

# Arbres Forestiers et Changements Climatiques



Ecologie Systématique et Evolution (Orsay)

UMR 8079



UNIVERSITÉ  
PARIS-SUD 11



UNIVERSITÉ  
PARIS-SUD 11



Climat



hh



T

CO<sub>2</sub>



H<sub>2</sub>O

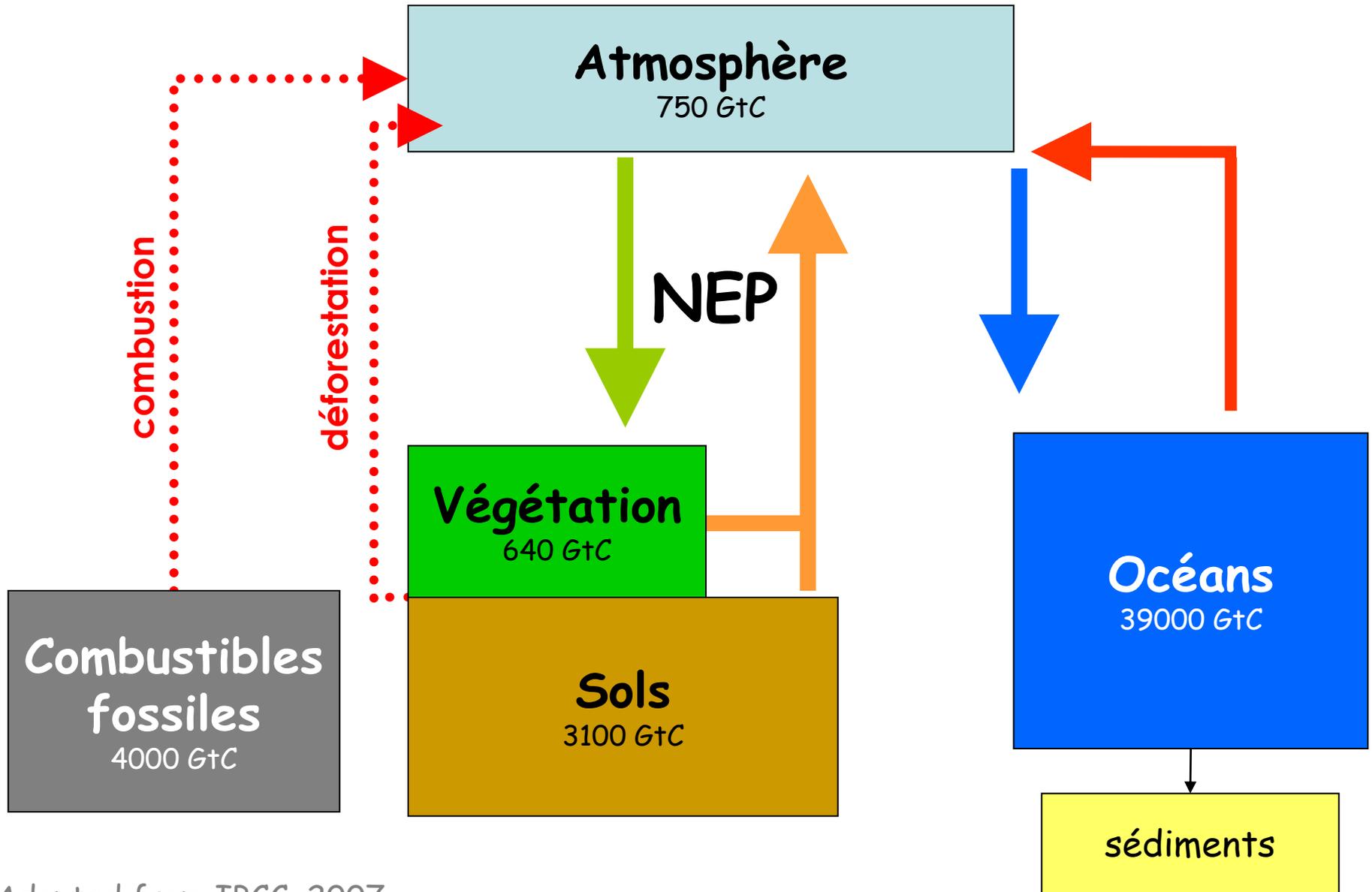
Forêt



*Action du climat sur  
la forêt  
et  
Rétroaction de la forêt  
sur le climat*

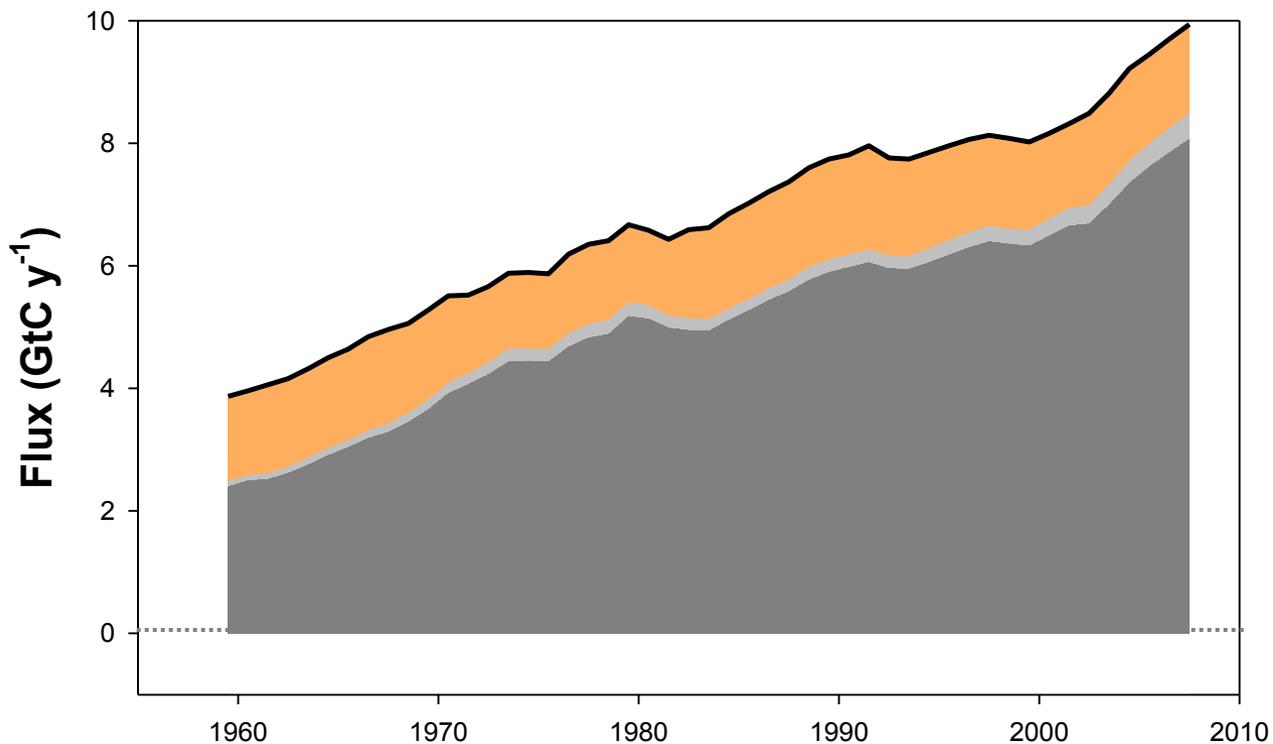


# Cycle Global du Carbone



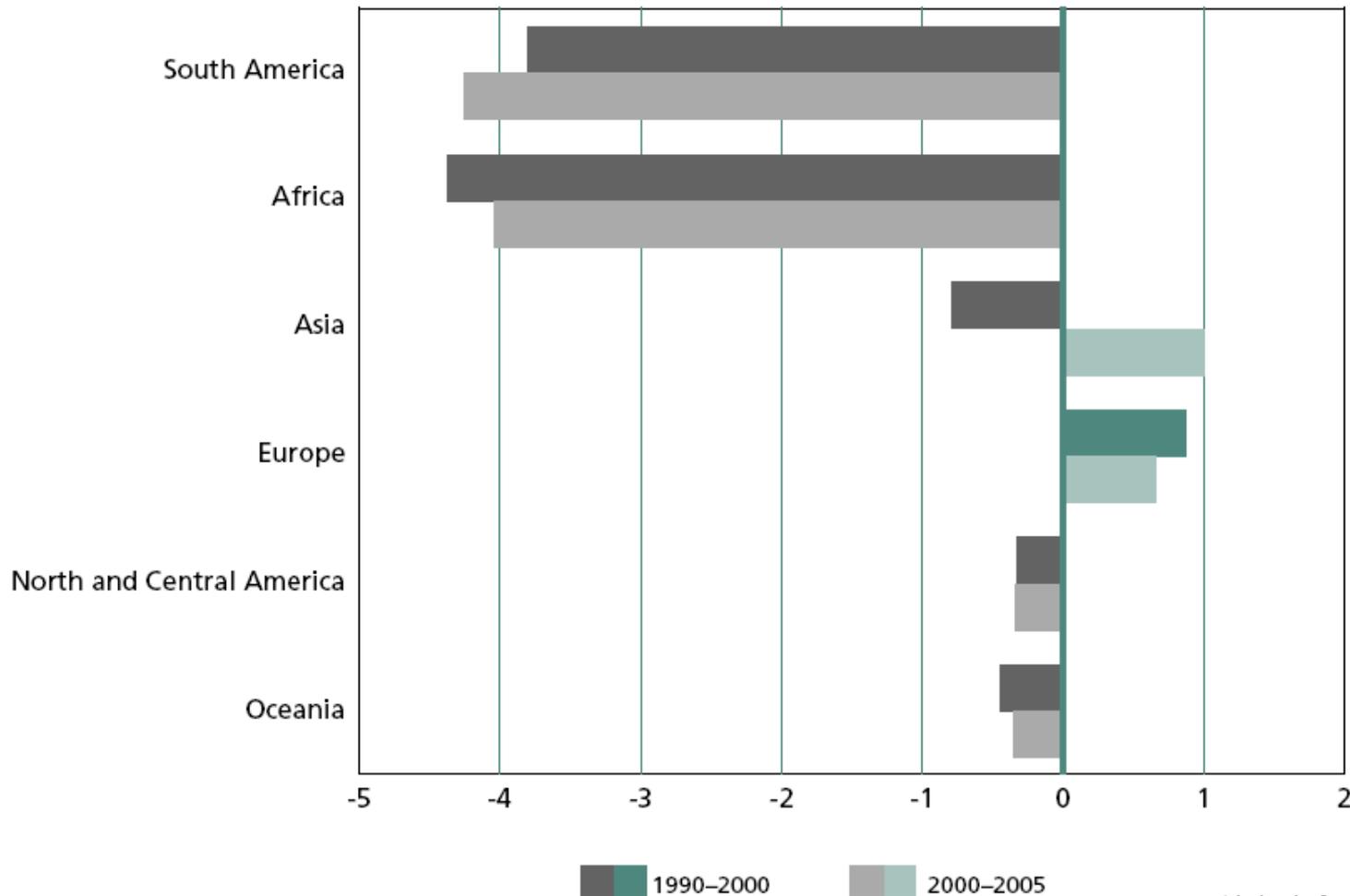
# CO<sub>2</sub> : émissions d'origine anthropique

