de 14.5°C en moyenne
- ✓ Mais l'augmentation de la concentration en Gaz à Effet de Serre dans l'atmosphère engendre un piégeage plus important du rayonnement IR émis par la terre, et est à l'origine du réchauffement de l'atmosphère

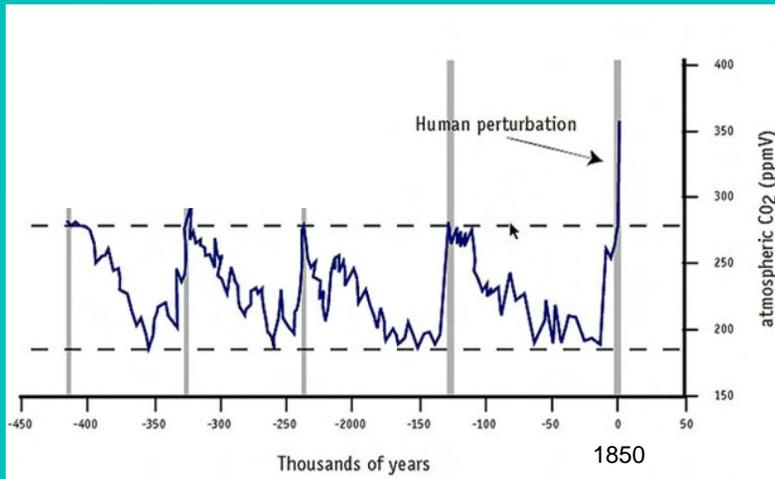


Responsable : L'effet de serre ... additionnel

Les gaz à « effet de serre » sont de deux types :

- "naturels" :
 - la **vapeur d'eau** (H_2O)
 - le **dioxyde de carbone** (CO_2) (ou gaz carbonique)
 - le **méthane** (CH_4)
 - le **protoxyde d'azote** (N_2O)
 - l'**ozone** (O_3)
- "artificiels" : (fabrication de semi-conducteurs, solvants de nettoyage, agents d'expansion, fuite des systèmes de climatisation, ...)
 - les **halocarbures** (formule générique de type $\text{C}_x\text{H}_y\text{Hal}_z$ où Hal représente un ou plusieurs halogènes = fluor, chlore, ...)
 - l'**hexafluorure de soufre** (SF_6)

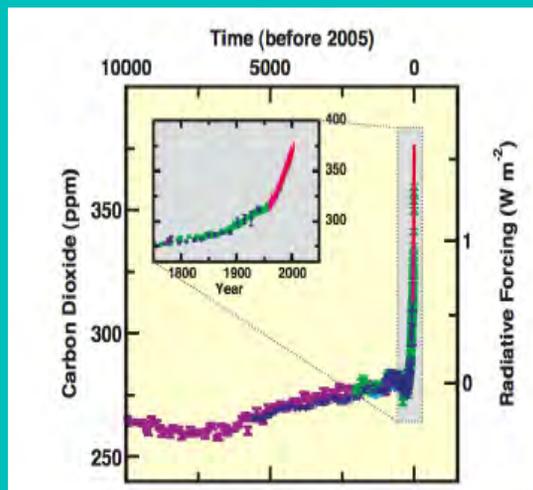
Évolution des gaz à effet de serre : CO₂



Reconstruction de la teneur en CO₂ dans les bulles de glace de Vostok.

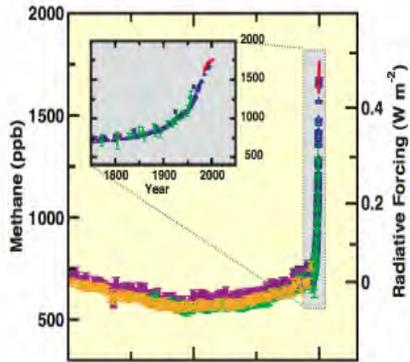
A retenir : Un cycle principal vers 80 000-120 000 ans, lié aux glaciations du quaternaire, La teneur actuelle est sans précédents au cours des 400 000 dernières années.

Évolution des gaz à effet de serre : CO₂



A retenir : La concentration en CO₂ est passée de 280 à 379 ppm de 1800 à 2005. Elle augmente actuellement de 1.9 ppm par an.

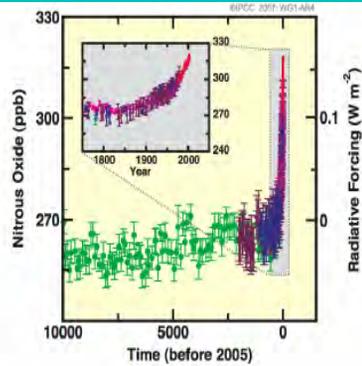
Évolution des gaz à effet de serre : autres gaz



Méthane : Rizière, Elevage

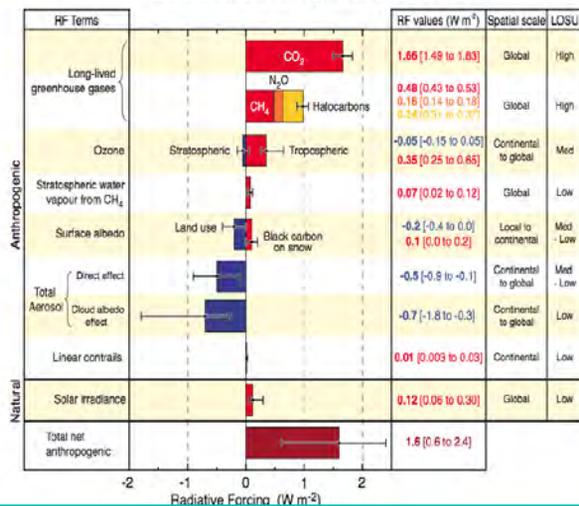
A retenir : Les rejets anthropiques de gaz à effet de serre ne concernent pas que le CO₂

Oxyde nitreux : Fertilisants



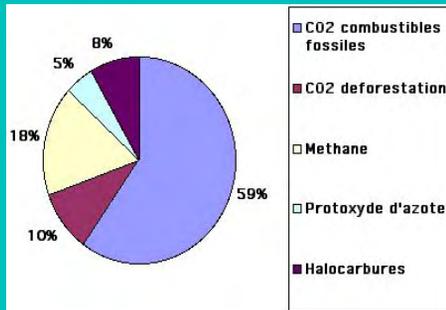
Responsables : Les gaz à effet de serre ...

Radiative Forcing Components

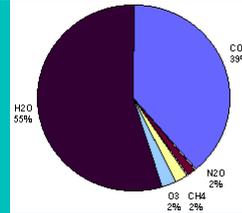


Données 2005

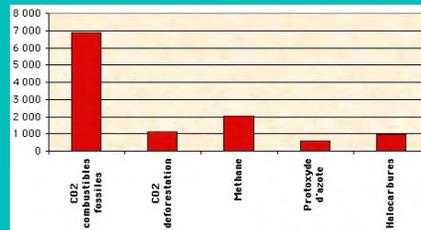
Contribution des différents gaz à l'effet de serre



Part de chaque gaz. Source : GIEC



Répartition des contributions à l'effet de serre des différents gaz présents dans l'atmosphère en 1992. Source : GIEC



Répartition des émissions humaines de gaz à effet de serre par gaz, en milliards de tonnes équivalent carbone, en 2000. Source : GIEC

Contribution des différents gaz à l'effet de serre

Pouvoir de Réchauffement Global (PRG), permet de connaître de combien l'effet de serre augmente quand un kg du gaz considéré est émis

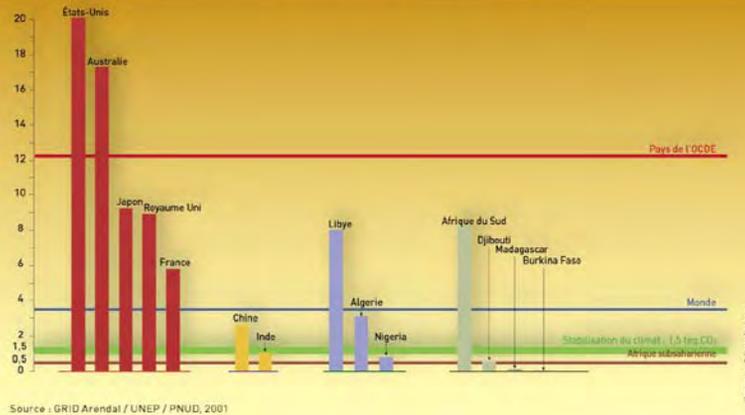
Gaz	Formule	PRG relatif / CO ₂
Gaz carbonique	CO ₂	1
Méthane	CH ₄	21
Protoxyde d'azote	N ₂ O	310
Perfluorocarbures	C _n F _{2n+2}	6500 à 8700
Hydrofluorocarbures	C _n H _m F _p	140 à 11700
Hexafluorure de soufre	SF ₆	23900

Source GIEC

Perfluorocarbures : entrent dans la fabrication des semi-conducteurs, comme solvants de nettoyage et agents d'expansion
Hydrofluorocarbures : solvants industriels, fuite des systèmes de climatisation

Qui émet des gaz à effet de serre ?

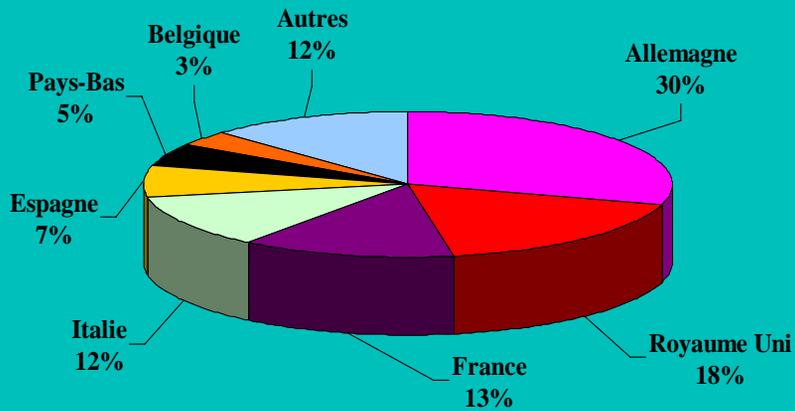
Emissions de CO₂ par habitant dans le monde en 1997 (en tonnes équivalent CO₂)



Source : Réseau Action Climat

Qui émet des gaz à effet de serre ?

