



# CARBO-FRANCE:

## Impact des

## extrêmes climatiques

## sur les flux de carbone

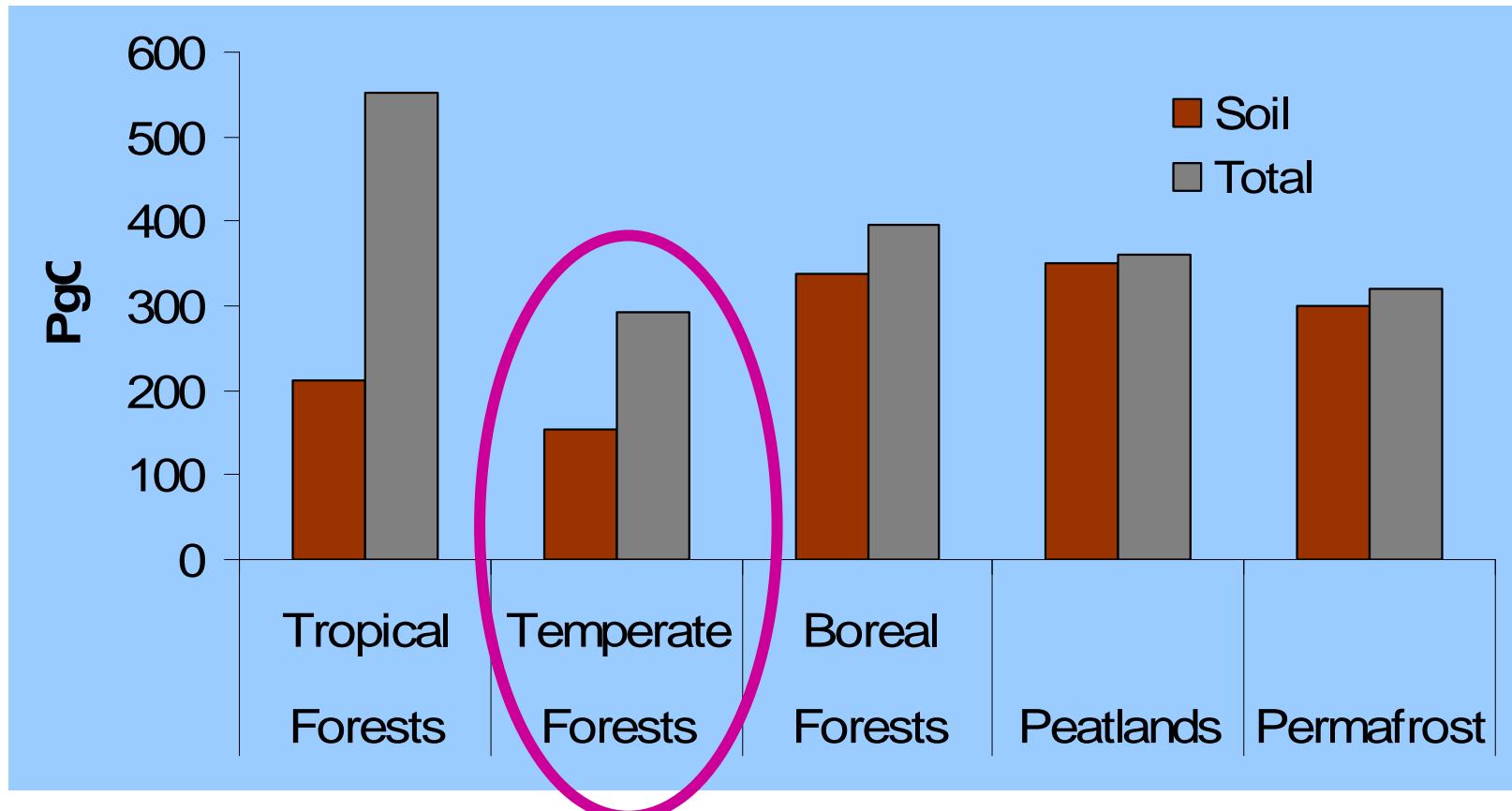
13 Partenaires différents

P. Peylin, A. Granier, S. Lafont, Yan Zhao, D. Lousteau, J. C. Calvet,  
N. Viovy, P. Ciais, et Responsables sites Ateliers....