## Combustibles fossiles + changement d'occupation des sols

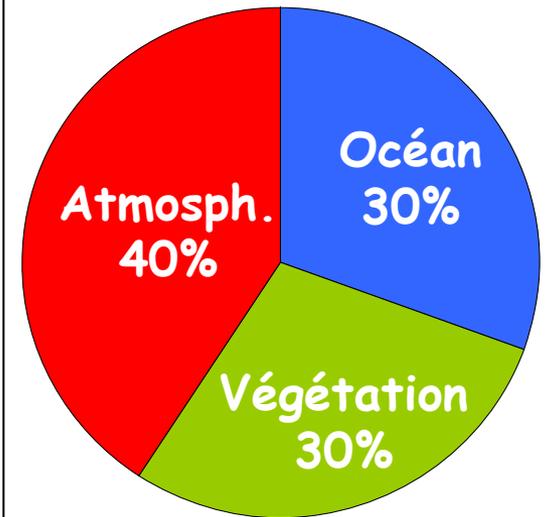
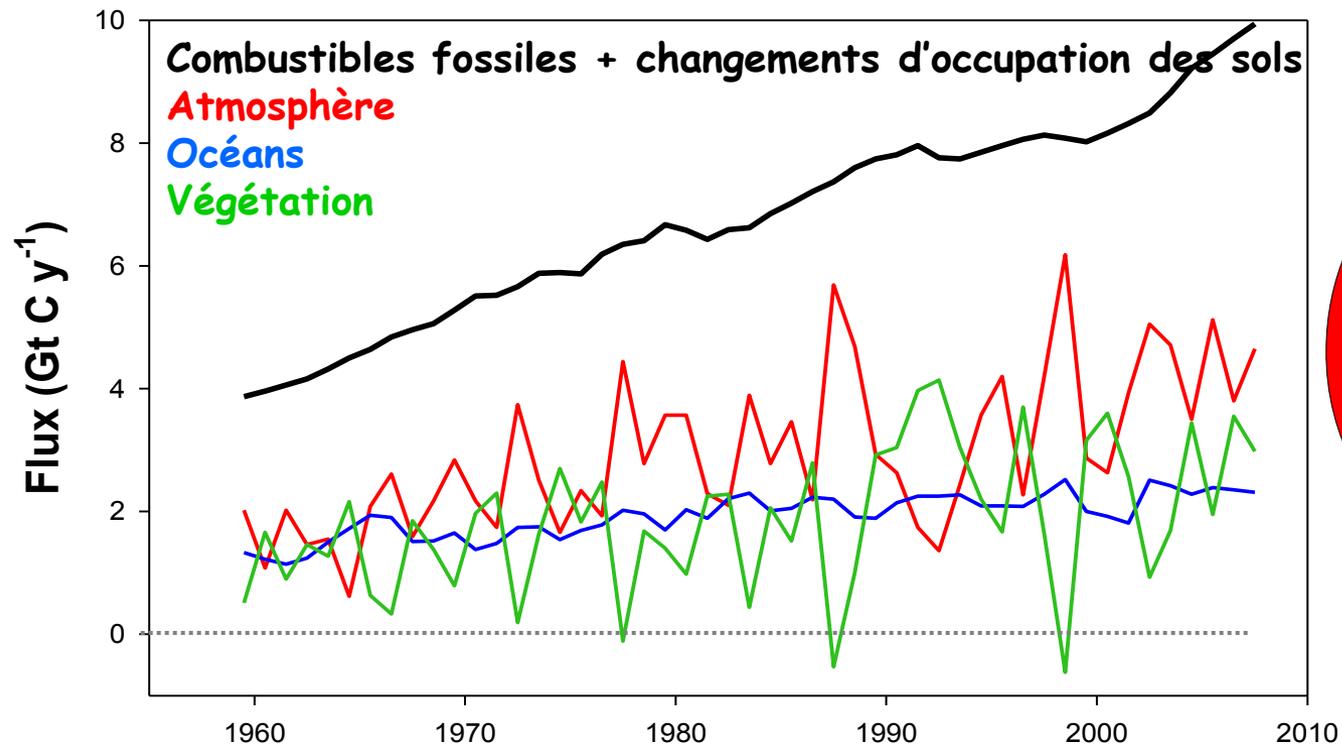


# La surface occupée par les forêts diminue à l'échelle mondiale

Changement net annuel de la surface forestière par région sur la période 2000 – 2005 (millions ha par an)

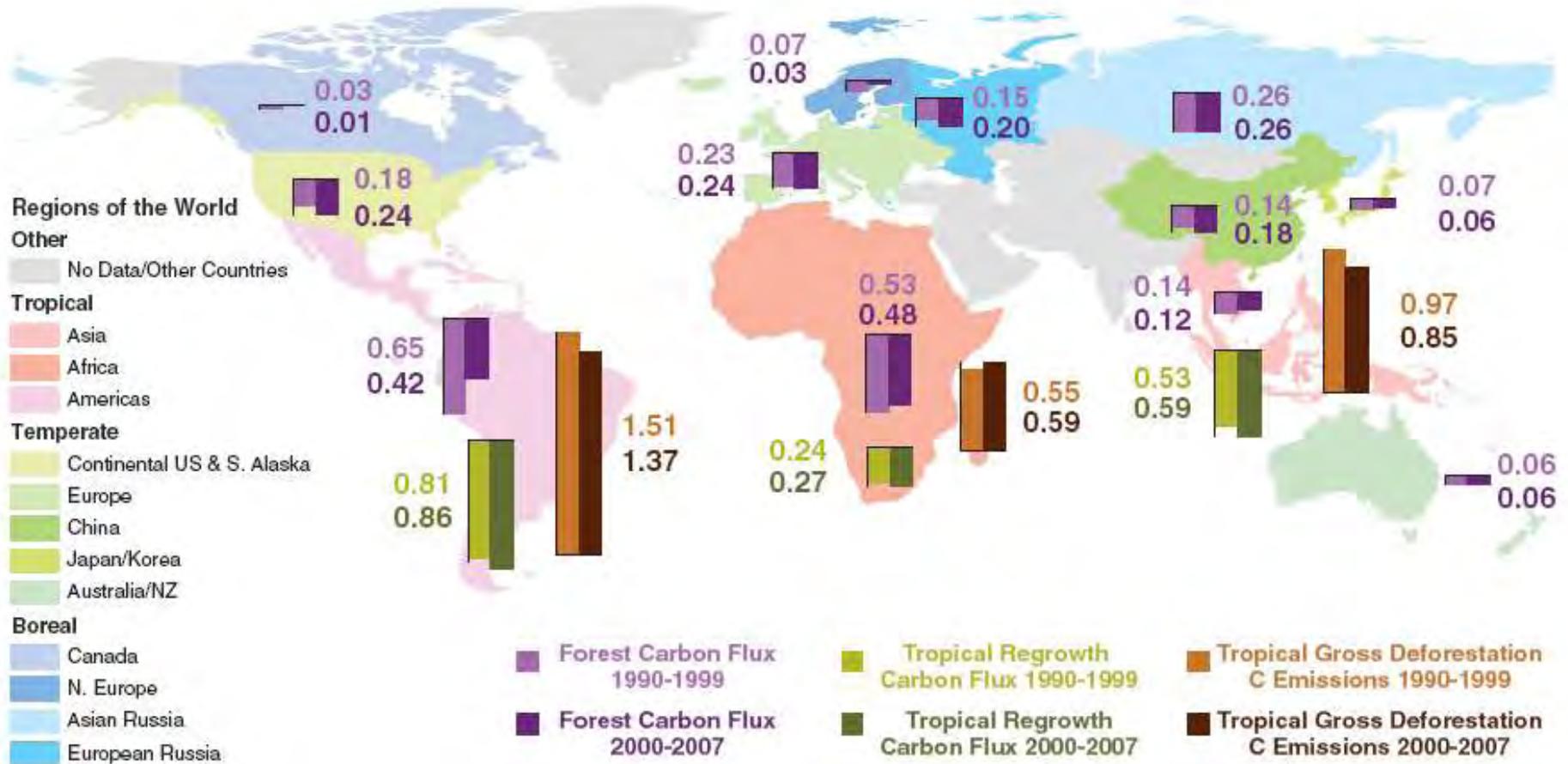


# La végétation terrestre régule la concentration atmosphérique en [CO<sub>2</sub>]



- Végétation continentale représente 50% de la fixation
  - Forêts ~60% de la fixation par la végétation

# Les forêts mondiales sont et restent un large puits pour le carbone (1990-2007)



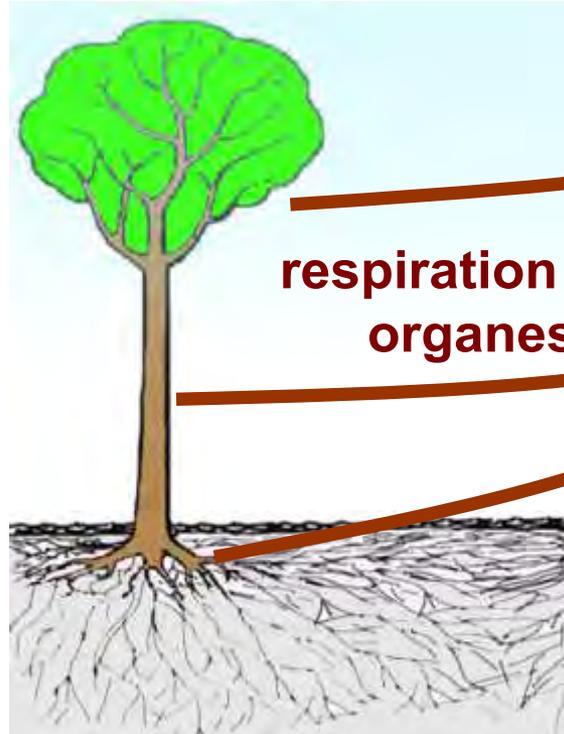
rayonnement  
température  
humidité

photosynthèse

CO<sub>2</sub> atmosphérique

température  
humidité

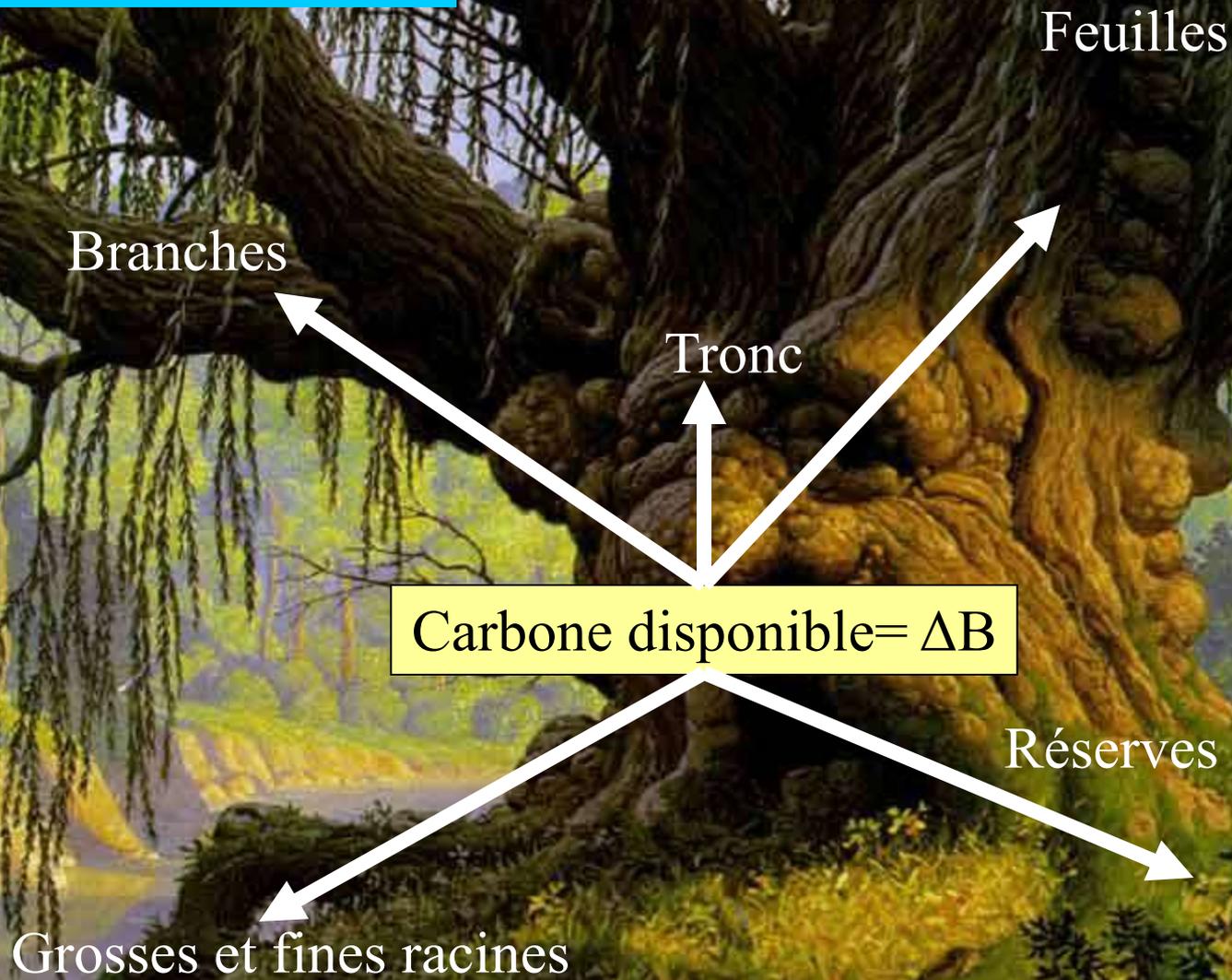
respiration  
écosystémique



respiration  
des  
organes

respiration  
microbienne

# Allocation du carbone

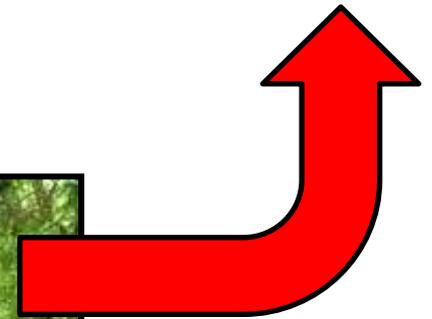


# Bilan de C forestier : Flux et Stocks

## Comment les connaître ?

Photosynthèse

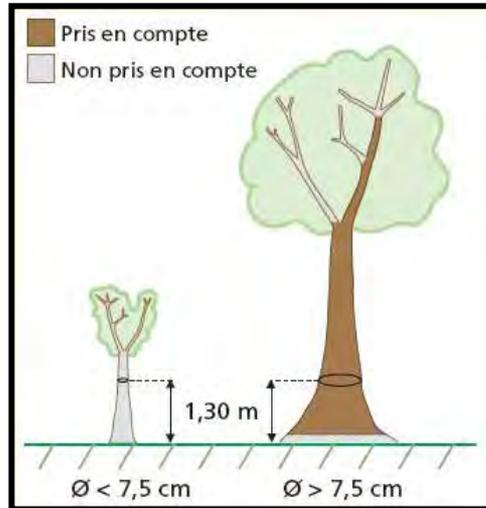
Respiration de l'écosystème  
Coupes, Feux ...