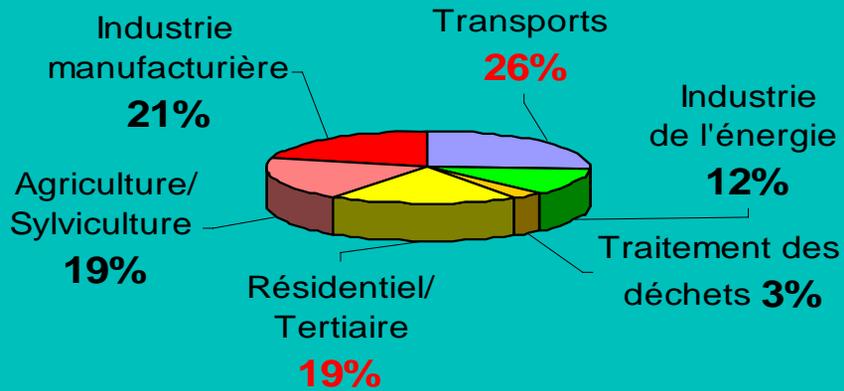
Répartition des émissions par pays au sein de l'Union européenne



Source : Agence Européenne de l'Environnement - 2002

Qui émet des gaz à effet de serre ?

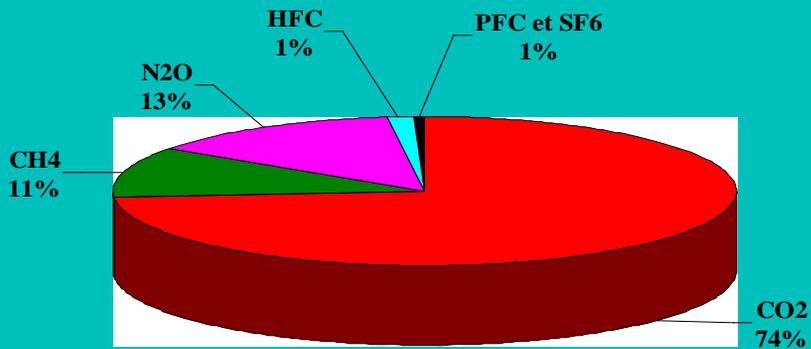
Répartition des émissions françaises de GES (2003)



Source : CITEPA - 2003

Qui émet des gaz à effet de serre ?

Répartition des émissions françaises par GES (2003)



Source : CITEPA - 2003

Plan

Les gaz à effet de serre

- évolution passée
- prévisions futures

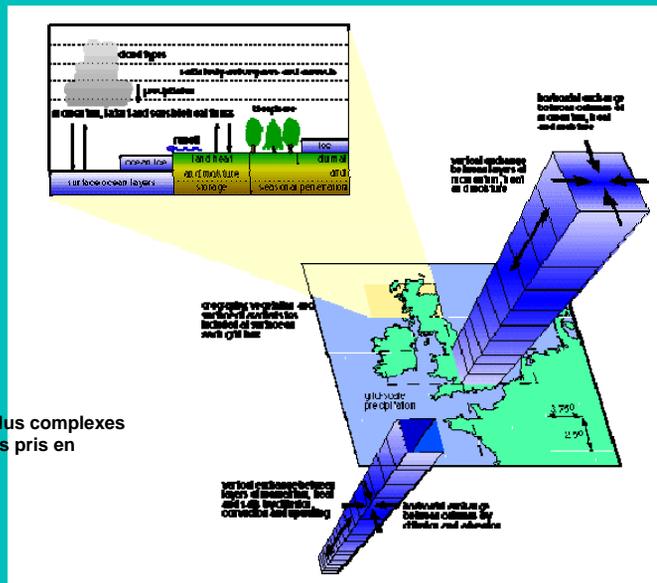
- Le cycle du carbone à l'échelle du globe
-> le puits de carbone biosphérique

- Le rôle des forêts tropicales humides non-perturbées dans le puits de carbone

- Un exemple de stockage de carbone en forêt guyanaise

Quels climats pour le futur ?

Que disent les modèles ?

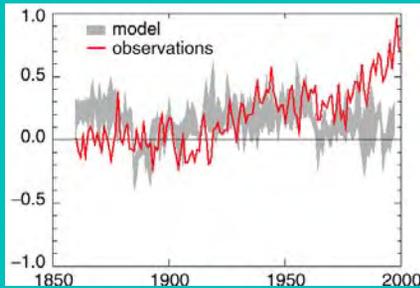


- ◆ Modèles de plus en plus complexes (nombre de processus pris en compte croissant)
- ◆ Nombreux modèles

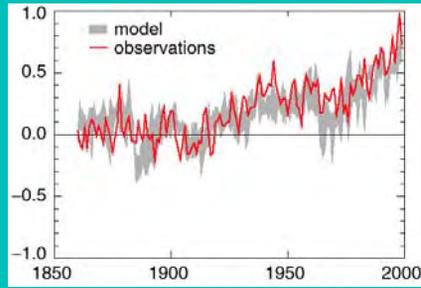
Des modèles de plus en plus robustes

Vérification des modèles sur les données passées de température.

- ◆ Simulation sans prise en compte de l'émission anthropique des GES



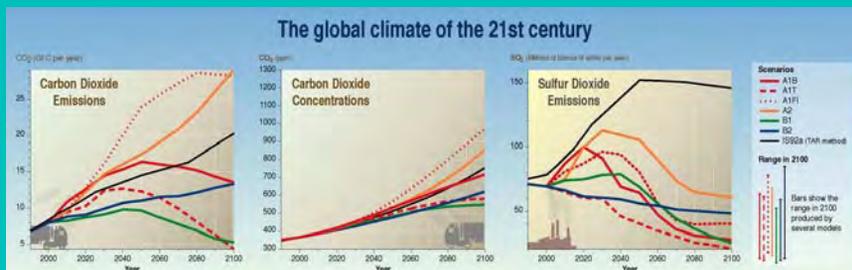
- ◆ Validation avec prise en compte de l'émission anthropique des GES



A retenir : Aucun des modèles climatiques actuellement utilisé ne sait reproduire la hausse des températures sur la deuxième moitié du 20^{ème} siècle SANS faire intervenir les émissions d'origine humaine de gaz à effet de serre.

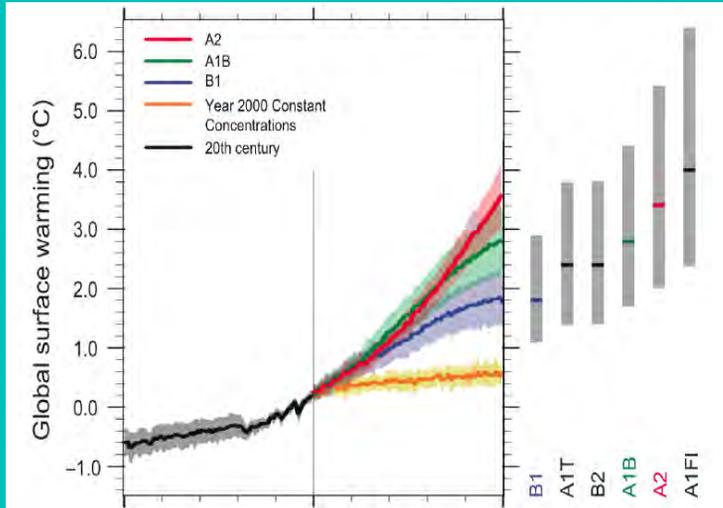
Des prévisions peu réjouissantes ...

Chaque scénario d'émission de gaz à effet de serre (designé par une couleur différente) correspond à des hypothèses différentes de démographie, d'utilisation de l'énergie, de croissance économique.



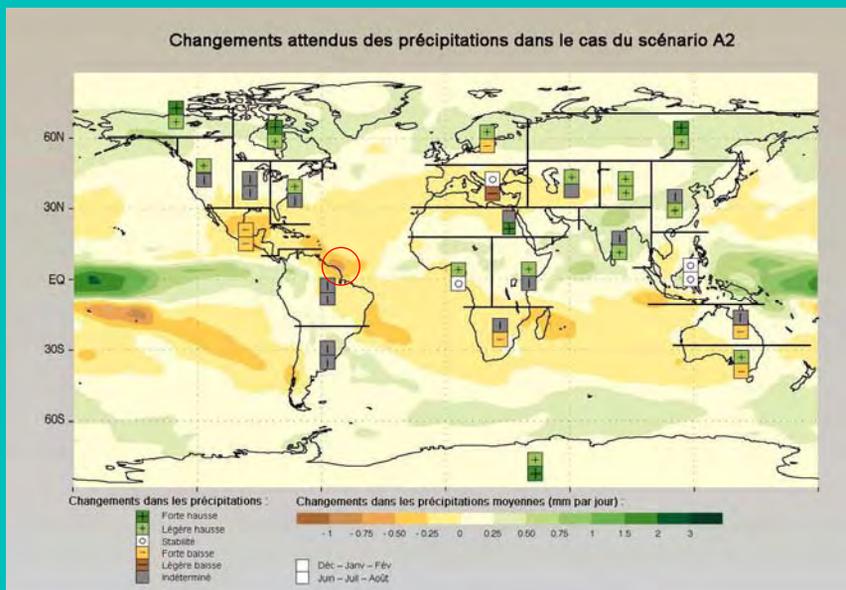
Des prévisions peu réjouissantes ...

Chaque scénario d'émission de gaz à effet de serre (designé par une couleur différente) correspond à des hypothèses différentes de démographie, d'utilisation de l'énergie, de croissance économique.



A retenir : Les modèles climatiques actuels suggèrent tous une augmentation de la température à l'échelle du globe, avec des facteurs de 1 à 3.

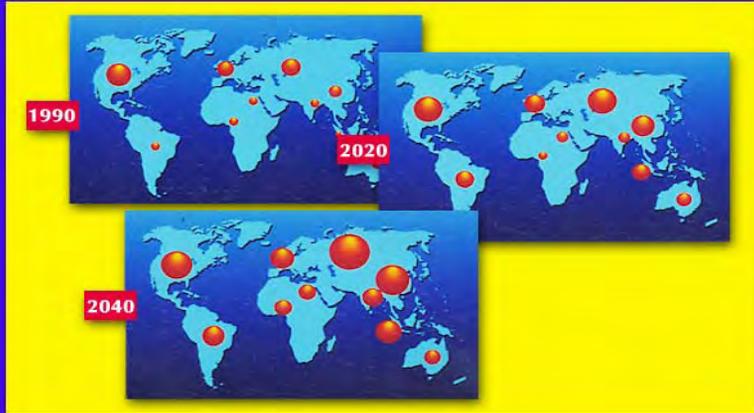
Des prévisions peu réjouissantes ...



Source : GIEC

Qui émet des gaz à effet de serre ?

Evolutions attendues des émissions de GES



Source : ADEME

Plan

Les gaz à effet de serre

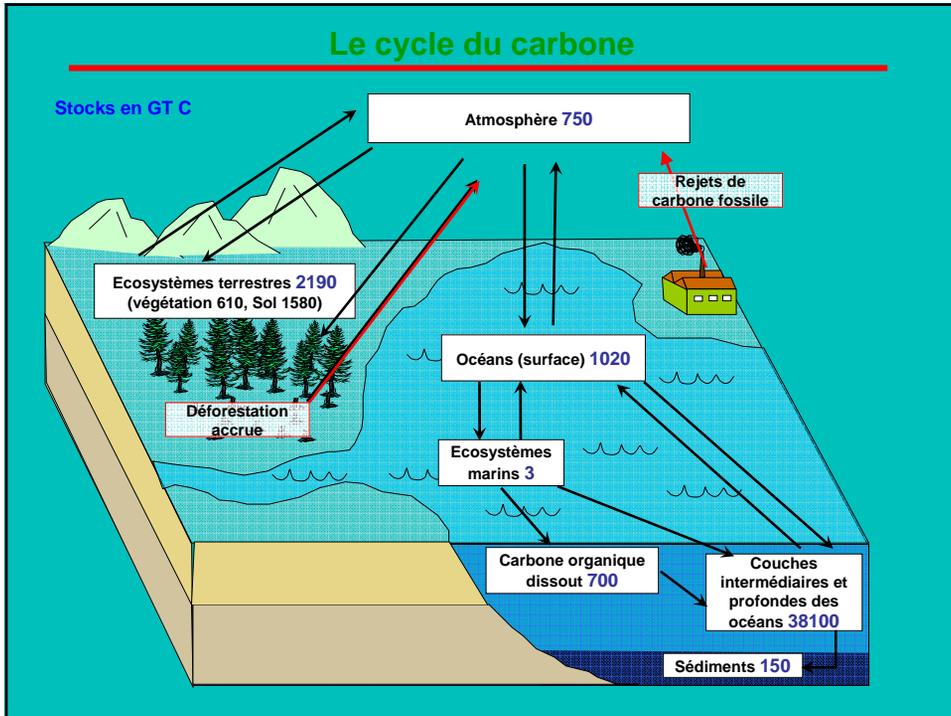
- évolution passée
- prévisions futures

- Le cycle du carbone à l'échelle du globe
-> le puits de carbone biosphérique

- Le rôle des forêts tropicales humides non-perturbées dans le puits de carbone

- Un exemple de stockage de carbone en forêt guyanaise

Le cycle du carbone



« Le puits de carbone manquant » « The missing sink »

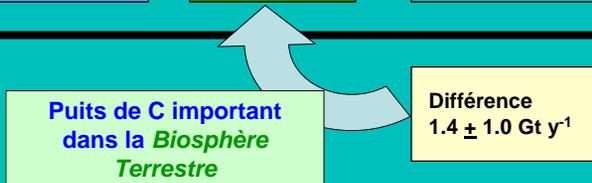
Rejets :

Carbone fossile brûlé $5.5 \pm 0.5 \text{ Gt y}^{-1}$	+	Déforestation tropicale $1.6 \pm 1.0 \text{ Gt y}^{-1}$	=	Total: $7.1 \text{ Gt} \pm 1.1 \text{ y}^{-1}$
--	---	--	---	--

Absorption :

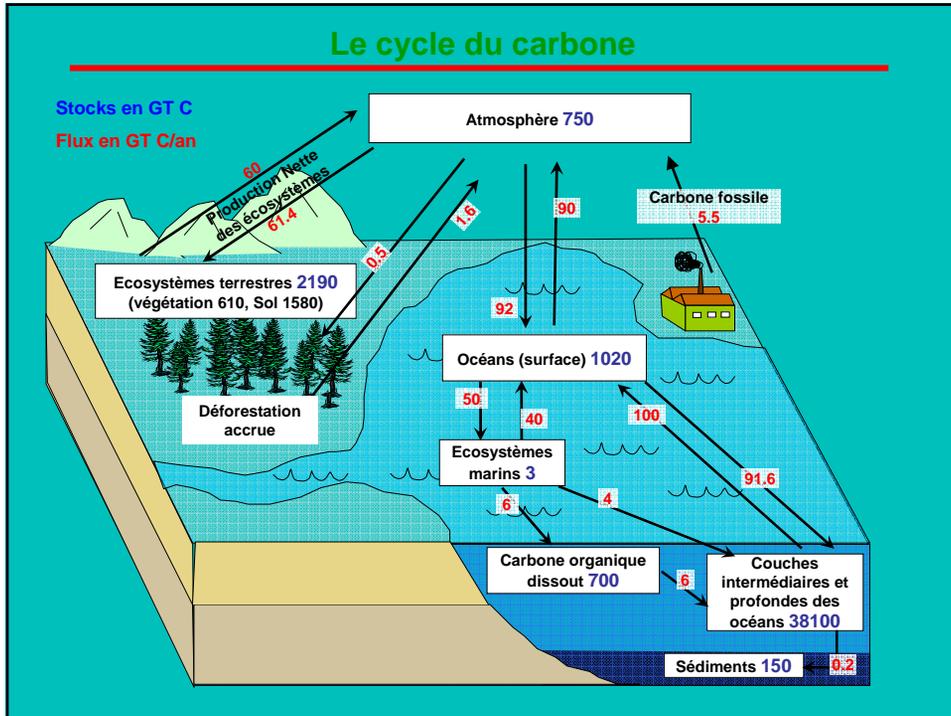
Gain Atmosph. $3.2 \pm 0.2 \text{ Gt y}^{-1}$	+	Absorption par les océans $2.0 \pm 0.8 \text{ Gt y}^{-1}$	+	Croissance des forêts $0.5 \pm 0.5 \text{ Gt y}^{-1}$	=	Total: $5.7 \pm 1.0 \text{ Gt y}^{-1}$
--	---	--	---	--	---	--

Bilan :



Source: IPCC (1996) Climate Change 1995: The Science of Climate Change.

Le cycle du carbone



Le cycle du carbone

A retenir : Les écosystèmes terrestres (forêts, prairies, ...) en général stockent plus de carbone que les estimations initiales le prévoient.

- Est-ce que tous les écosystèmes terrestres se comportent ainsi ?
- Quels éléments permettent de confirmer le rôle des écosystèmes terrestres dans ce piégeage du CO_2 atmosphérique ?



Plan

Les gaz à effet de serre

- évolution passée
- prévisions futures

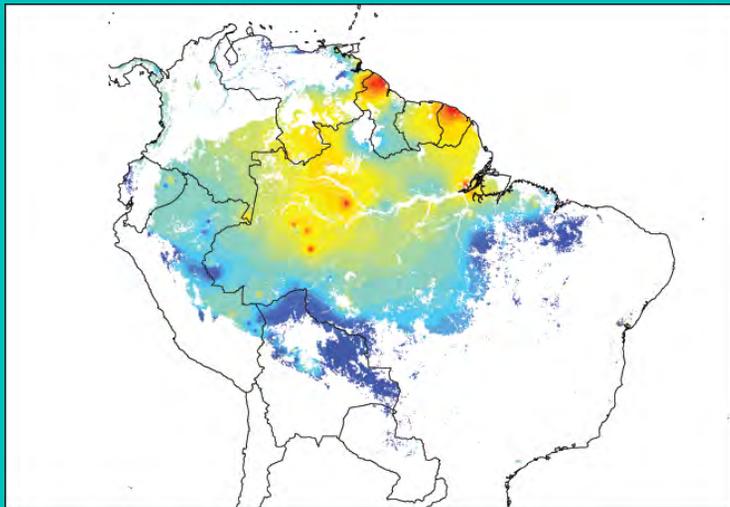
- Le cycle du carbone à l'échelle du globe

-> le puits de carbone biosphérique

- Le rôle des forêts tropicales humides non-perturbées dans le puits de carbone

- Un exemple de stockage de carbone en forêt guyanaise

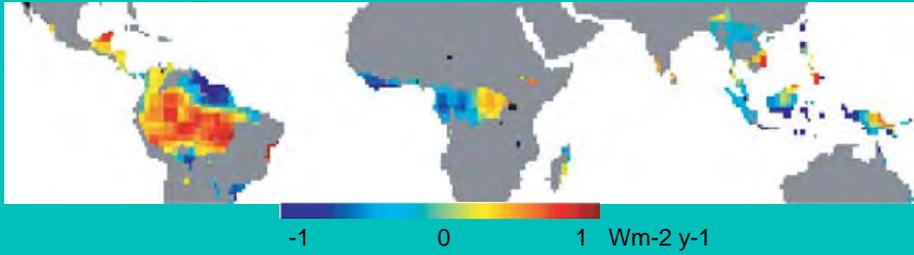
Variation spatiale de la biomasse en Amazonie



Malhi et al. 2006

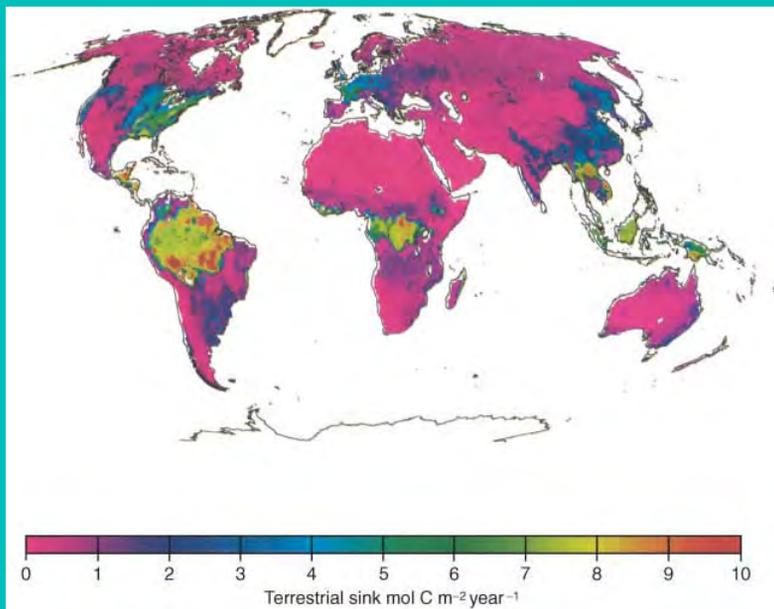
200-250 300 325 350 t MS ha⁻¹

Evolution du rayonnement solaire de 1922 à 1999



Ichii et al 2005

Rappel puits de carbone terrestre - d'après modèle Lloyd (1999)



Rappel puits de carbone terrestre

A partir d'approches de type
top-down (atmosphérique)
ou bottom-up (inventaires, estimations changements paysage),

- Pour les latitudes moyennes de l'hémisphère Nord

il est suggéré un puits de carbone de **2.0 Giga tC an⁻¹**.