# Investigation du bilan de C forestier : Mesure des stocks

## Biomasse bois sur pied

→ Inventaire forestier



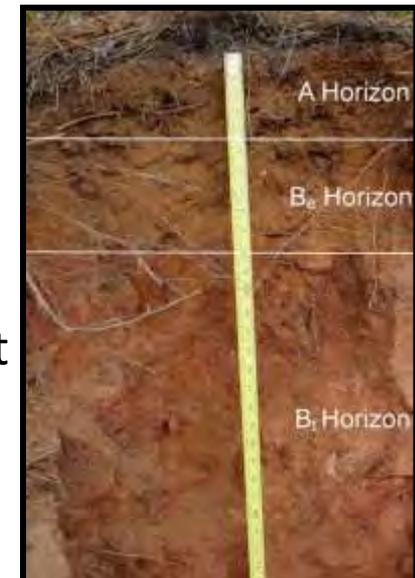
## Biomasse racinaire

→ excavation...

**Stocks**  
 $\text{gC}/\text{m}^2_{\text{sol}}$

## Biomasse foliaire

→ Mesure de surface foliaire et  
masse surfacique



## MOS

→ dosage et  
densité

# Investigation du bilan de C forestier

## Mesures des flux de $CO_2$

### Compartiments

Photosynthèse



Respiration tronc

Respiration sol

Anémomètre  
sonique  
(mesures  $u, v, w$ )

Analyseur de gaz  
à infra-rouge  
(mesures  $c, q$ )



Forêt Domaniale de Barbeau (77)



# Mesures de la croissance du bois

## Dendromètre à lecture directe



## Dendroclimatologie & Dendroécologie

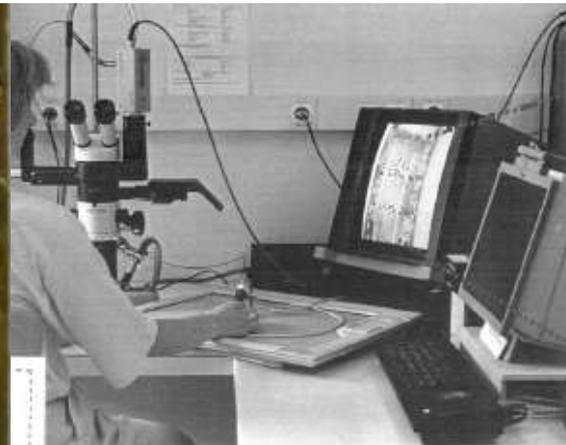
### Carottage dans le tronc



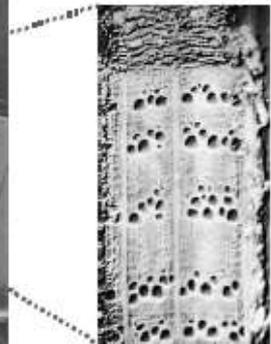
### Planage



### Scanner

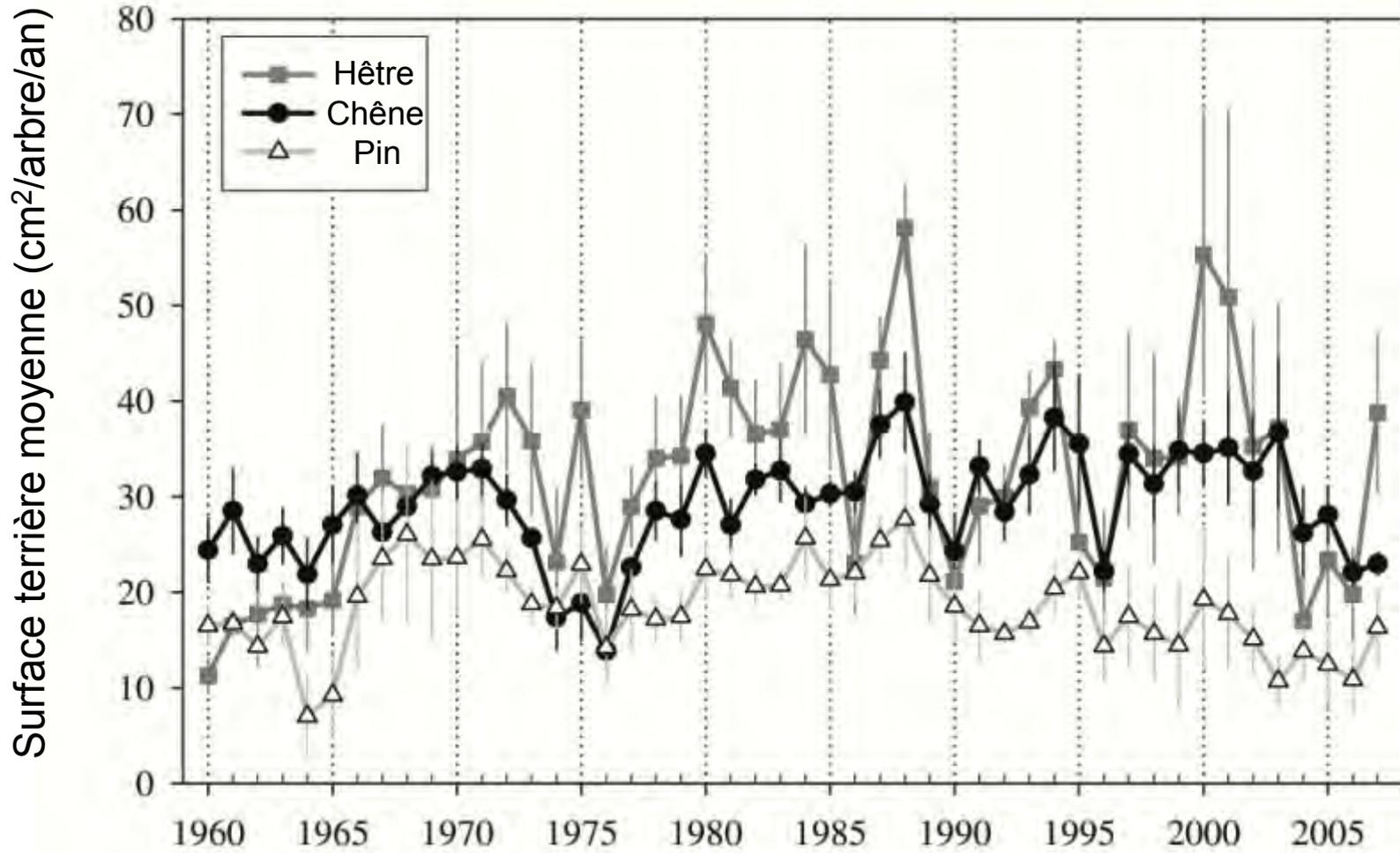


### Largeur de cernes



# Croissance 1960 – 2007, Fontainebleau

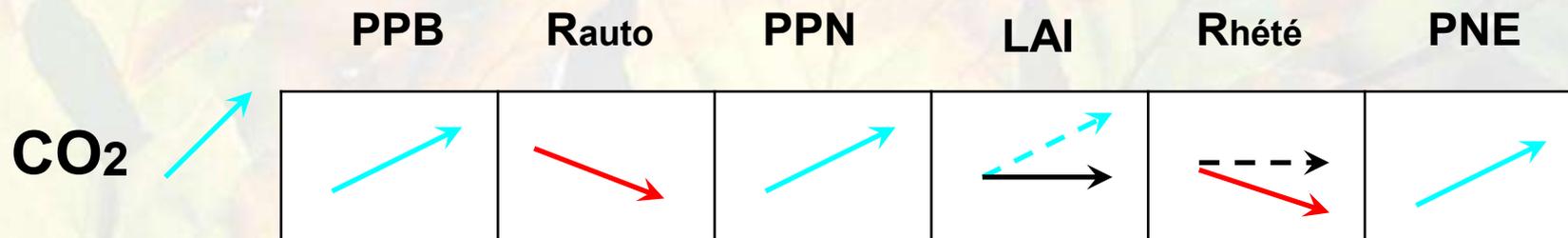
3 parcelles par espèce, 8 arbres par parcelle



**Dendroclimatologie & Dendroécologie**

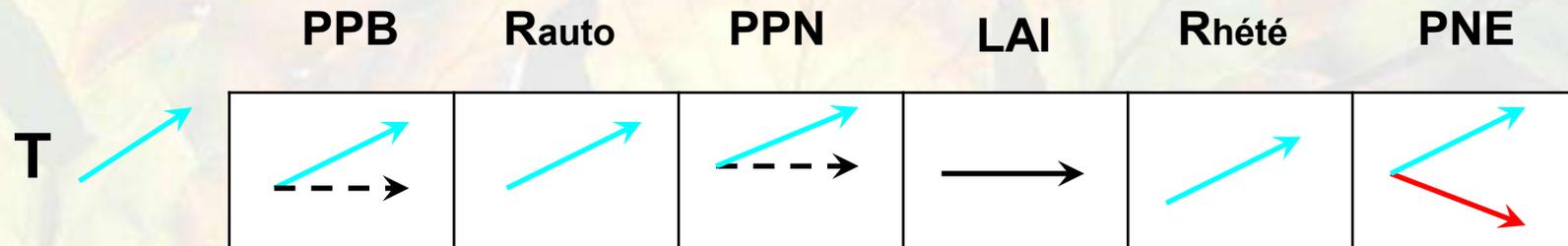
## Comment connaître les flux et les stocks de carbone dans un climat futur ?

PPB	= Photosynthèse Brute	= Production Primaire Brute
Rauto	= Respiration autotrophe	= Respiration des végétaux
PPN	= Production Primaire Nette	= Croissance + Mortalité
LAI	= Indice Foliaire	= Surface foliaire de la forêt
Rhété	= Respiration hétérotrophe	= Respiration des organismes du sol
PNE	= Production Nette Ecosystème	= Bilan net de carbone pour l'écosystème



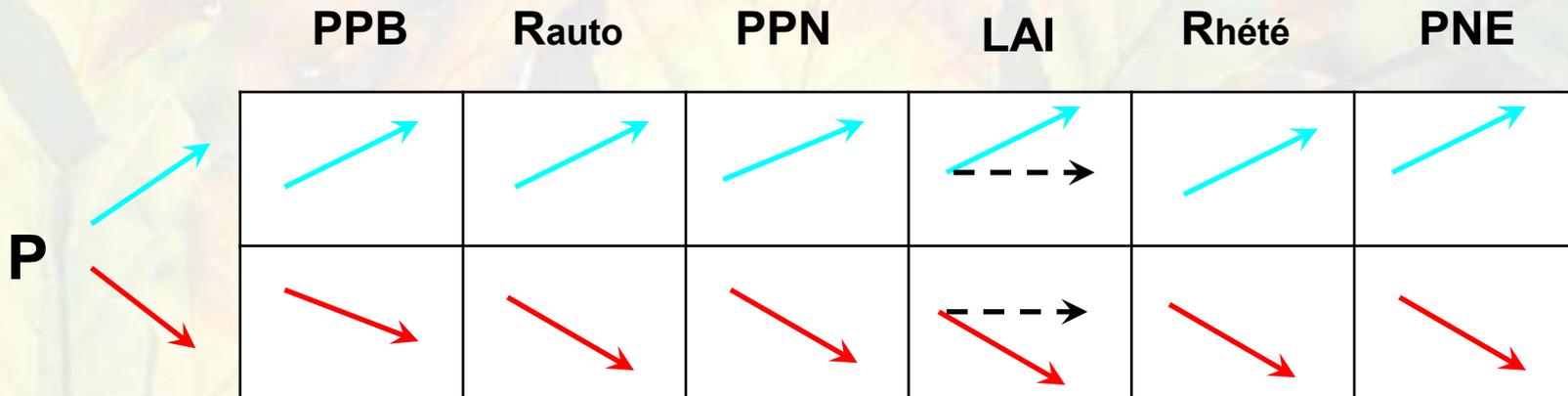
## Comment connaître les flux et les stocks de carbone dans un climat futur ?

PPB	= Photosynthèse Brute	= Production Primaire Brute
Rauto	= Respiration autotrophe	= Respiration des végétaux
PPN	= Production Primaire Nette	= Croissance + Mortalité
LAI	= Indice Foliaire	= Surface foliaire de la forêt
Rhété	= Respiration hétérotrophe	= Respiration des organismes du sol
PNE	= Production Nette Ecosystème	= Bilan net de carbone pour l'écosystème

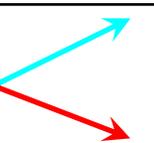


## Comment connaître les flux et les stocks de carbone dans un climat futur ?

- |       |   |                             |   |  |
|-------|---|-----------------------------|---|--|
| PPB   | = | Photosynthèse Brute         | = | Production Primaire Brute              |
| Rauto | = | Respiration autotrophe      | = | Respiration des végétaux               |
| PPN   | = | Production Primaire Nette   | = | Croissance + Mortalité                 |
| LAI   | = | Indice Foliaire             | = | Surface foliaire de la forêt           |
| Rhété | = | Respiration hétérotrophe    | = | Respiration des organismes du sol      |
| PNE   | = | Production Nette Ecosystème | = | Bilan net de carbone pour l'écosystème |



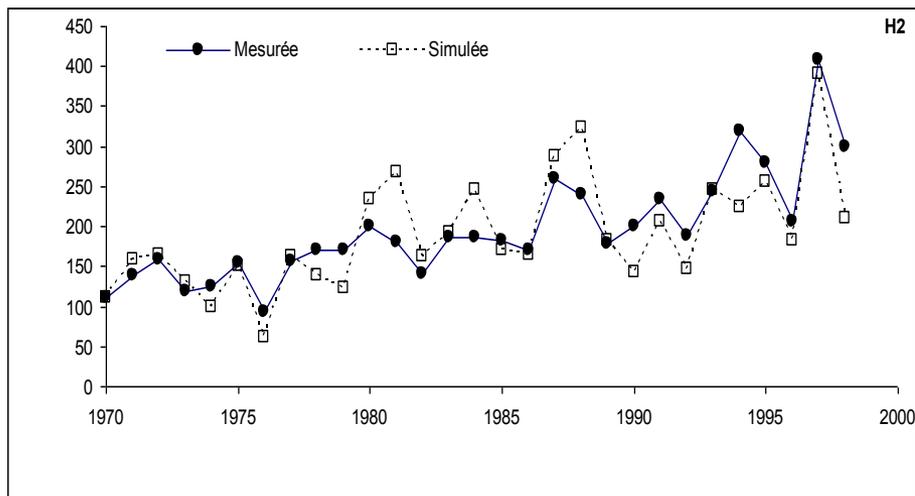
# Comment connaître les flux et les stocks de carbone dans un climat futur ?