MAIS

- Incertitude sur les mécanismes à l'origine de ce puits
- Bilan positif expliqué en partie par les changements environnementaux en cours et la réponse aux perturbations passées

Houghton 2003

Rappel puits de carbone terrestre

- Pour les régions tropicales

Une **modeste source de C** pour l'atmosphère, voire **un bilan neutre**.

MAIS

Forte méconnaissance des mécanismes, avec 2 possibilités :

- **forte émission** par déforestation et changements de paysage
et **fort puits** dans les forêts non-perturbées

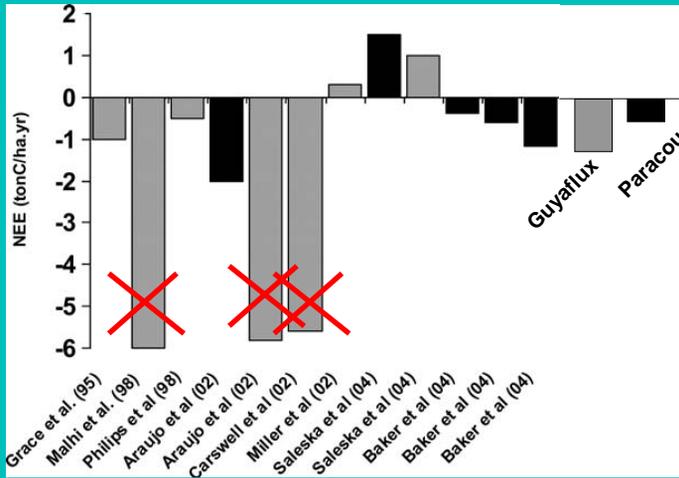
OU

- **émission modérée**
et **équilibre** pour les forêts non-perturbées

Houghton 2003

Bilan de C – différents sites amazoniens NON PERTURBES

Net ecosystem exchange (NEE) obtenus à partir de mesures de tour a flux (gris) et d'inventaires de biomasse (noir)



Adapté d'Ometto et al 2005

Bilan de C – différents sites amazoniens NON PERTURBES

- Les quantités de C stockées actuellement posent des questions :

Saleska et al. 2003



Bilan de C – différents sites amazoniens NON PERTURBES

- Est-ce que les écosystèmes étudiés actuellement sont réellement matures, en dynamique stable ?
- Ne sont-ils pas dans un cycle de perturbations, en cours de reconstitution depuis la dernière ère glaciaire ?



Bilan de C – différents sites amazoniens NON PERTURBES

- Quelles variables climatiques contribueraient à faire varier le bilan de C des écosystèmes forestiers tropicaux ?

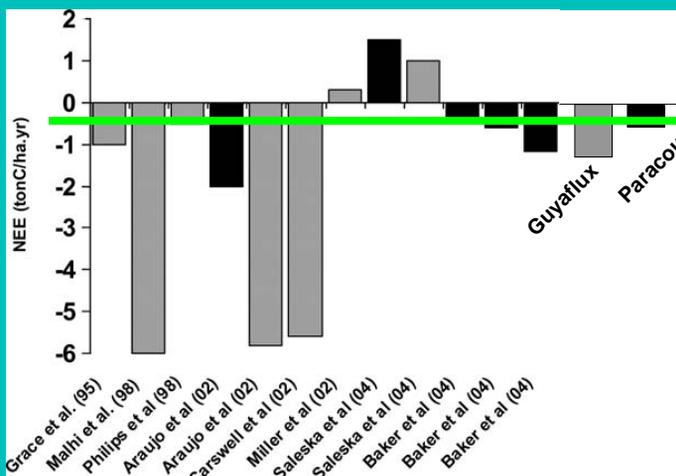


Bilan de C – différents sites amazoniens NON PERTURBES

« Le piégeage de C en FTH Amazonienne suite à l'augmentation de $[CO_2]$ dans l'atmosphère serait de $0.42 \text{ tC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ »

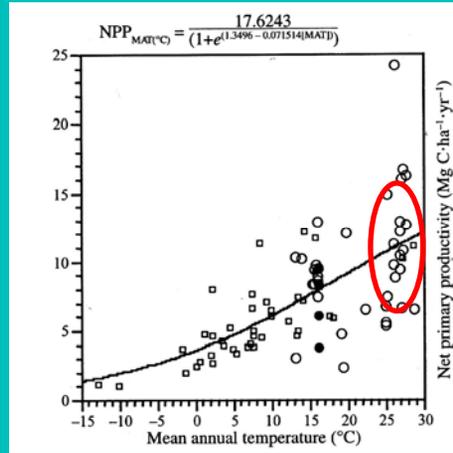
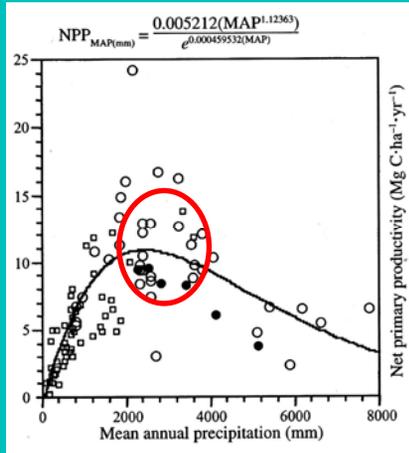
Tian et al. 2000

Bilan de C – différents sites amazoniens NON PERTURBES



Adapté d'Ometto et al 2005

Influence des paramètres climatiques



Schuur 2003

Influence des paramètres climatiques

Contributions des paramètres climatiques aux variations interannuelles du cycle du C en milieu tropical

De 1982 à 1999

	Température	Précipitation	Rayonnement	VPD
GPP	0.21	0.06	0.69	0.04
NPP	0.70	0.02	0.26	0.01

GPP = Gross Primary Productivity = Photosynthèse brute

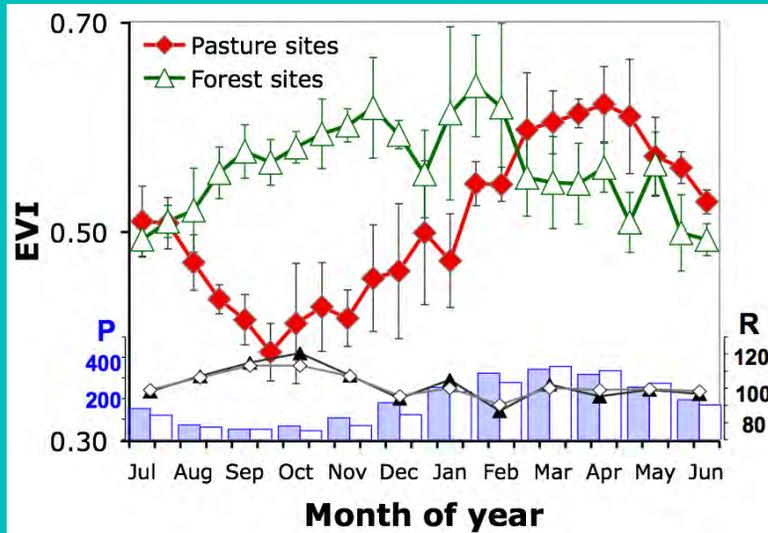
NPP = Net Primary Productivity = Photosynthèse brute – Respiration

Les changements de GPP ou NPP sont principalement liés aux variations de rayonnement, de température, MAIS peu aux variations de précipitations ou de VPD (air humide) !

Ichii et al 2005

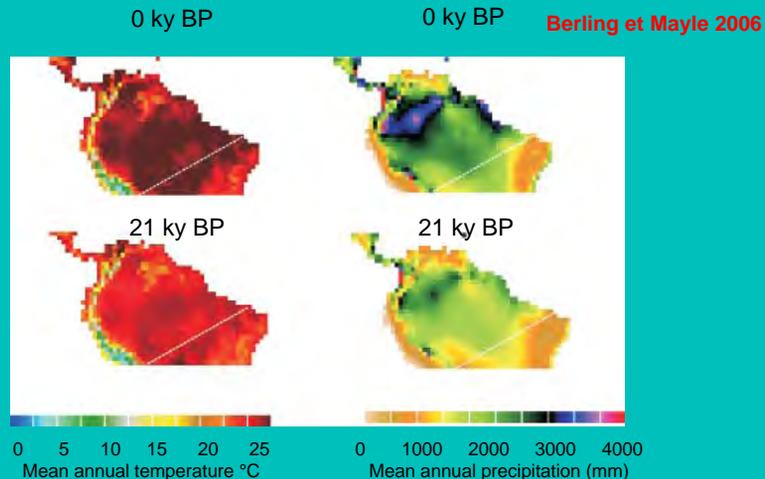
Influence du rayonnement sur la photosynthèse (écosystème)

EVI = Enhanced Vegetation Index : indice de capacité photosynthétique de la canopée, bien adapté aux écosystèmes à fort LAI > 4 = Réflectance de la canopée dans le proche infrarouge
 Huete et al. 2006



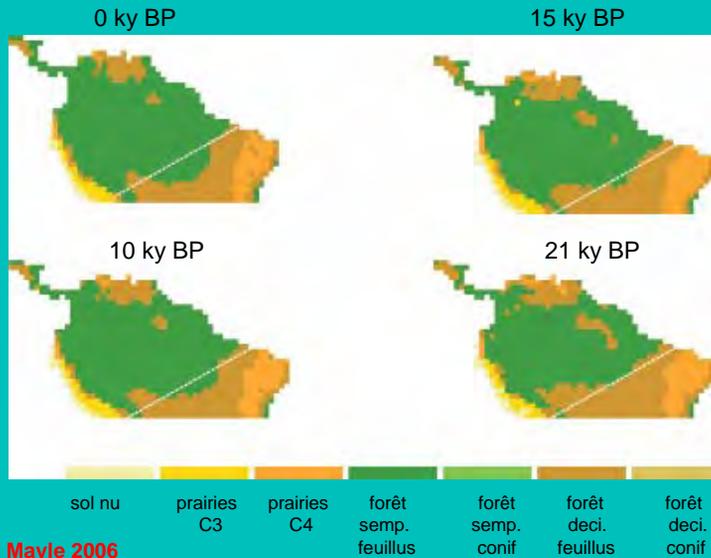
Nature des variations sur le long terme

Changement de température et précipitation moyenne annuelle dans le bassin Amazonien depuis le dernier maximum glaciaire (21 ka BP) –
 Simulations avec modèles de type « dynamic process-based ecosystem »



Nature des variations sur le long terme

Evolution temporelle et spatiale de la distribution des écosystèmes dans le bassin Amazonien depuis le dernier maximum glaciaire (21 ka BP)



Berling et Mayle 2006

Nature des variations sur le long terme

✓ Le bassin Amazonien est dominé par des forêts sempervirentes à dominance de feuillus depuis le dernier maximum glaciaire

démontre la forte résilience de cet écosystème aux changements environnementaux au cours des transitions période glaciaire / interglaciaire

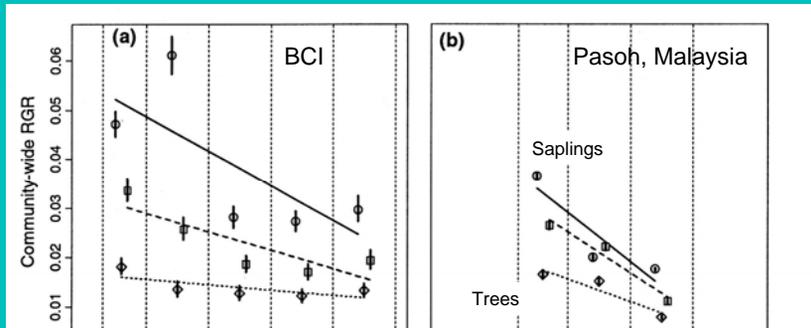
✓ Les changements de biome dans les zones écotonales depuis le dernier maximum de glaciation ont été conduits principalement par les changements de climat, alors que l'augmentation au cours de cette période de stockage de carbone dans cet écosystème a pour origine principalement l'augmentation de CO₂.

L'augmentation de biomasse observée récemment (depuis 20 ans) dans les parcelles d'inventaire a pour origine probable une tendance à long-terme de fertilisation par le CO₂ faisant suite à la l'augmentation de CO₂ au cours des 2 derniers siècles

Elle ne serait pas liée directement à des changements climatiques

Interactions avec l'évolution des conditions climatiques ?

S'il est vrai que la biomasse sur pied augmente dans les parcelles d'inventaire en FTH, des travaux récents suggèrent cependant que l'accroissement moyen des arbres diminue !



L'origine de cette diminution serait principalement liée à l'évolution des conditions climatiques, en particulier à :

- (i) l'augmentation de la température minimum journalière
- (ii) l'augmentation de la couverture nuageuse

Feeley et al. 2007

Interactions avec l'évolution des conditions climatiques ?

Conséquences ...

« Feedbacks » négatifs potentiels sur la capacité des FTH non perturbées à stocker du carbone !!

Augmentation accrue de [CO₂] dans l'atmosphère !!



Plan

Les gaz à effet de serre

- évolution passée
- prévisions futures

- Le cycle du carbone à l'échelle du globe

-> le puits de carbone biosphérique

- Le rôle des forêts tropicales humides non-perturbées dans le puits de carbone

- Un exemple de stockage de carbone en forêt guyanaise

Comment mesurer les échanges de masse et d'énergie entre un écosystème forestier et l'atmosphère?

◆ Inventaires réguliers des stocks (biomasse aérienne, sol, faune ...)

◆ Mesure des flux entrants et sortants

◆ Modélisation

La mesure des flux par la méthodologie des « tours à flux »

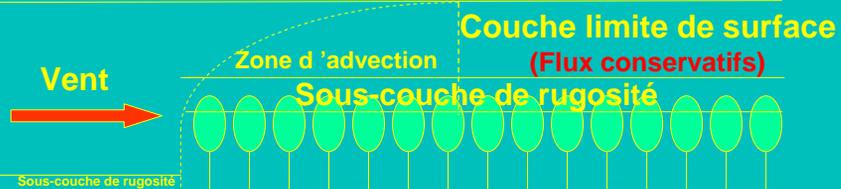


Couche limite de surface – Mesure des flux

Couche limite atmosphérique

Atmosphère libre

Couche limite convective (forces de Coriolis)



La relation Flux - Gradient

Par analogie avec les lois de diffusion :

$$F_c = -K_c \text{grad}(c) = -K_c \delta c / \delta z$$

Densité de flux du scalaire c Gradient du scalaire c

Coefficient de diffusivité turbulente associé au scalaire c

Flux de Chaleur sensible :

$$H = -\rho C_p K_H \delta T / \delta z$$

Flux de Chaleur latente :

$$LE = -L K_e \delta q / \delta z$$

Notion de densité de flux turbulent

$$\text{Densité de flux} = \text{Concentration} * \text{Débit} * \text{Surface}$$

$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1} \quad \text{kg m}^{-3} \times \text{m}^3 \text{s}^{-1} \times \text{m}^2$



$$\text{kg m}^{-3} \times \text{m s}^{-1}$$

Concentration * Vitesse

Densité de flux vertical instantanée

$$F_c = C * w$$

Mesure des flux

Densité de flux verticale moyenne

intégrée sur un pas de temps donné

$$\overline{F_c} = \overline{cw}$$

$$\overline{F_c} = \overline{(c + c')(w + w')}$$

$$\overline{F_c} = \overline{cw} + \overline{c'w} + \overline{cw'} + \overline{c'w'}$$

$$\overline{F_c} = \overline{c'w'}$$

Sachant que $\overline{c} = 0$ et $\overline{w} = 0$ sur la période de temps considérée

Mesure des flux – La méthode des corrélations turbulentes

$$\overline{F_c} = \overline{w'c'}$$

$$\overline{F_c} = \overline{(w - \overline{w})(c - \overline{c})}$$

$$\overline{F_c} = \frac{1}{t} \int_0^t [w_{(t)} - \overline{w}][c_{(t)} - \overline{c}] dt$$

$$\overline{F_c} = \text{cov}(w, c)$$

Méthode des covariances turbulentes,
ou corrélations turbulentes,
ou « eddy correlation »

Densités de flux verticales moyennes

Densité de flux de chaleur sensible

$$\overline{H} = \rho C_p \overline{w'T'}$$

Densité de flux de chaleur latente (H₂O)

$$\overline{LE} = L \overline{w'q'}$$

Densité de flux de CO₂

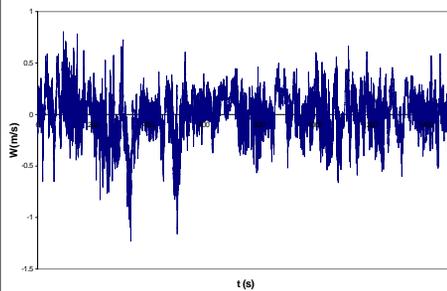
$$\overline{F_{CO_2}} = \overline{w'C_{CO_2}'}$$

Mesure des flux – La méthode des corrélations turbulentes

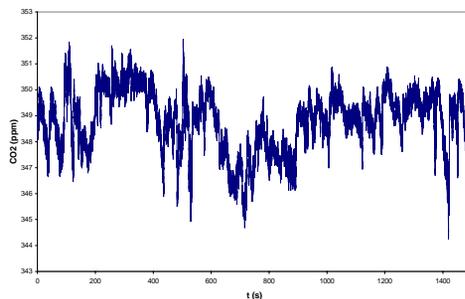
Nécessité de mesurer à des fréquences élevées la composante verticale de la vitesse du vent W (**anémomètre sonique**), et une grandeur scalaire (T , Q ou C) (**analyseur de gaz à infrarouge**)

- ☞ Appareils placés dans la Couche Limite de Surface
- ☞ Fréquence d'échantillonnage 10-50 Hz
- ☞ Temps d'intégration (ex. 30 min)

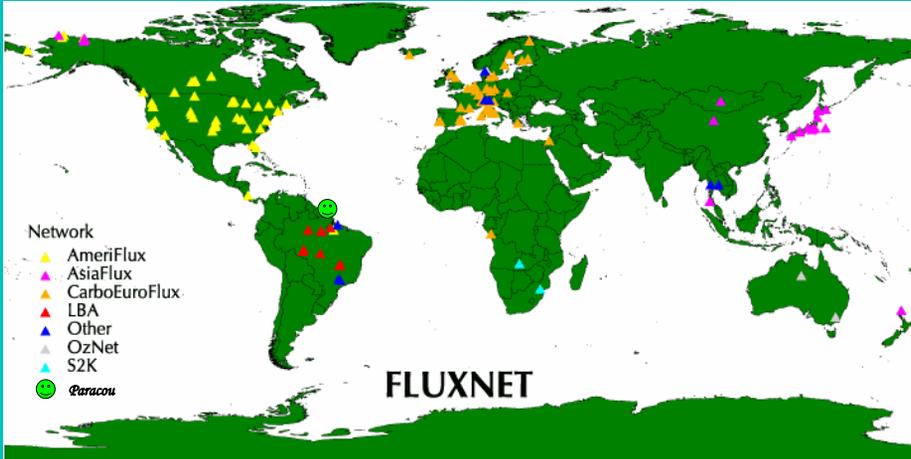
Variation de la vitesse verticale du vent (W) en fonction du temps



Variation de la concentration en CO₂ (ppm) en fonction du temps



Réseau de sites de mesures des flux



Programme Guyaflux



Etude des flux et bilans de CO_2 et H_2O entre l'écosystème forestier tropical humide guyanais et l'atmosphère

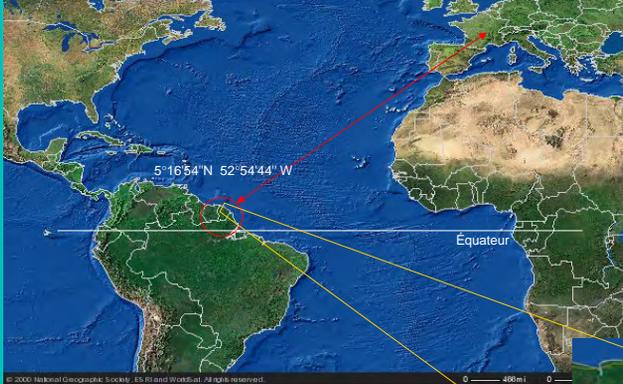
Installation du dispositif expérimental en 2003 dans le cadre du XII^{ème} CPER – Recherche Guyane