	PPB	Rauto	PPN	LAI	Rhété	PNE
<b>CO<sub>2</sub></b> 						
<b>T</b> 						
<b>P</b> 						
						
						

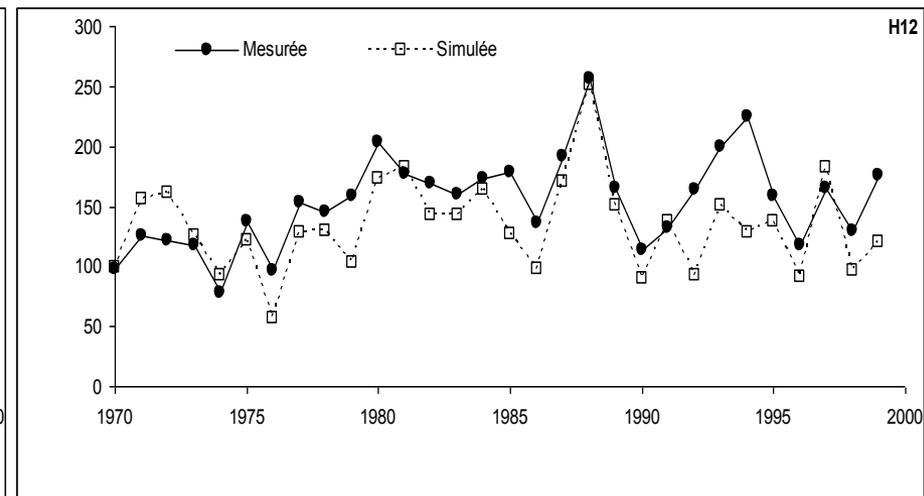
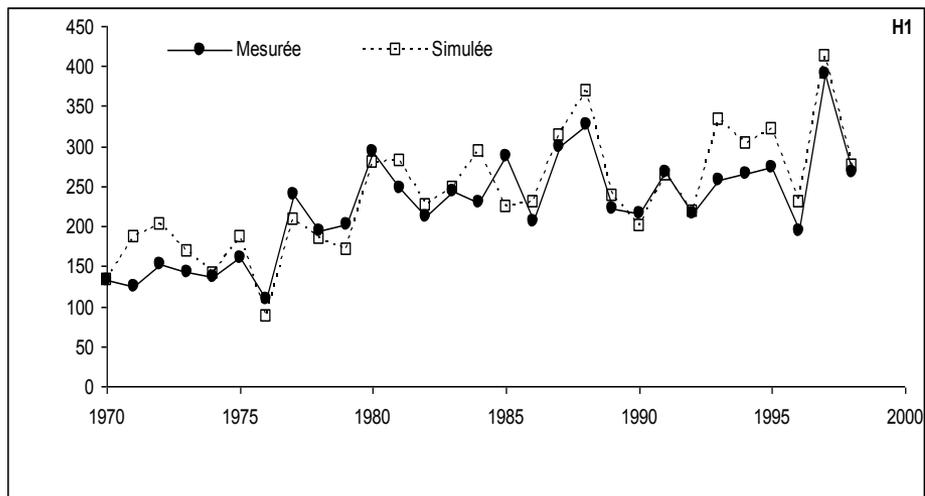
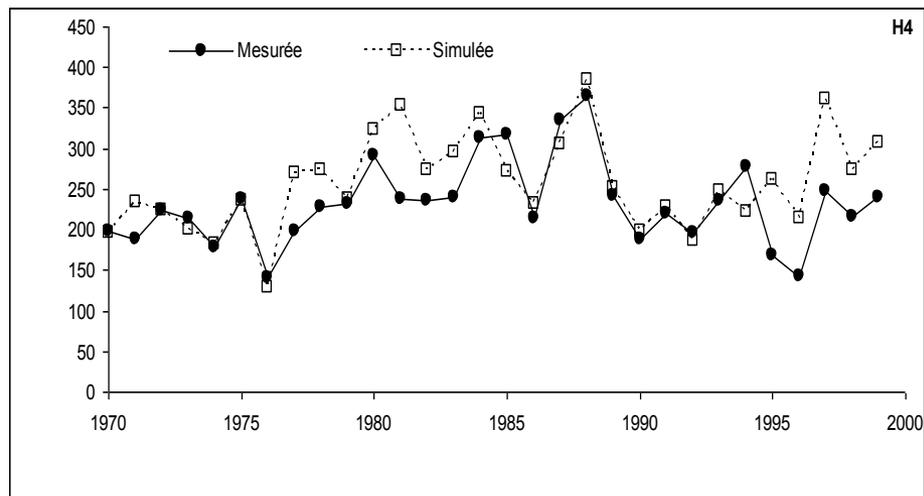
De l'intérêt des modèles fonctionnels basés sur la connaissance des processus écophysologiques

# Croissance aérienne mesurée et simulée sur des hêtraies Belfontaines 1970 - 1998 ( $gC\ m^{-2}\ an^{-1}$ )

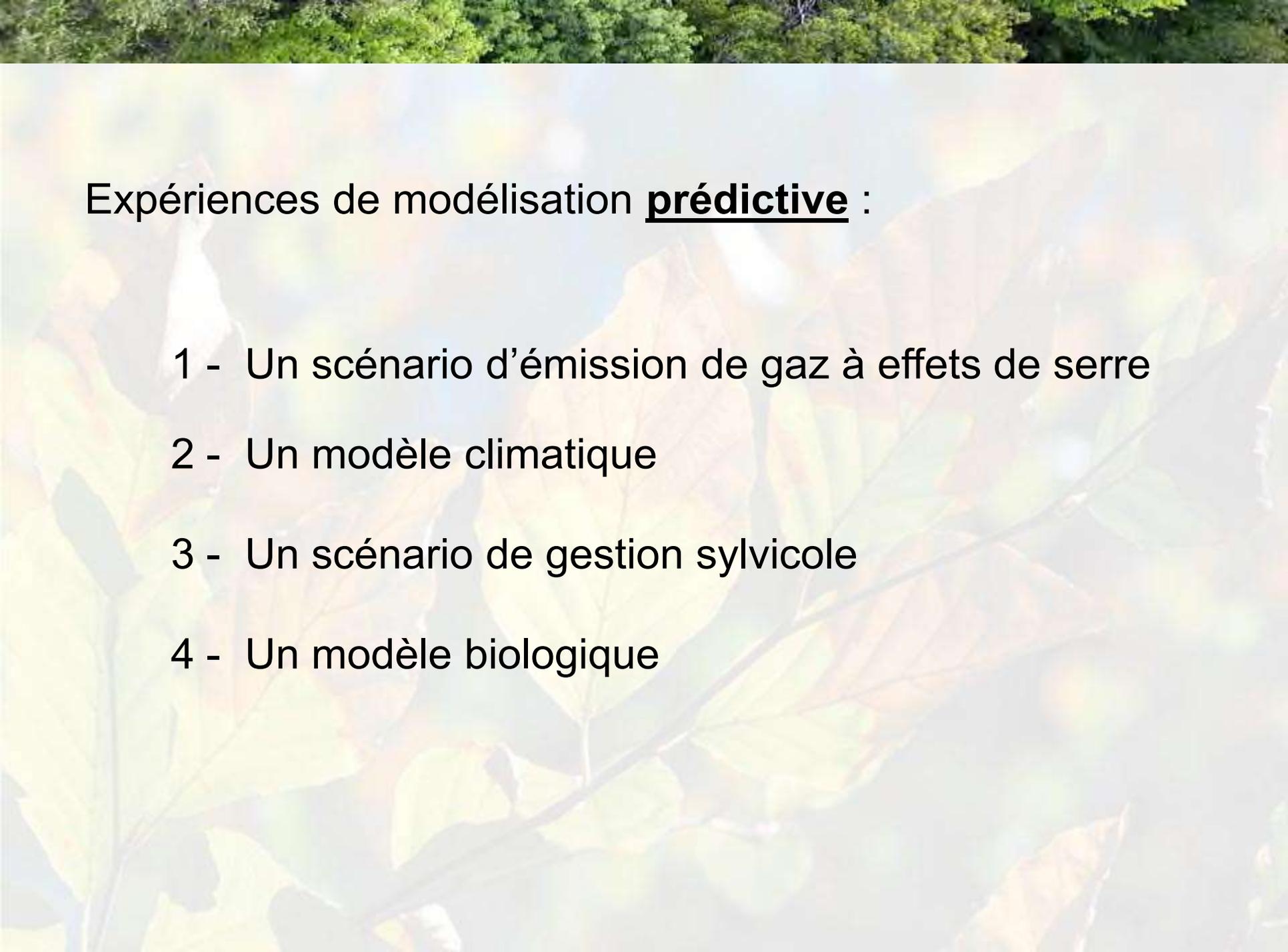
Hêtraies jeunes : 20 - 50 ans  
Perchis



Hêtraies mûres : 55 - 85 ans  
Futaies



Peuplements équiennes issus de régénération naturelle



## Expériences de modélisation **prédictive** :

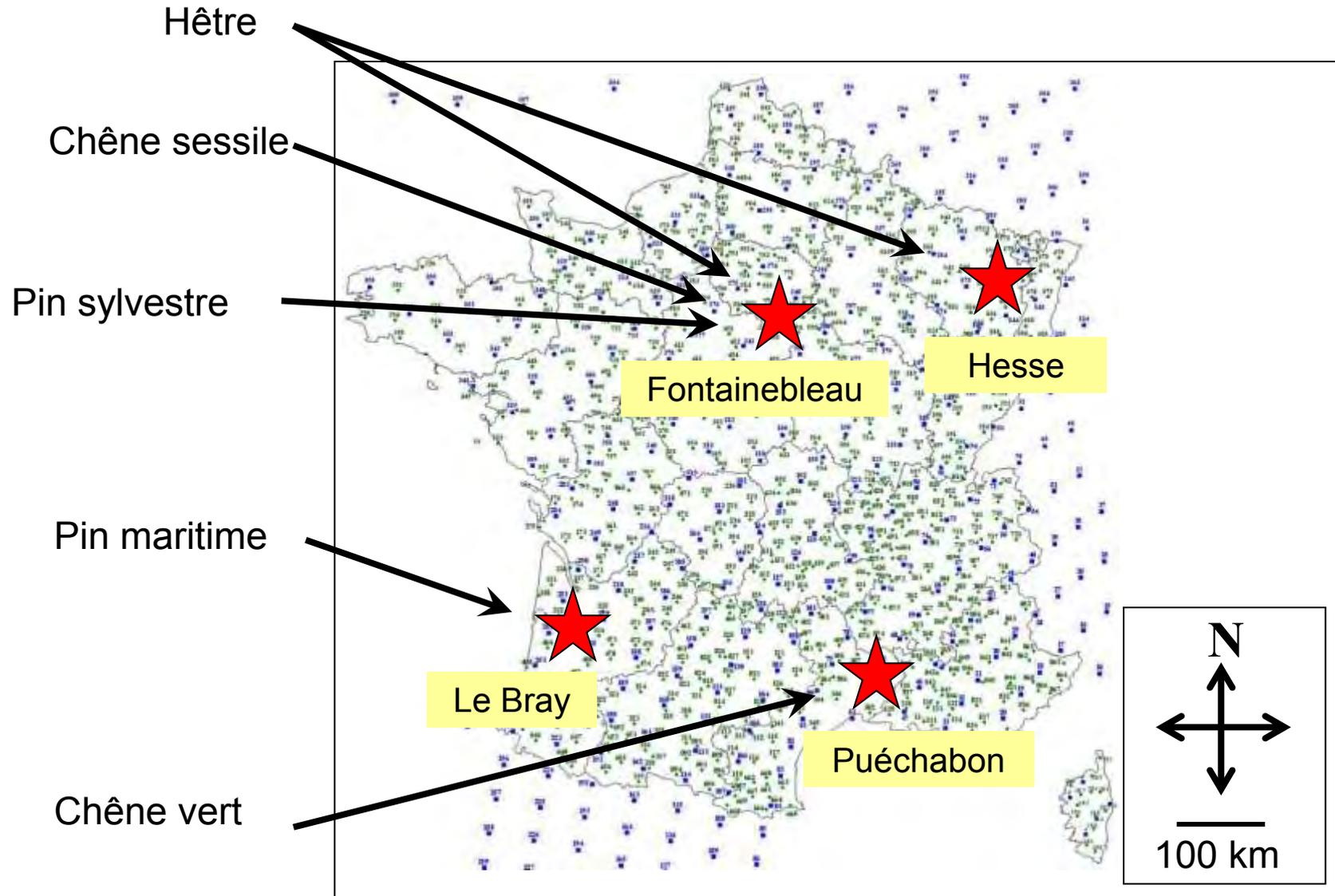
- 1 - Un scénario d'émission de gaz à effets de serre
- 2 - Un modèle climatique
- 3 - Un scénario de gestion sylvicole
- 4 - Un modèle biologique