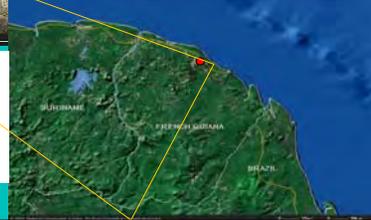
Photo : A. Boso

Localisation du site Guyaflux

- ✦ Guyane Française, forêt tropicale humide non perturbée – Seule FTH d'Europe !
- ✦ Site expérimental de Paracou, concession du CSG en partie mise à disposition du CIRAD
- ✦ Mise en place à l'automne 2003
- ✦ Relief de petites collines – Altitude moyenne = 30 m



- ✦ Forêt mature, H = 35 m (arbres émergents à 45 m)
- ✦ Densité = 550 arbres ha⁻¹ (dbh > 10 cm)
- ✦ Plant Area Index ≈ 7.0 m² m⁻²
- ✦ ≈ 180 espèces d'arbres différentes par ha (dbh > 10 cm)



Projet financé en 2002-2003
dans le cadre du XII^{ème} CPER Guyane

550 K€



43 %

10 %

43 %

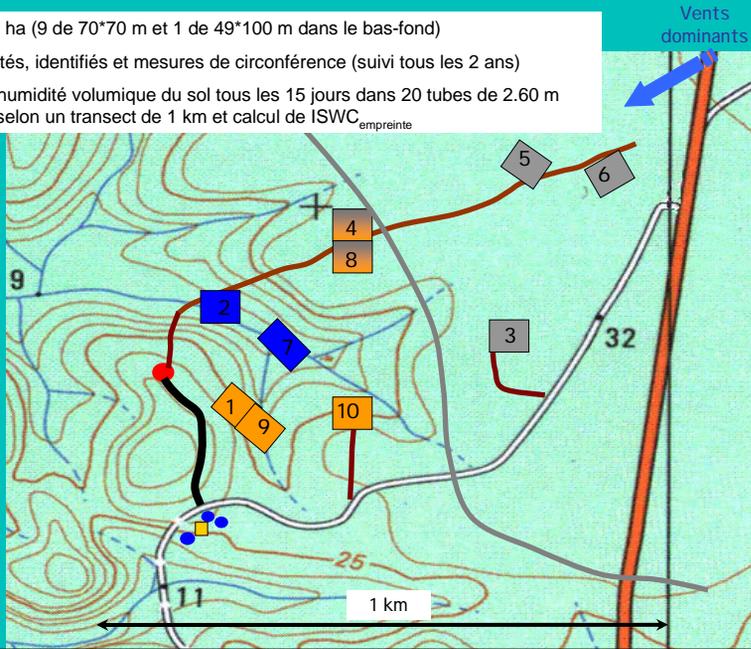
Unités Expérimentales
4 %

ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS

ACI PNBC 2003-2005
80 K€

Guyafflux

- 10 parcelles de 0.49 ha (9 de 70*70 m et 1 de 49*100 m dans le bas-fond)
- 2930 arbres numérotés, identifiés et mesures de circonférence (suivi tous les 2 ans)
- Caractérisation de l'humidité volumique du sol tous les 15 jours dans 20 tubes de 2.60 m (Trime FM3) répartis selon un transect de 1 km et calcul de $ISWC_{empreinte}$



Guyafflux

- ✦ Tour de 55 m de haut
- ✦ Centrale solaire pour 220 V
- ✦ Station météorologique (57 m)
- ✦ Système de corrélations turbulentes (Li7500 + Li7000 + R3-50) avec HP200LX et Eddylogp (Alterra) (57 m)
- ✦ Profil vertical de CO_2 (6 niveaux)

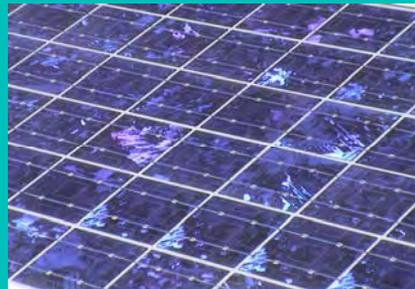


Guyaflux

- ✦ 40 bacs à litière pour caractériser la production
- ✦ 66 embases pour le suivi de la respiration du sol (répartis dans 4 parcelles)
- ✦ 8 chambres automatiques de respiration du sol
- ✦ Capteurs de flux de sève



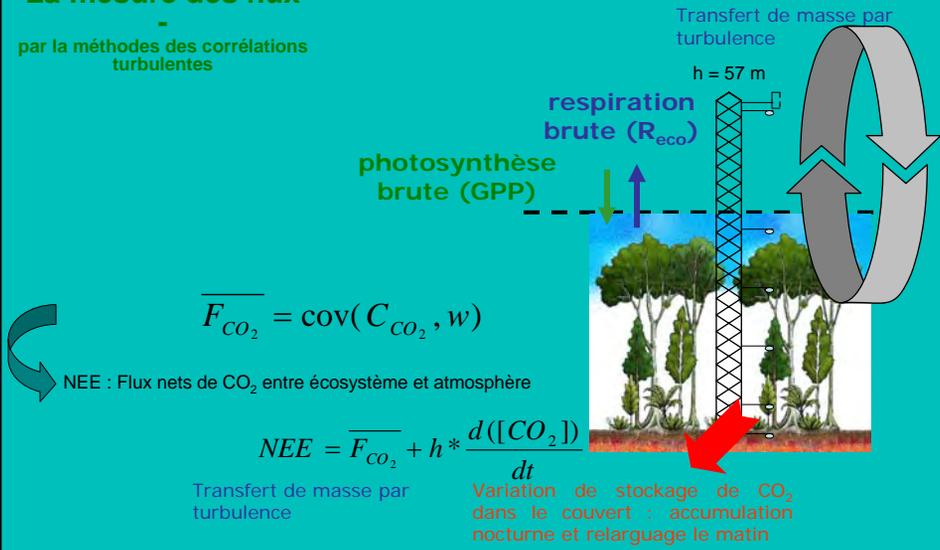
Guyaflux



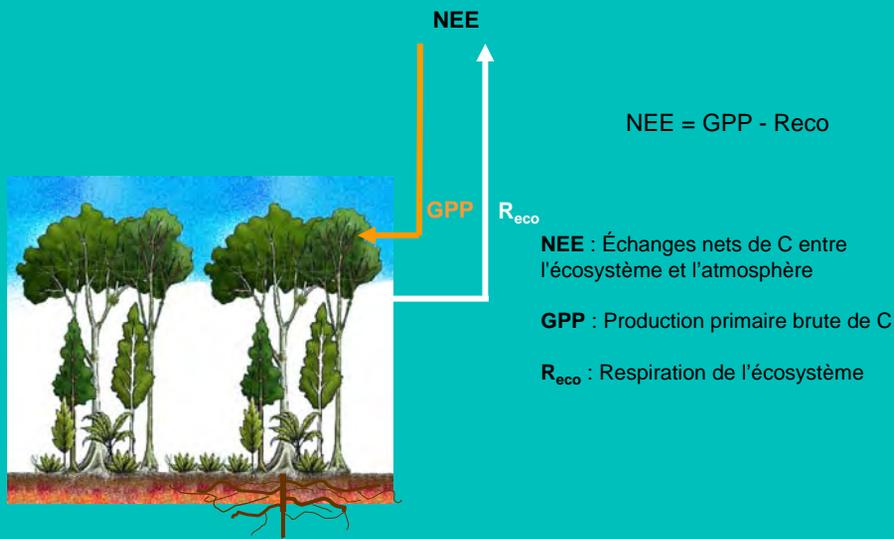
Photos - D. Bonal

La mesure des flux

par la méthodes des corrélations turbulentes

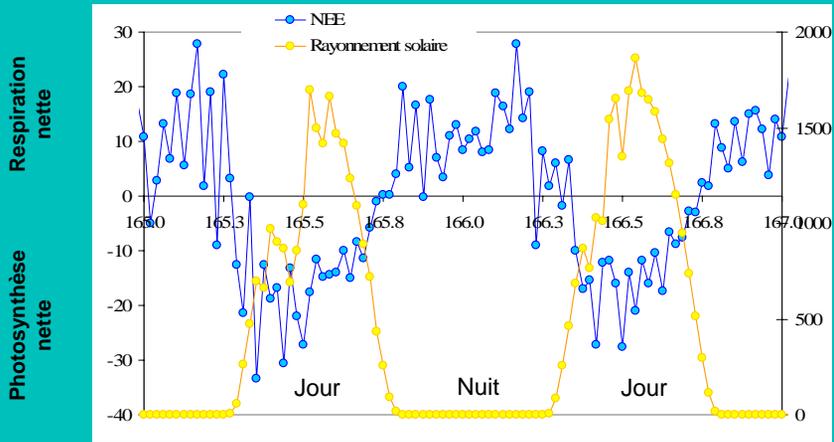


Les flux de C dans l'écosystème forestier



Les flux nets de C (NEE) sont la résultante de flux bruts très importants :
 → de faibles variations "asymétriques" de ces flux bruts pourraient engendrer des fortes variations de la force de puits / source de C de l'écosystème

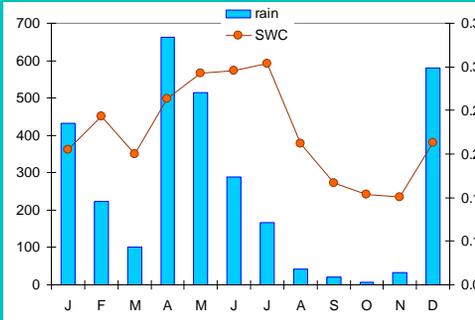
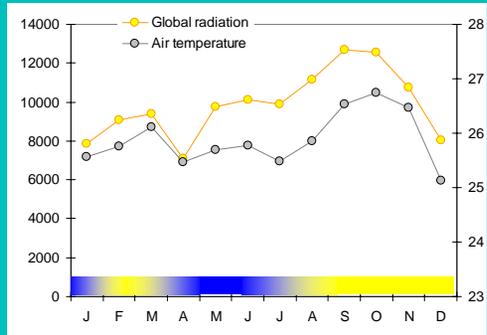
Les flux de C dans l'écosystème forestier Variations journalières de NEE