# Les apports et les limites des modèles : Où en est-on ?

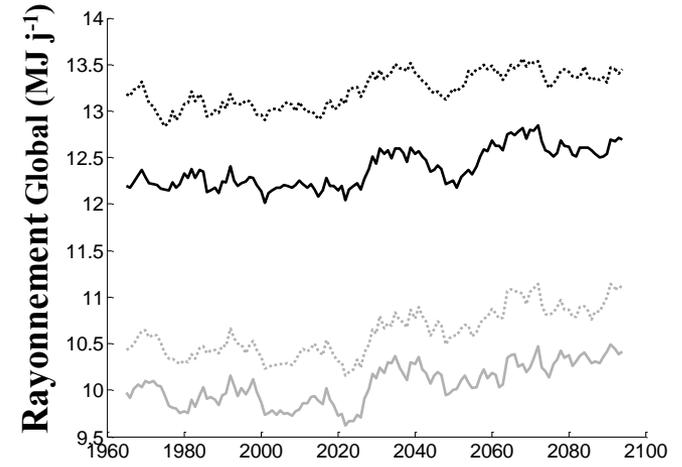
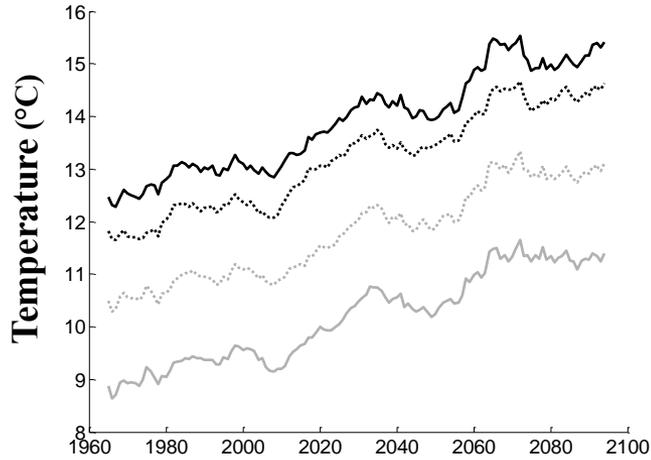
Deux expériences de modélisation à titre d'exemple :

- 1 - 5 espèces & 4 climats : flux de CO<sub>2</sub>
- 2 - Le Hêtre à l'échelle de la France :  
croissance & « mortalité »

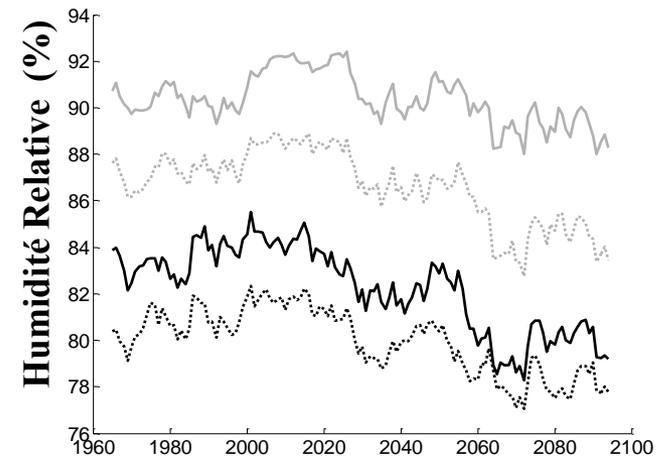
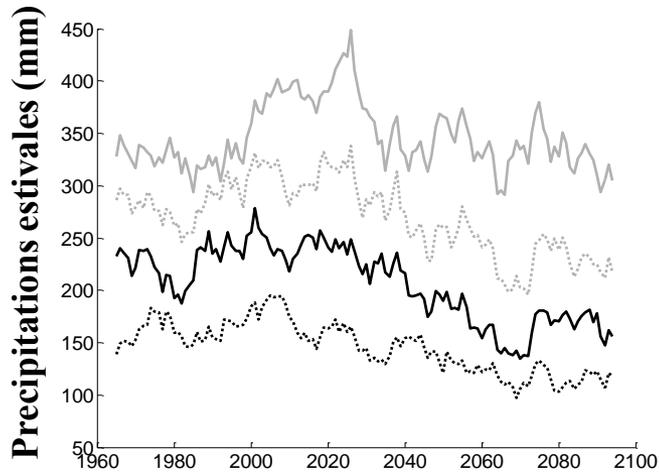
**4 sites**  
**5 espèces**



# Climats simulés par le modèle ARPEGE (Météo-France) Sur la période 1960 à 2100 En suivant le scénario B2 IS92 donné par l'IPCC

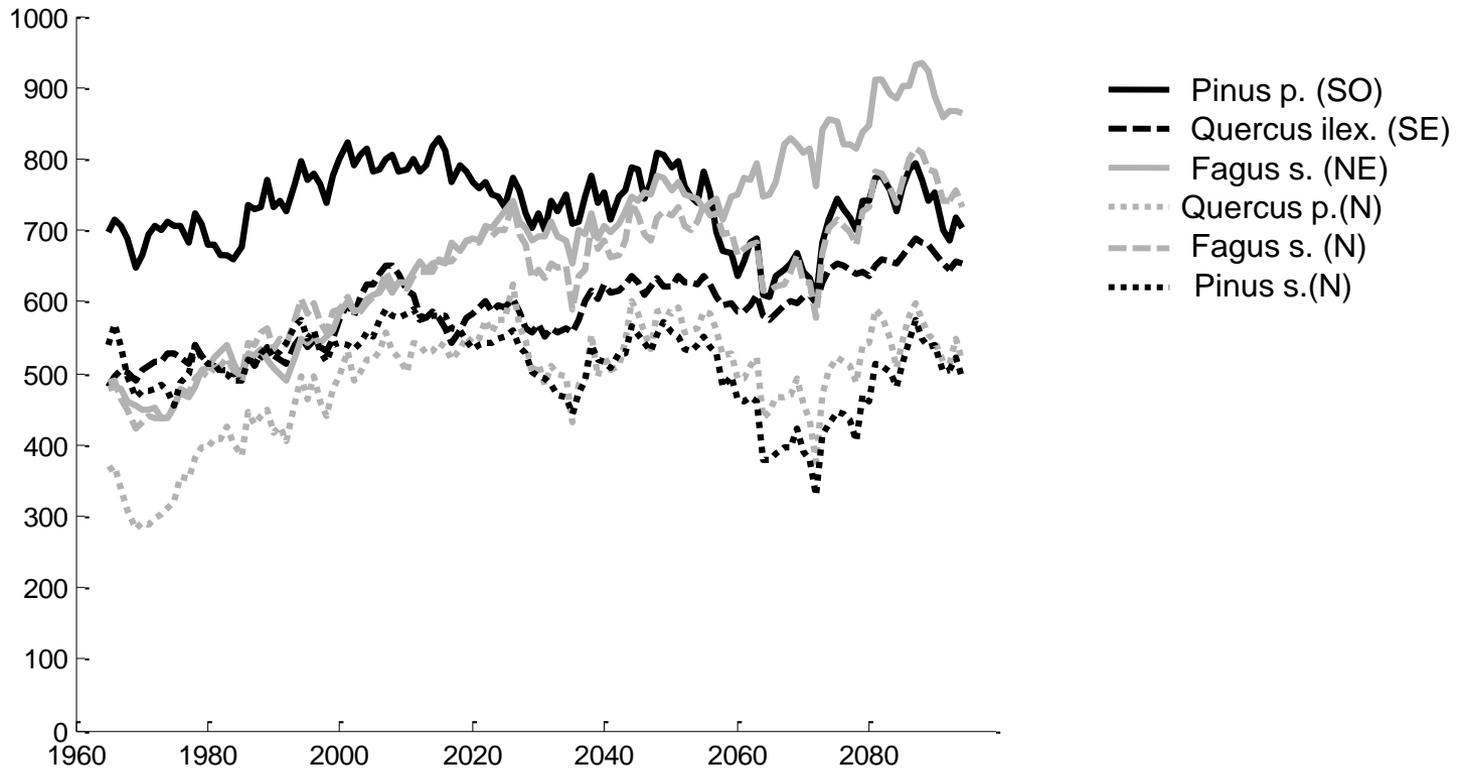


- Bray SO
- ..... Puechabon SE
- Hesse NE
- ..... Fontainebleau N



# Flux net de $\text{CO}_2$ (NEE $\text{g}_c \text{ m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ ) Simulé sur la période 1960 à 2100

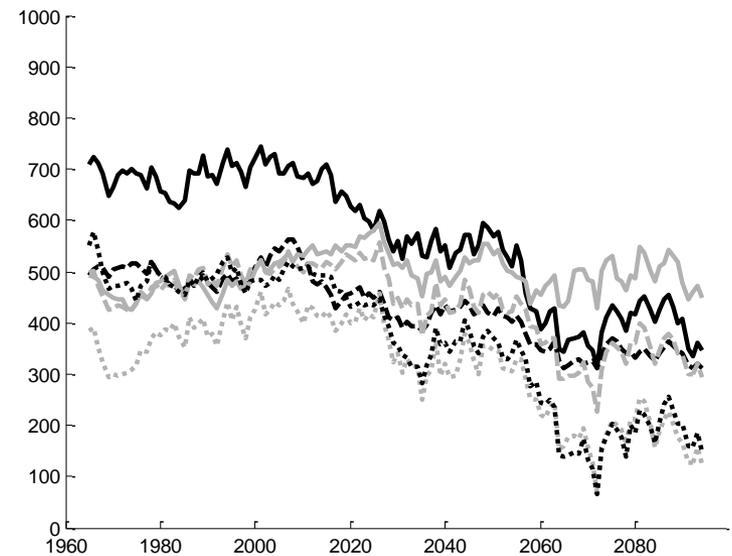
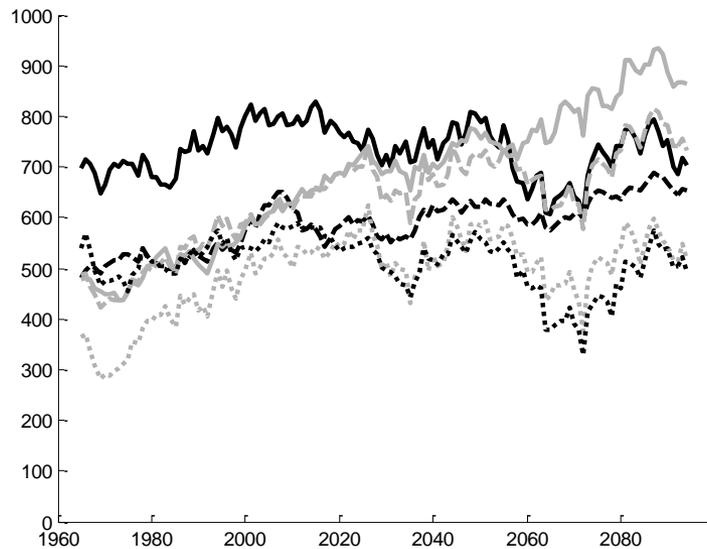
Simulation avec un accroissement du  $\text{CO}_2$  atmosphérique de 310 to 610 ppm



# Flux net de $CO_2$ (NEE $g_c m^{-2} year^{-1}$ ) Simulé sur la période 1960 à 2100

Avec une augmentation du  $CO_2$  atmosphérique de 310 to 610 ppm

$CO_2$  atmosphérique constant de 323 ppm (valeur 1960)



- Pinus p. (SO)
- - - Quercus ilex. (SE)
- Fagus s. (NE)
- ..... Quercus p.(N)
- - - Fagus s. (N)
- ..... Pinus s.(N)

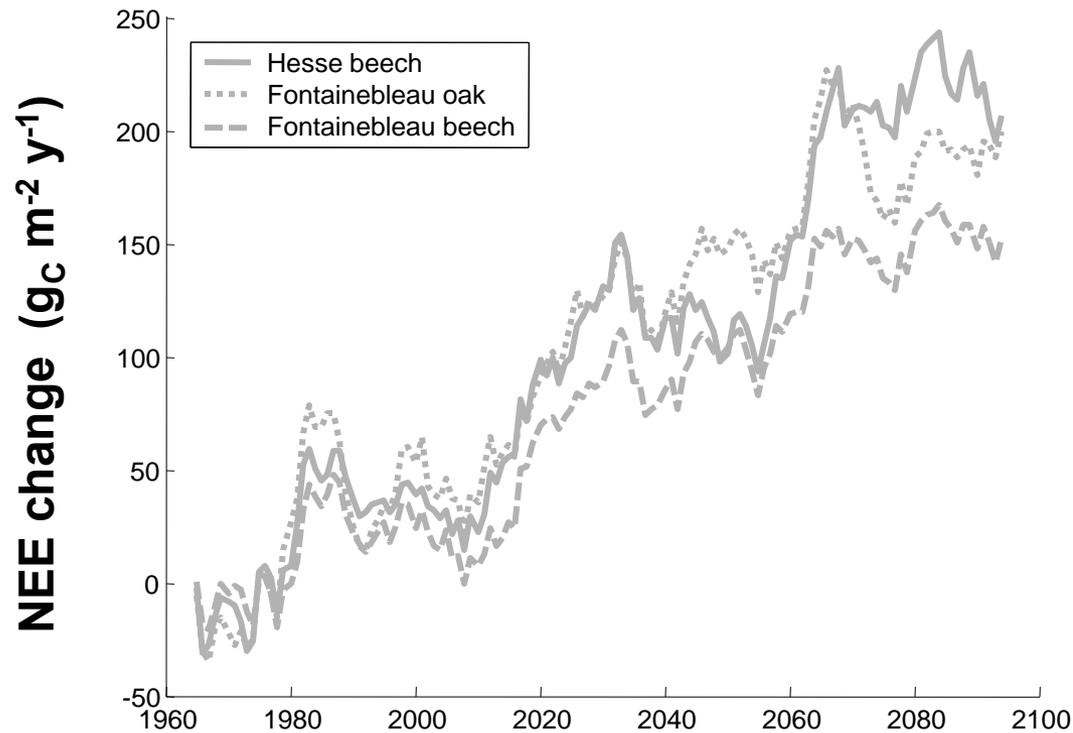
# Baisse du flux net de $CO_2$ (NEE $g_c m^{-2} an^{-1}$ ) due au stress hydrique

Avec une augmentation du  $CO_2$  atmosphérique  
de 310 à 610 ppm



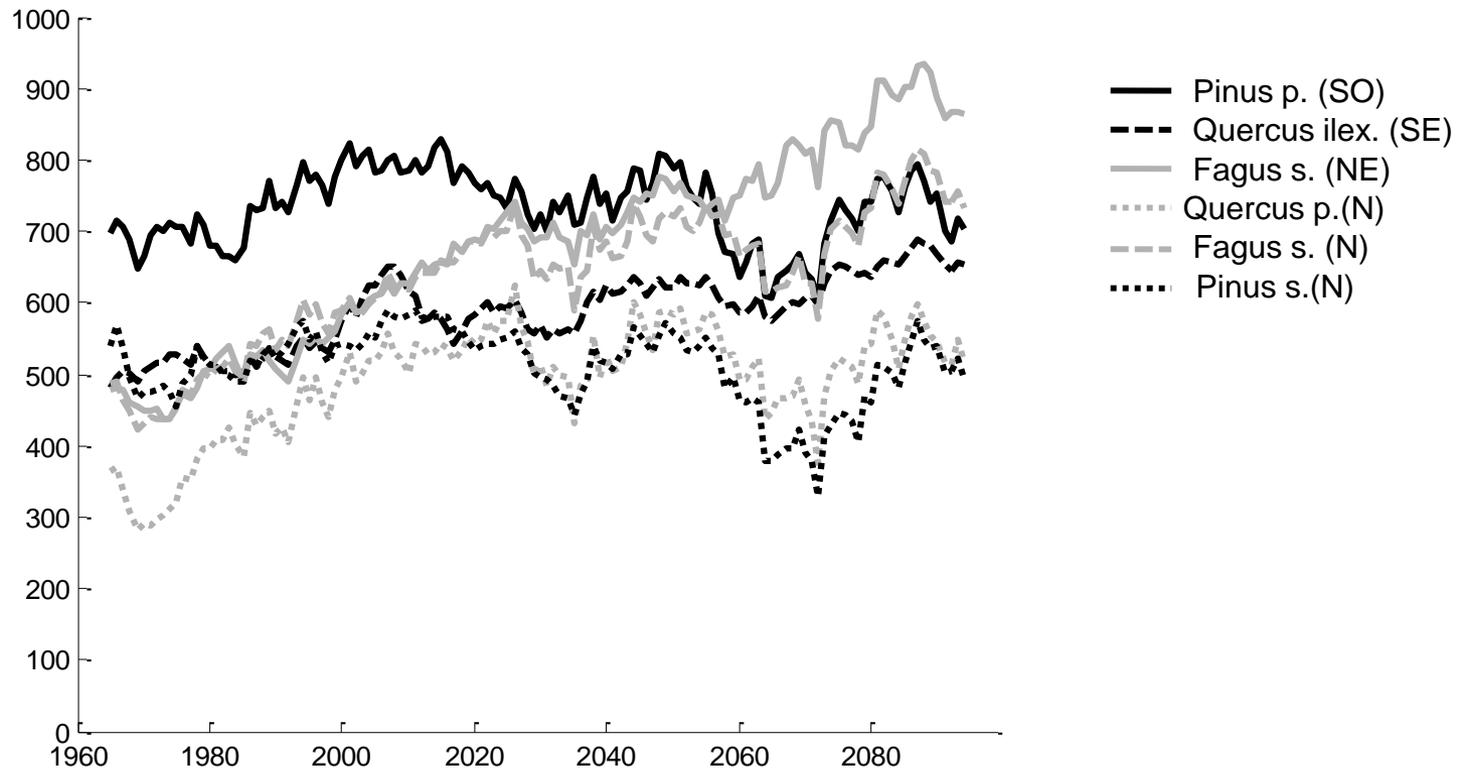
Effet beaucoup plus fort chez les espèces caducifoliées (sauf le hêtre en Lorraine en raison de la stabilité des précipitations) que chez les sempervirents probablement en raison des plus fortes surfaces foliaires combinées avec les réserves en eau du sol

# Effet positif de l'allongement de la saison de végétation (phénologie) sur la NEE pour les espèces caducifoliées : Hêtre & Chêne



# Rappel sur les effets simultanés de tous les facteurs : Flux net de $\text{CO}_2$ (NEE $\text{g}_c \text{ m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ ) simulé sur la période 1960 à 2100

Simulation avec un accroissement du  $\text{CO}_2$  atmosphérique de 310 à 610 ppm



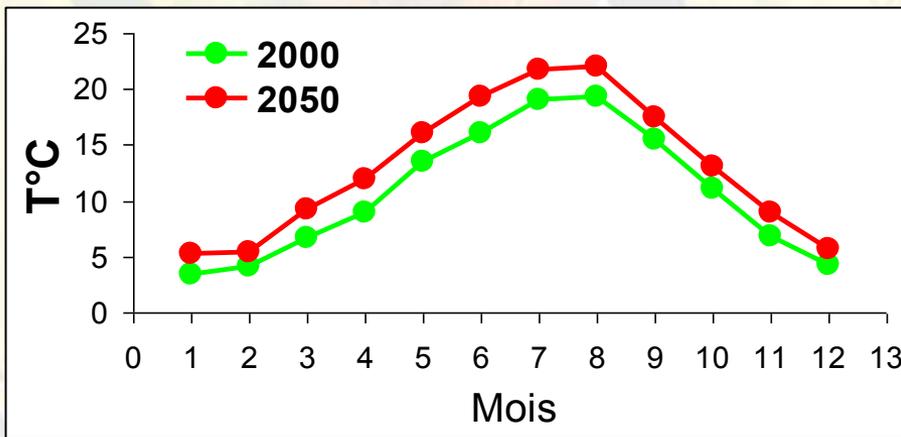
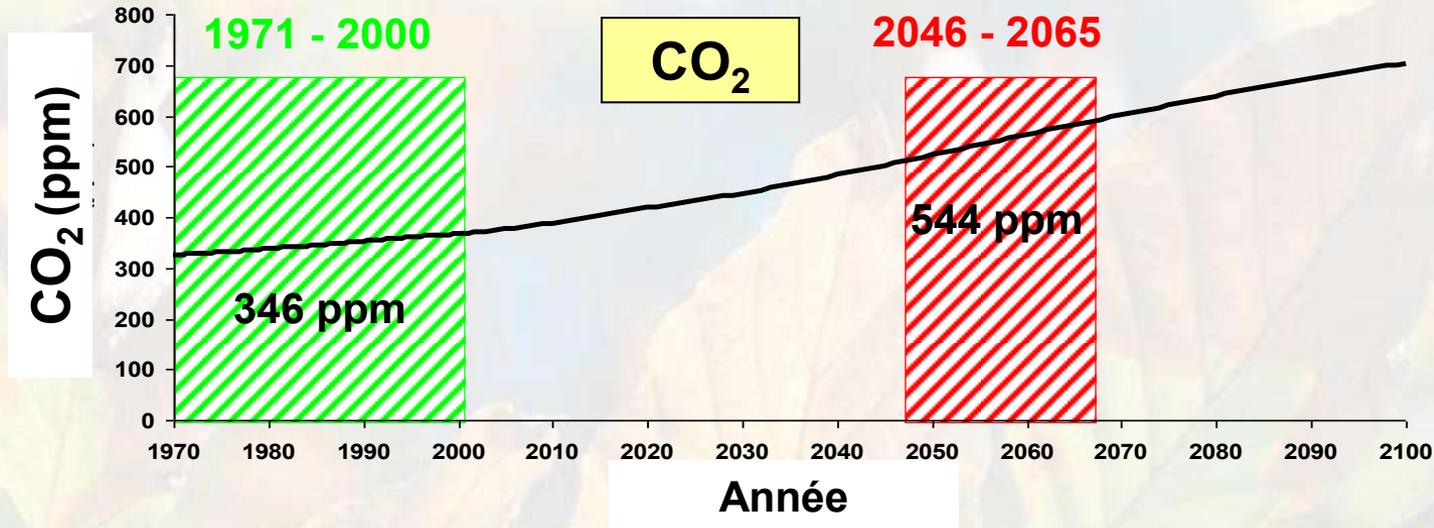
# **Les apports et les limites des modèles : Où en est-on ?**

Deux expériences de modélisation à titre d'exemple :

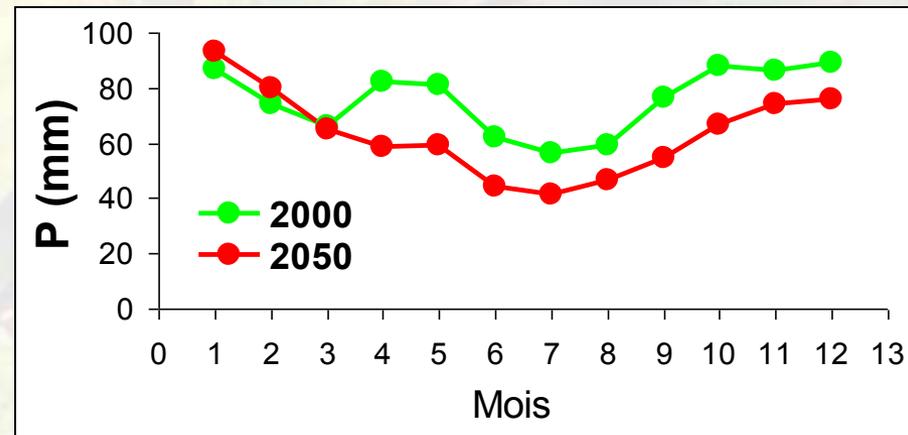
- 1 - 5 espèces & 4 climats : flux de CO<sub>2</sub>
- 2 - Le Hêtre à l'échelle de la France :  
croissance & « mortalité »

# Scenario Climatique A1B (Modèle Arpège)

France : ~ 9000 pixels (8Km x 8Km) (L. Terray, CERFACS, Météo France)



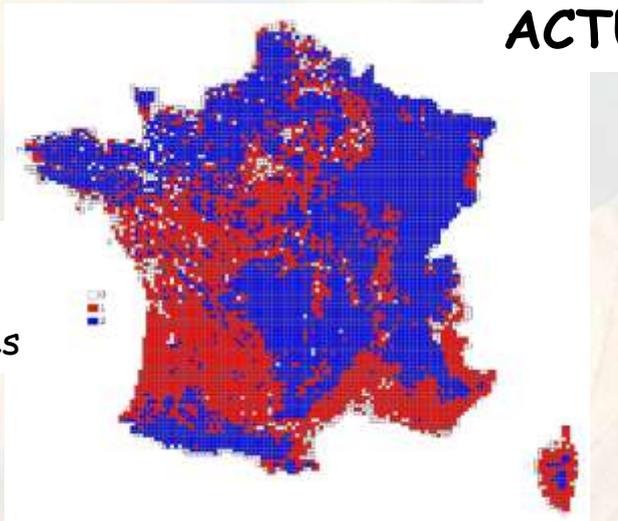
**2050 Température moyenne ↗ 2.85°C**



**2050 précipitations ↘ 200 mm/an**

## DISTRIBUTION DU HETRE : MESURES

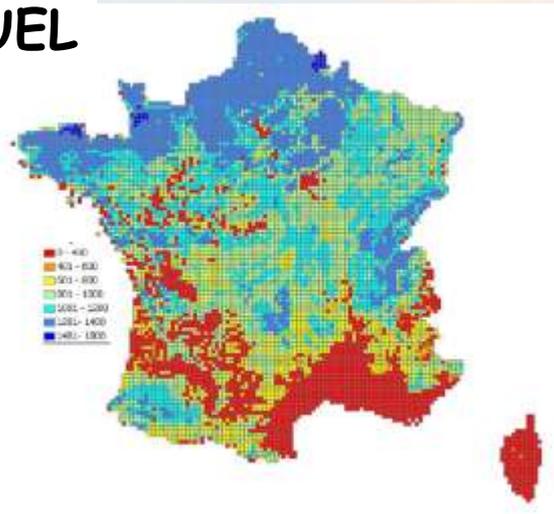
Données IFN



**ACTUEL**

## CROISSANCE DU HETRE : CASTANEA

**VolBois m3/ha/  
150 ans**



- 0 - 150
- 151 - 300
- 301 - 450
- 451 - 600
- 601 - 750
- 751 - 900
- 901 - 1050
- 1051 - 1200
- 1201 - 1350
- 1351 - 1700