14-15 juin 2005

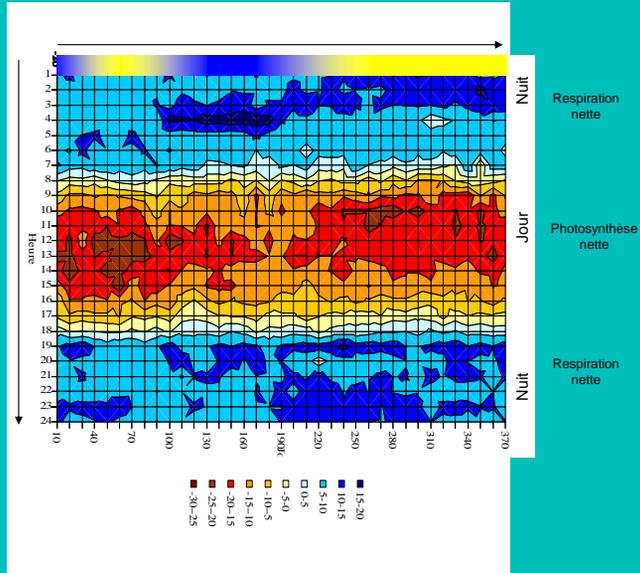
Variations saisonnnières du climat

-
Année 2005

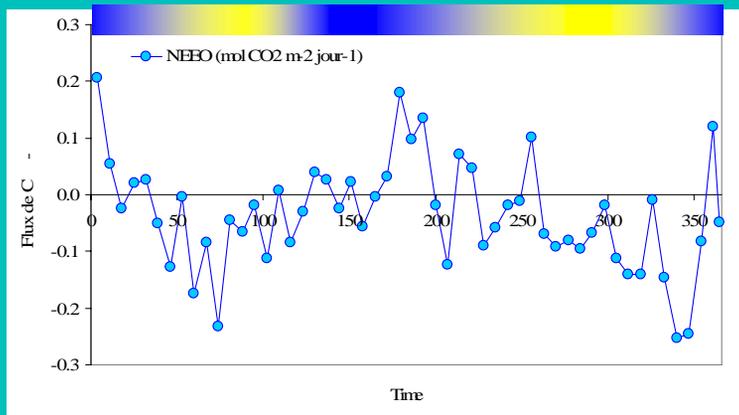


Évolution saisonnière du flux de CO₂

NEE (moyennes horaires sur 10 jours)



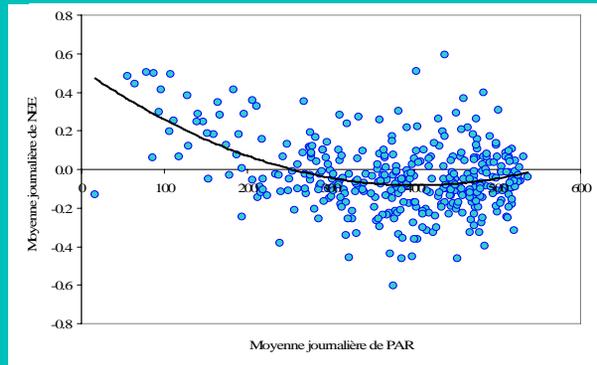
Les flux de C dans l'écosystème forestier Variations saisonnières de NEE



Fortes variations saisonnières de NEE entre écosystème et atmosphère en 2005

Quels facteurs expliquent ces variations saisonnières ?

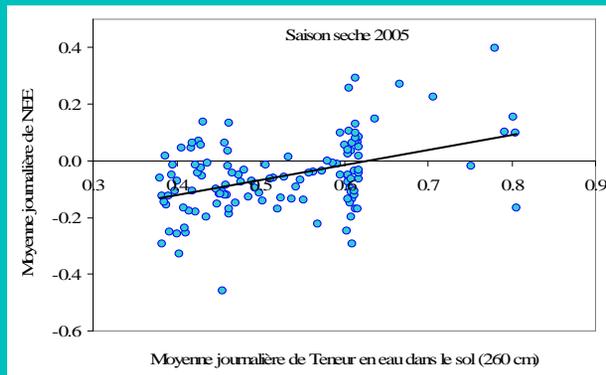
Au cours de l'année



- ✓ Les variations de NEE au cours de l'année (ici 2005) sont expliquées :
- à 40% par les variations de Reco (idem écosystèmes tempérés)
 - à 20% par les variations de rayonnement (PAR)
 - à 3% par les variations de teneur en eau dans le sol

Quels facteurs expliquent ces variations saisonnières ?

En saison sèche



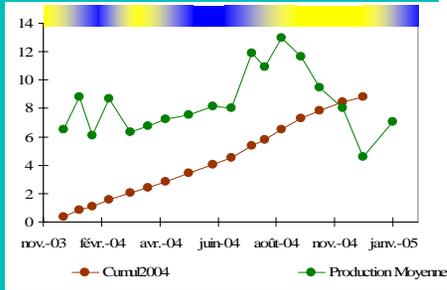
- ✓ Les variations de NEE au cours de la **saison sèche** (ici 2005) sont expliquées :
- Par les variations de rayonnement (PAR)
 - Par la respiration de l'écosystème
 - Par les variations de teneur en eau dans le sol, avec interaction avec R_{eco}

Quels facteurs expliquent ces variations saisonnières ?

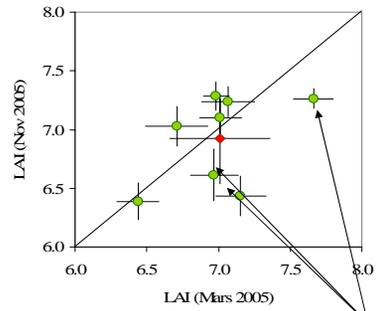
Au cours de l'année

Modifications des caractéristiques de la canopée ?

- ✓ Variations de production de litière ?
- ✓ Variations de PAI ?

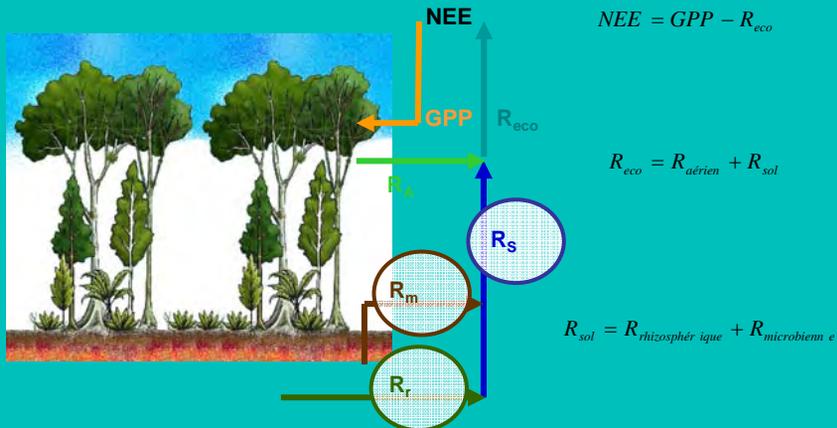


Moyenne ± SEM de 40 points par parcelle



Chablis

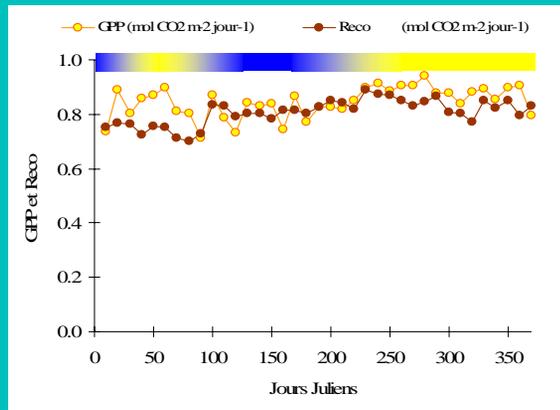
Contribution des différents compartiments



Compartimentation des flux de CO₂

- Composantes de NEE

R_{eco} = Respiration de l'écosystème
 GPP = Productivité primaire brute
 $NEE = GPP - R_{eco}$

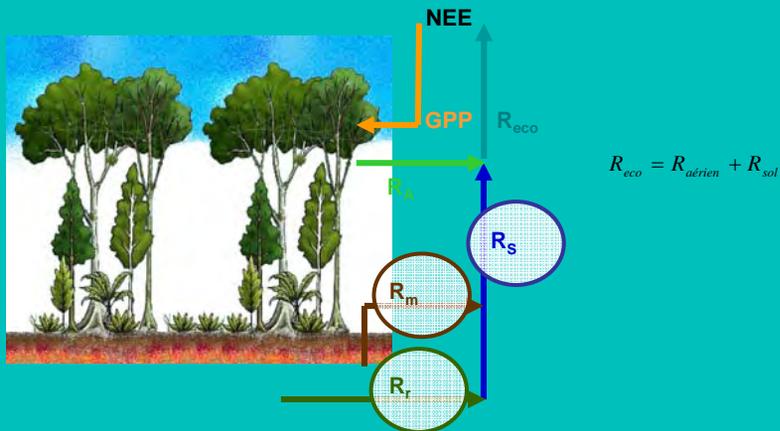


✓ Faible variabilité saisonnière pour R_{eco} et GPP

=> Variations de NEE sur l'année associées à des « micro » variations de R_{eco} (début et fin d'année) et GPP

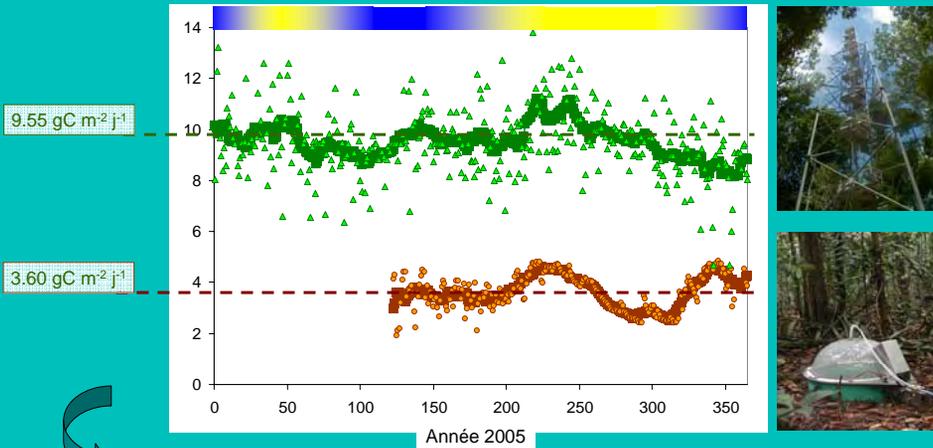
✓ Pas de diminution très significative de GPP au cours de la saison sèche