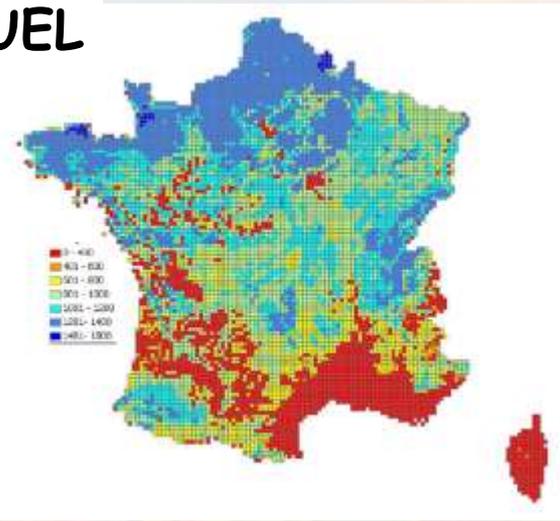
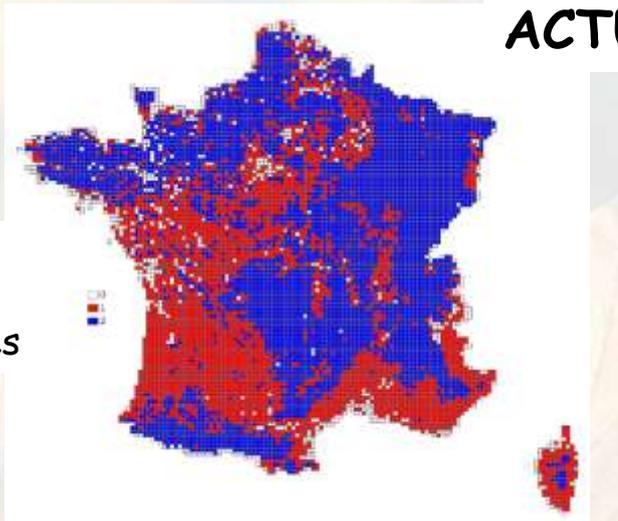
Bleu : Présence  
Rouge : Absence  
Blanc: Pas de données

# DISTRIBUTION DU HETRE : MESURES

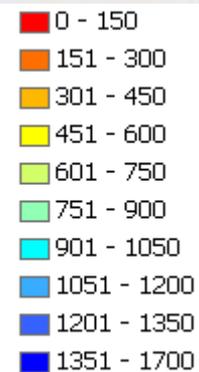
Données IFN

# CROISSANCE DU HETRE : CASTANEA

## ACTUEL



VolBois m3/ha/  
150 ans



Bleu : Présence  
Rouge : Absence  
Blanc: Pas de données

# BIOMOD ARPEGE A1B

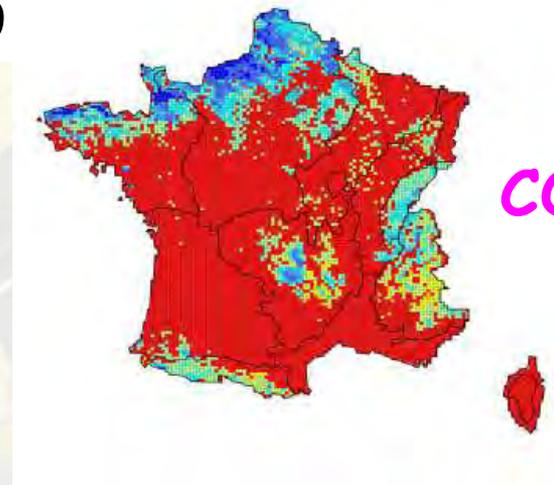
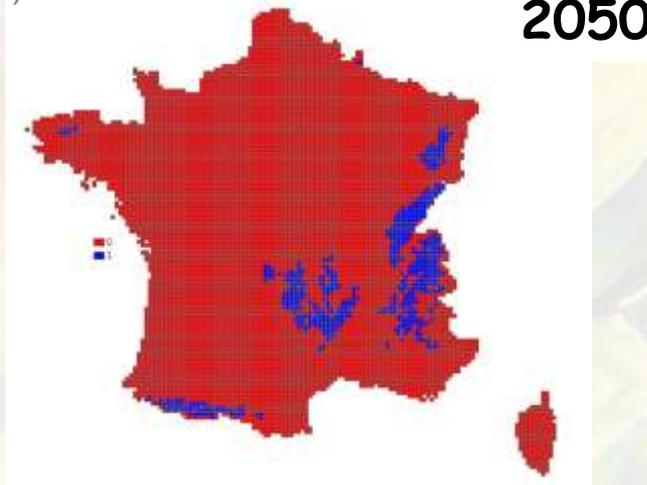
(Wilfried THUILLER)

## PROJECTION

### 2050

# CASTANEA ARPEGE A1B

## NICHE MODEL



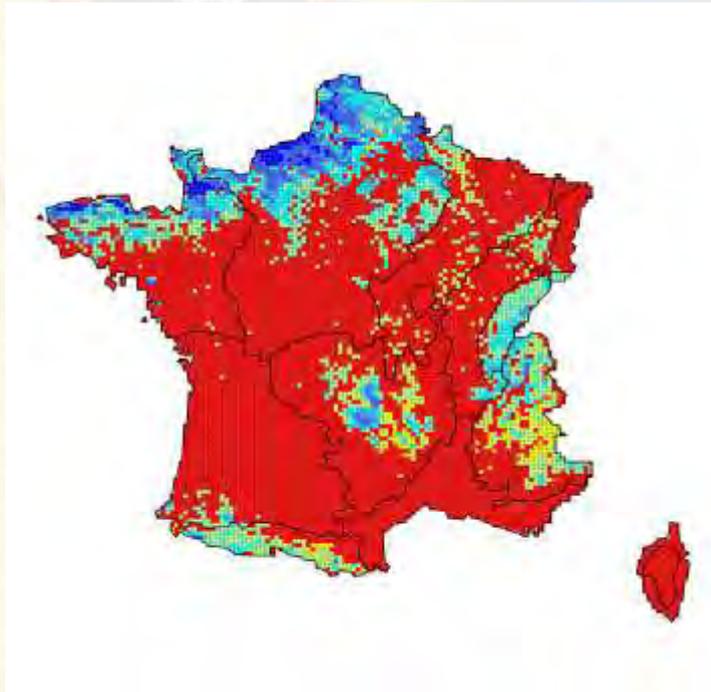
## PROCESS MODEL

CO<sub>2</sub> ACTUEL  
350 ppm

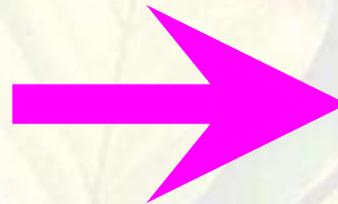
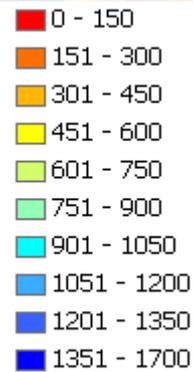
# PROJECTION 2050

## CASTANEA ARPEGE A1B PROCESS MODEL

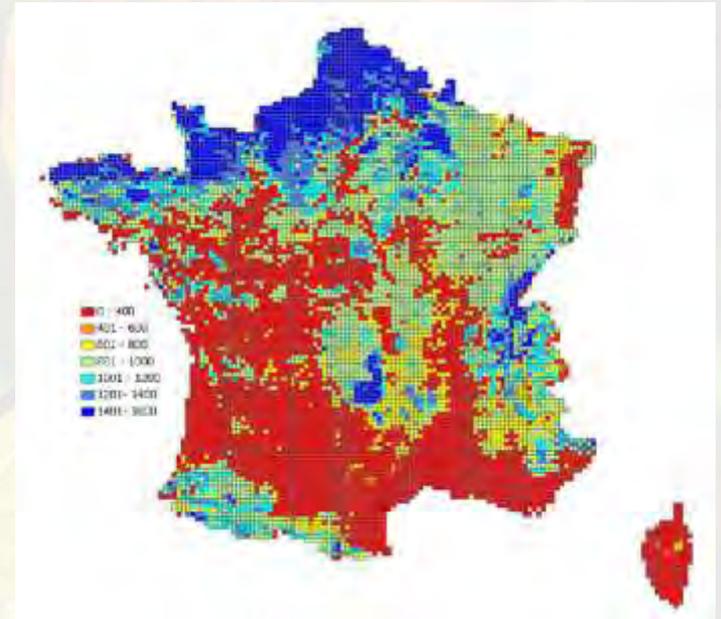
CO<sub>2</sub> ACTUEL  
350 ppm



VolBois m<sup>3</sup>/ha/  
150 ans



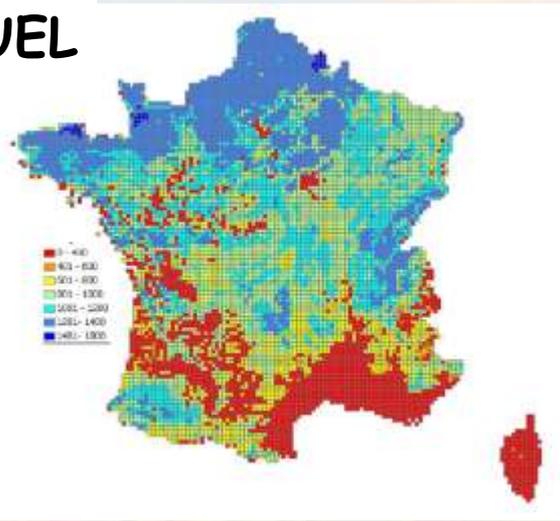
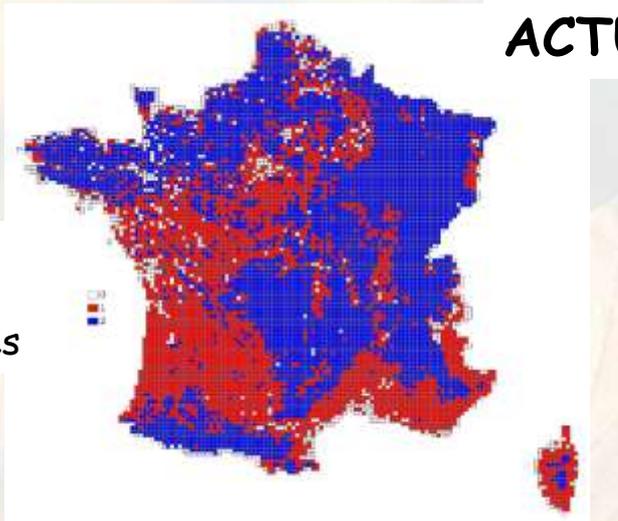
CO<sub>2</sub> FUTUR  
550 ppm



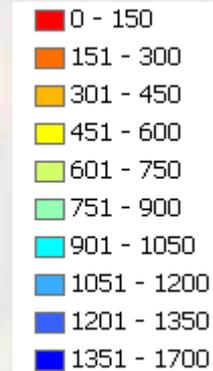
# DISTRIBUTION DU HETRE : MESURES

# CROISSANCE DU HETRE : CASTANEA

## ACTUEL



VolBois m3/ha/  
150 ans

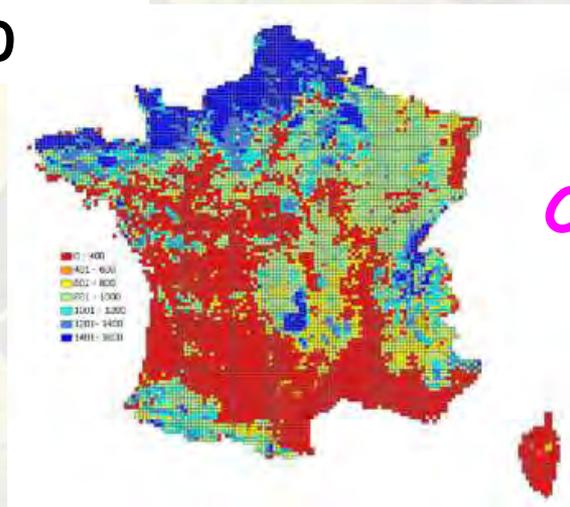
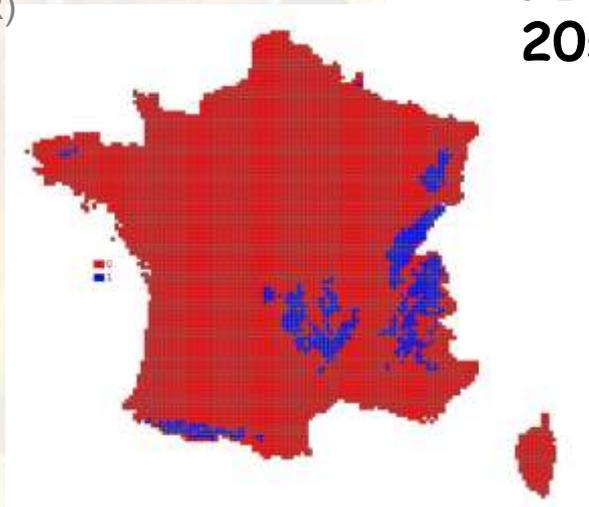


Bleu : Présence  
Rouge : Absence  
Blanc: Pas de données

BIOMOD ARPEGE A1B  
(Wilfried THUILLER)

NICHE MODEL

## PROJECTION 2050



CASTANEA ARPEGE A1B

PROCESS  
MODEL

CO<sub>2</sub> FUTUR  
550 ppm

# Conclusions provisoires

## Les changements climatiques : favorables ou défavorables pour la forêt ?



Largement favorables depuis le début de l'ère industrielle :

- le réchauffement accroît la saison de végétation et la croissance
- l'augmentation du  $CO_2$  atmosphérique accroît la photosynthèse et la croissance
- apport d'azote d'origine anthropique



Incertains mais moins favorables voire défavorables dans le futur ?