Contribution des différents compartiments



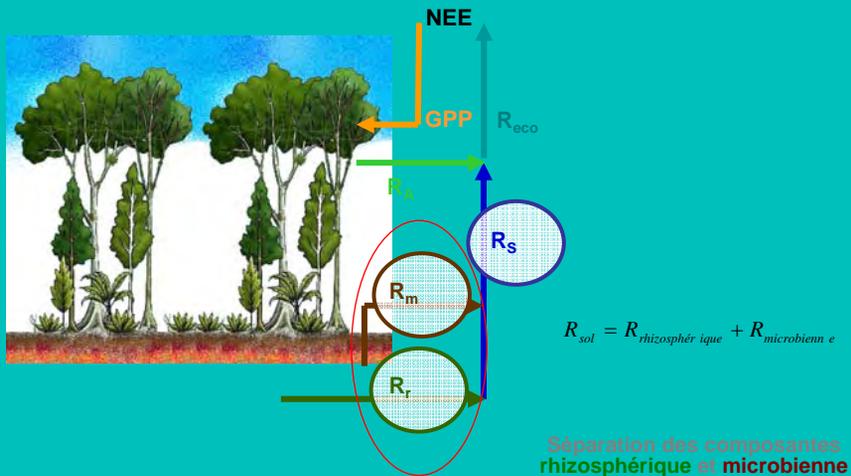
Compartimentation des flux de CO₂

Respiration du sol



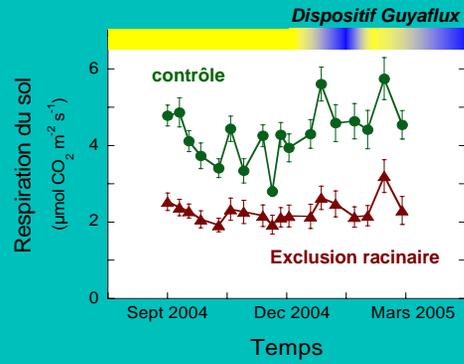
- ✓ Respiration du sol = 38% de la respiration de l'écosystème
- ✓ Variation de cette proportion au cours de l'année => Origine ?

Contribution des différents compartiments



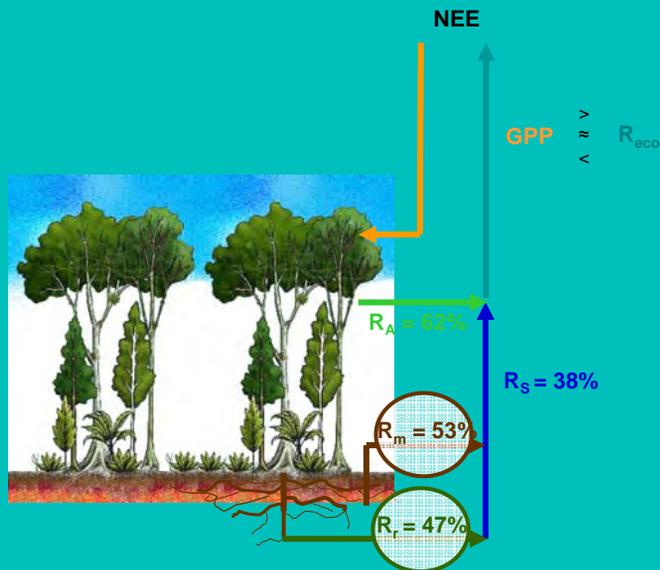
Compartimentation des flux de CO₂

Séparation des composantes rhizosphérique et microbienne



respiration microbienne = 53% de la respiration totale du sol
 respiration rhizosphérique = 47% de la respiration totale du sol

Contribution des différents compartiments



Programme Guyaflux

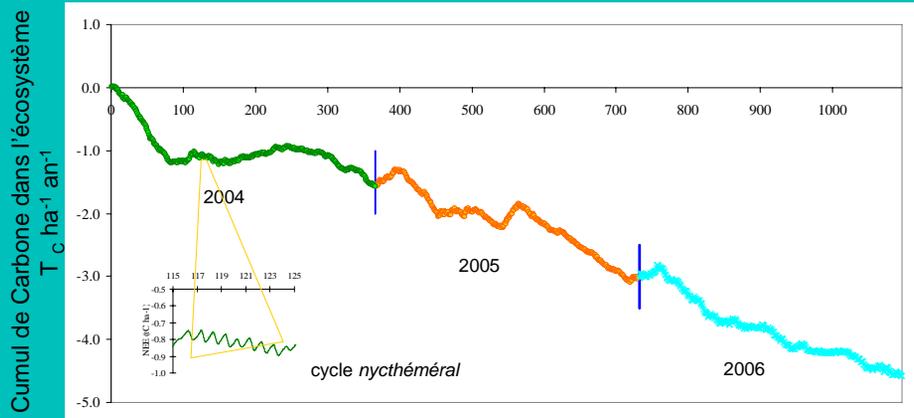


Bilan de carbone sur le dispositif Guyaflux de 2004 à 2006



Photo : A. Bosc

Les flux de CO₂ dans l'écosystème forestier Bilan 2004 - 2006



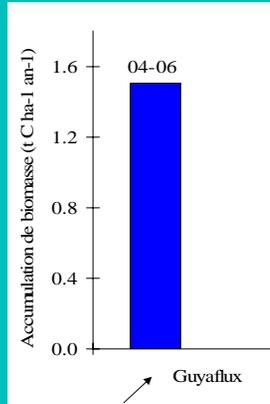
L'écosystème étudié a stocké du carbone de 2004 à 2006

-> Rôle de puits de carbone pour l'atmosphère

1 point vert ou orange ou bleu représente la somme des échanges sur 1 jour

Bilan annuel de C à Paracou

méthodes des corrélations turbulentes

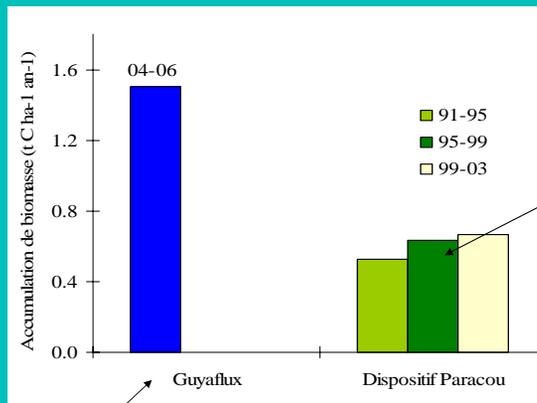


Calculé à partir du flux net (NEE) intégrant 100 ha

- ✓ La forêt de Paracou a joué le rôle de puits de carbone de 2004 à 2006
- ✓ En moyenne, 1,5 tC ha⁻¹ an⁻¹, avec forte incertitude de l'ordre de 0,5 tC ha⁻¹ an⁻¹

Bilan annuel de C à Paracou

méthodes des corrélations turbulentes et biométrie

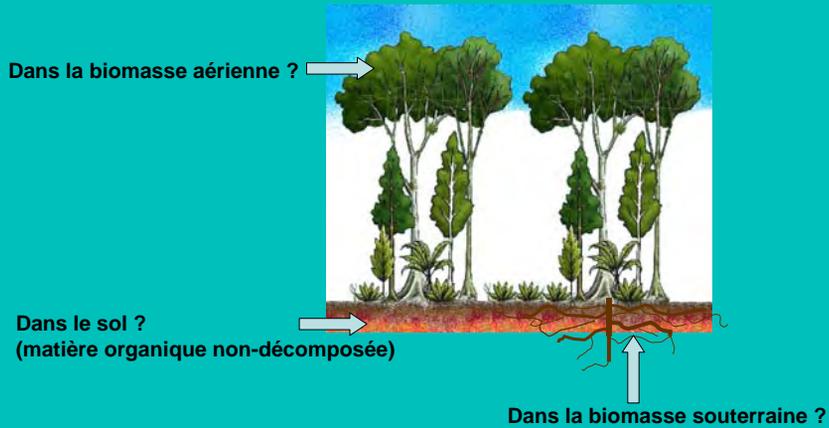


Calculé à partir du flux net (NEE) intégrant 100 ha

- ✓ Bonne cohérence entre 2 approches indépendantes pour caractériser le bilan de la biomasse aérienne
- ✓ Force du puits à Paracou du même ordre de grandeur que les forêts amazoniennes équatoriales

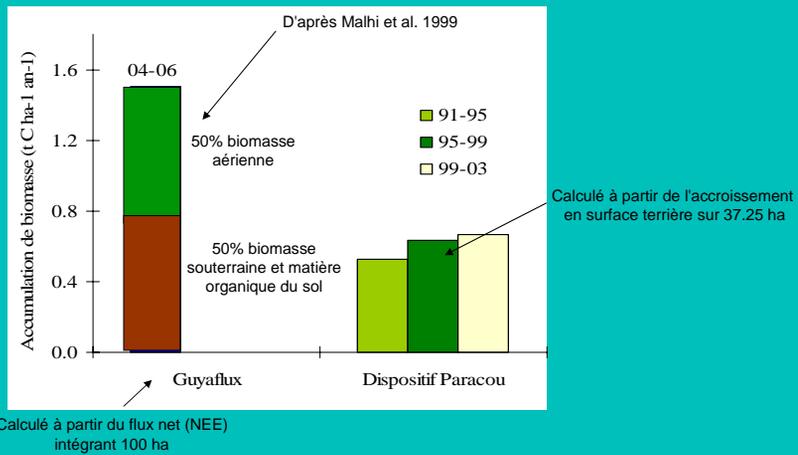
Les flux de C dans l'écosystème forestier

Où va ce carbone ?



Bilan annuel de C à Paracou

méthodes des corrélations
turbulentes et biométrie



Conclusions

- Des changements environnementaux en marche !
- Un avenir incertain sur le climat futur de la planète à moyen et long terme, et sur les conséquences de ces changements sur l'environnement
- Les mesures politiques prises (Kyoto, ...) sont actuellement insuffisantes pour « renverser la vapeur » !
 - ✓ Nécessité d'une prise de conscience générale (tous les pays) pour assurer l'avenir des générations à venir
 - ✓ utilisation d'énergies rejetant moins de GES

Conclusions

- Les écosystèmes forestiers, en particulier tropicaux, contribuent à ralentir l'augmentation de l'effet de serre (absorption de CO₂) mais :
 - ✓ problèmes de la disparition de la forêt tropicale humide Amazonienne, Africaine ou Asiatique !
 - ✓ problèmes liés à d'éventuels effets « feedbacks » !
 - ✓ les autres ressources « vitales » pour ces écosystèmes (azote, éléments minéraux, voire eau) viendront-elles à manquer ?
 - ✓ Quid des autres GES (ex. CH₄, contribution ECOFOR / Peyron)
- Nécessité de poursuivre les travaux sur la compréhension du fonctionnement de ces écosystèmes en réponse à ces changements pour mieux les gérer, voire les préserver



Merci de votre attention ...