- si la stimulation de la croissance perdure, l'azote peut (va ?) devenir limitant
- augmentation des risques de sécheresse du fait de l'allongement de la saison de végétation
- l'augmentation du  $CO_2$  atmosphérique sera-t-elle suffisante pour compenser les pertes de croissance dues aux sécheresses ? Quid de la mortalité ?

# Conclusions provisoires

La forêt va-t-elle continuer à jouer un rôle important pour limiter l'augmentation du  $\text{CO}_2$  atmosphérique et donc l'effet de serre ?

Seulement si plusieurs conditions sont remplies simultanément :

- 1) les effets du  $\text{CO}_2$  et de l'allongement de la saison de végétation compensent les pertes de photosynthèse dues aux sécheresses
- 2) les dépérissements et mortalités dues aux sécheresses restent limités
- 3) les minéraux et en particulier l'azote ne deviennent pas limitant

# Merci

Observer et comprendre pour mieux prédire



**Cèdres, Les Barres**



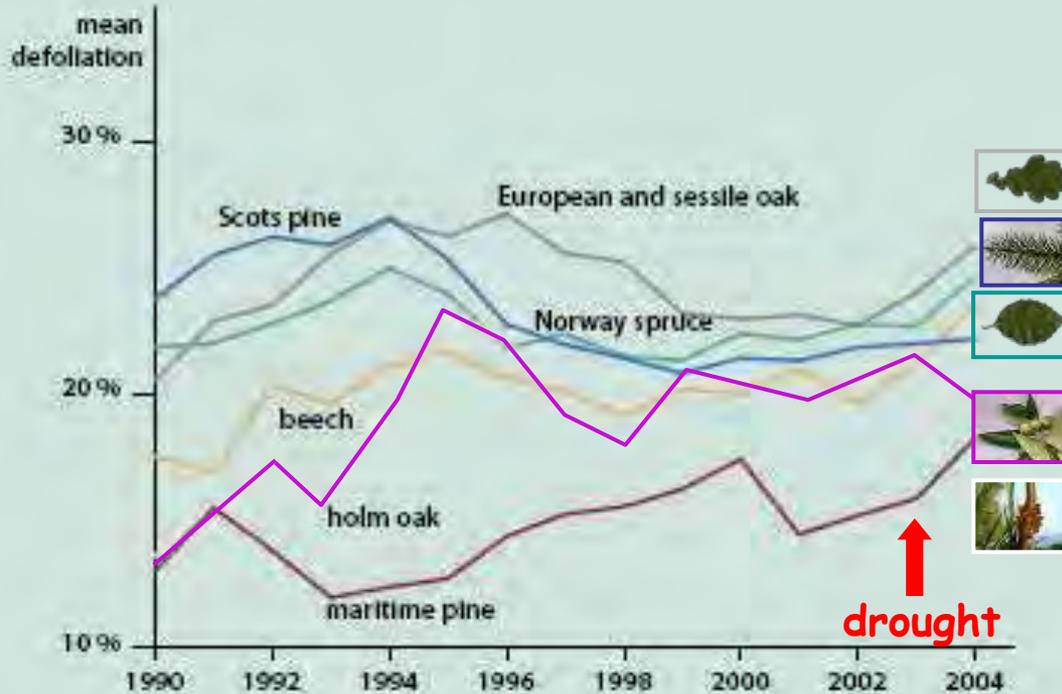
**Chênes, Vierzon, France**



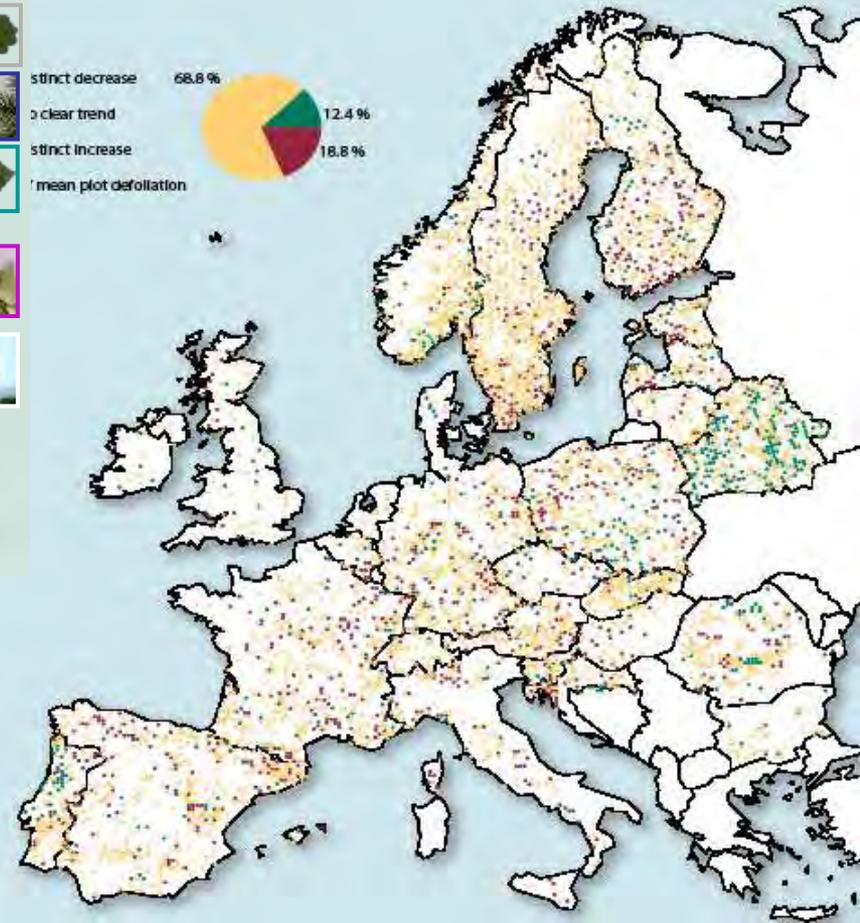
**Sapins, Ventoux, France**



# ICP Forests



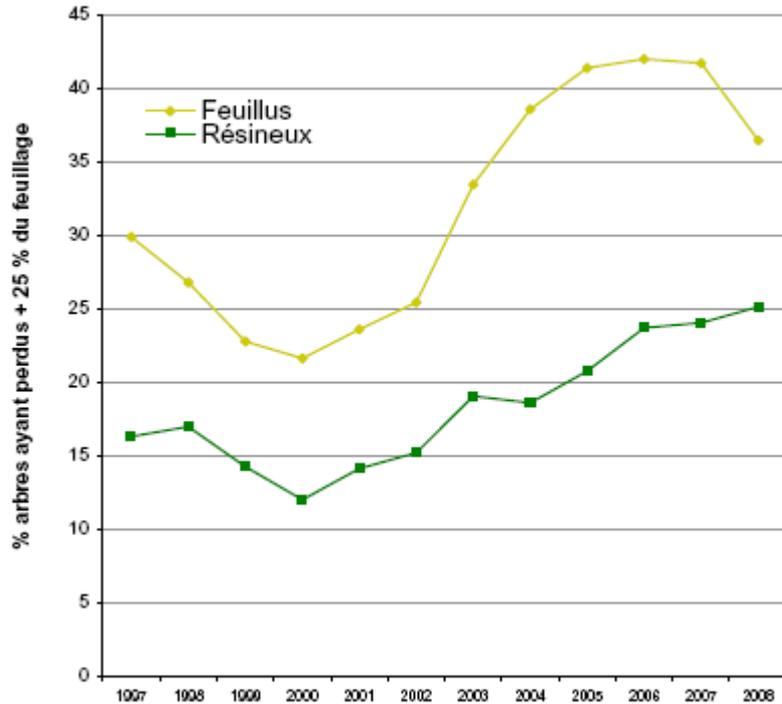
Evolution entre 1997 et 2004



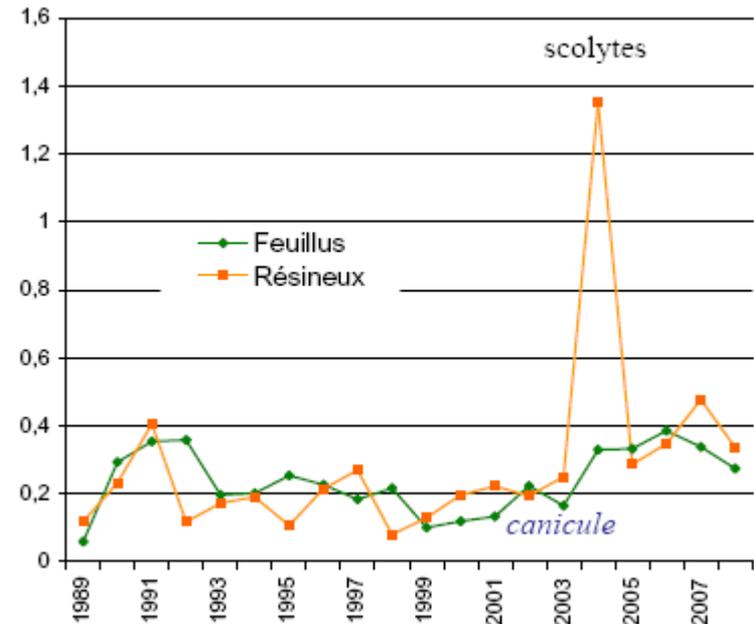
Evolution état des cimes, 12 pays UE

# Etat des cimes et mortalité

Pourcentage d'arbres avec pertes foliaires >25%



Pourcentage d'arbres morts

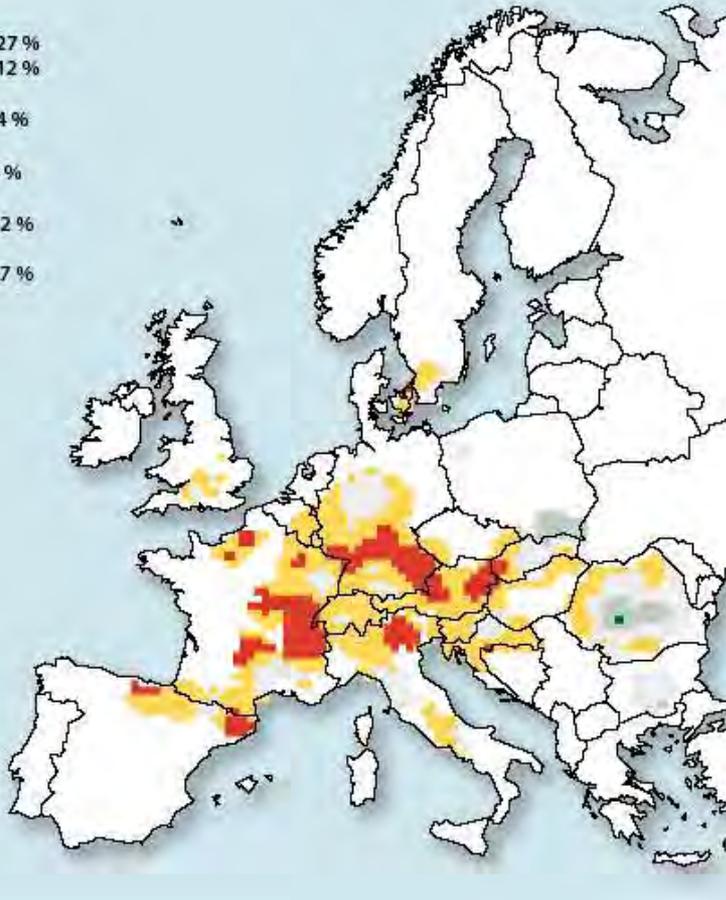




## Beech

Crown condition 2004  
vs. 1997-2003 564  
level 1 plots

Anomaly in summer  
precipitation 2003 vs.  
1969-90



Source : ICP Forest,  
Executive report 2005