# Contexte

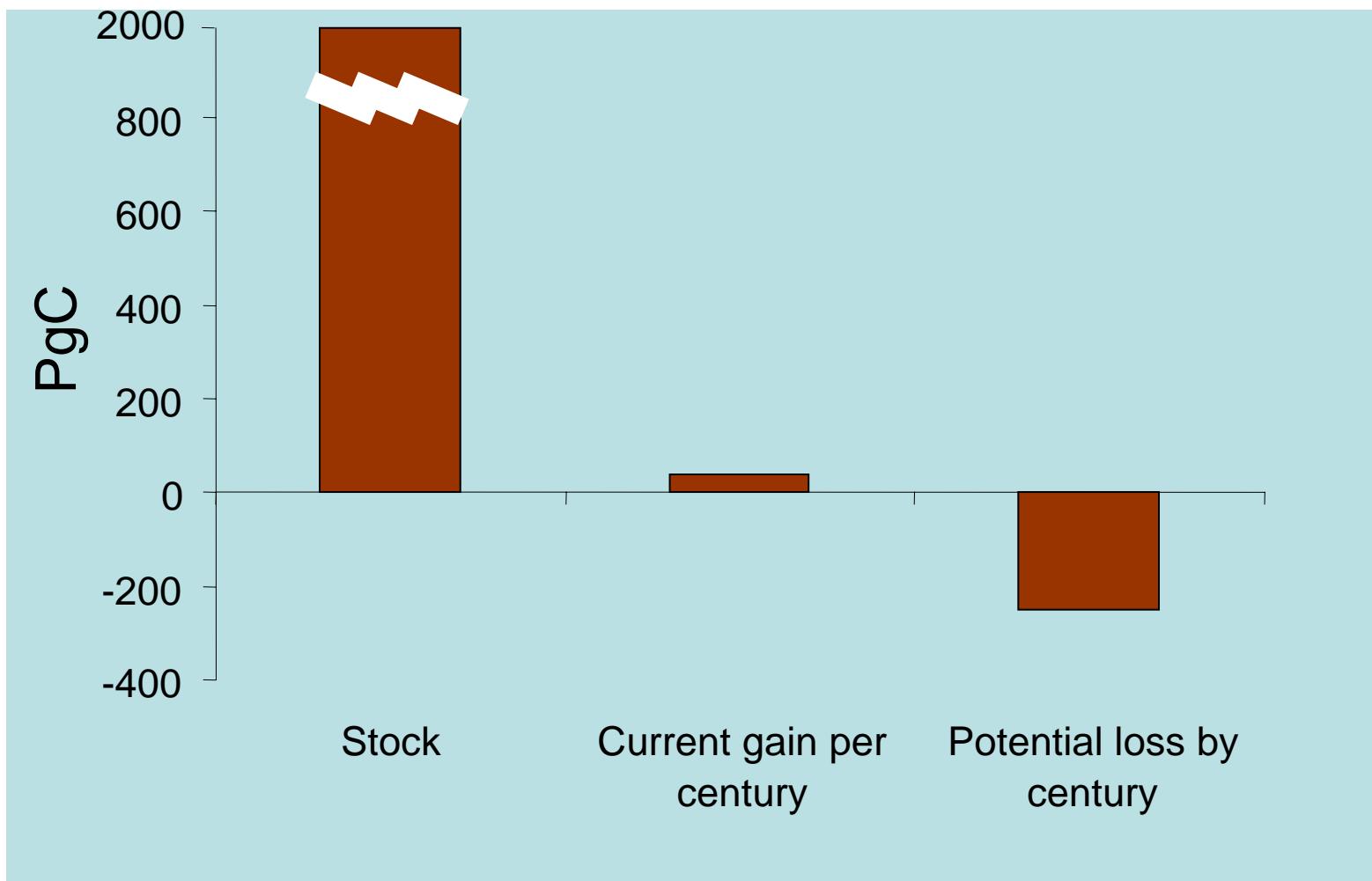
- Quel devenir pour les écosystèmes terrestres dans un contexte de changement climatique ?  
*Source ou puits de carbone ?*
- Dans le futur, les effets adverses des extrêmes climatiques peuvent annihiler les bénéfices d'un changement modéré du climat!
- La productivité des écosystèmes Européens / Français risque d'être durablement réduite si la fréquence des extrêmes augmente !
- Quelles sont les espèces qui risquent de s'adapter au mieux ?

# Global carbon stocks in ecosystems



after Gruber et al. 2004, Lal, 2005, Davidson & Janssens 2006

# Soil carbon stock is large & vulnerable

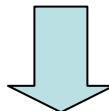


after Davidson & Janssens 2006

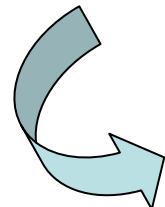
# CarboFrance : utilisation des sites ateliers Français et simulations numériques

## Etudes sur sites

Identifier & Quantifier  
l'impact  
des extrêmes climatiques



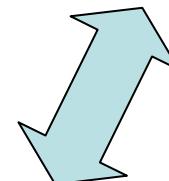
Améliorer  
les paramétrisations  
des modèles



## Comparaison /

« Validation » avec :

- Estimations inverses
- Mesures satellites (LAI)



## Simulations numériques

(ORCHIDEE & ISBA-Ags)

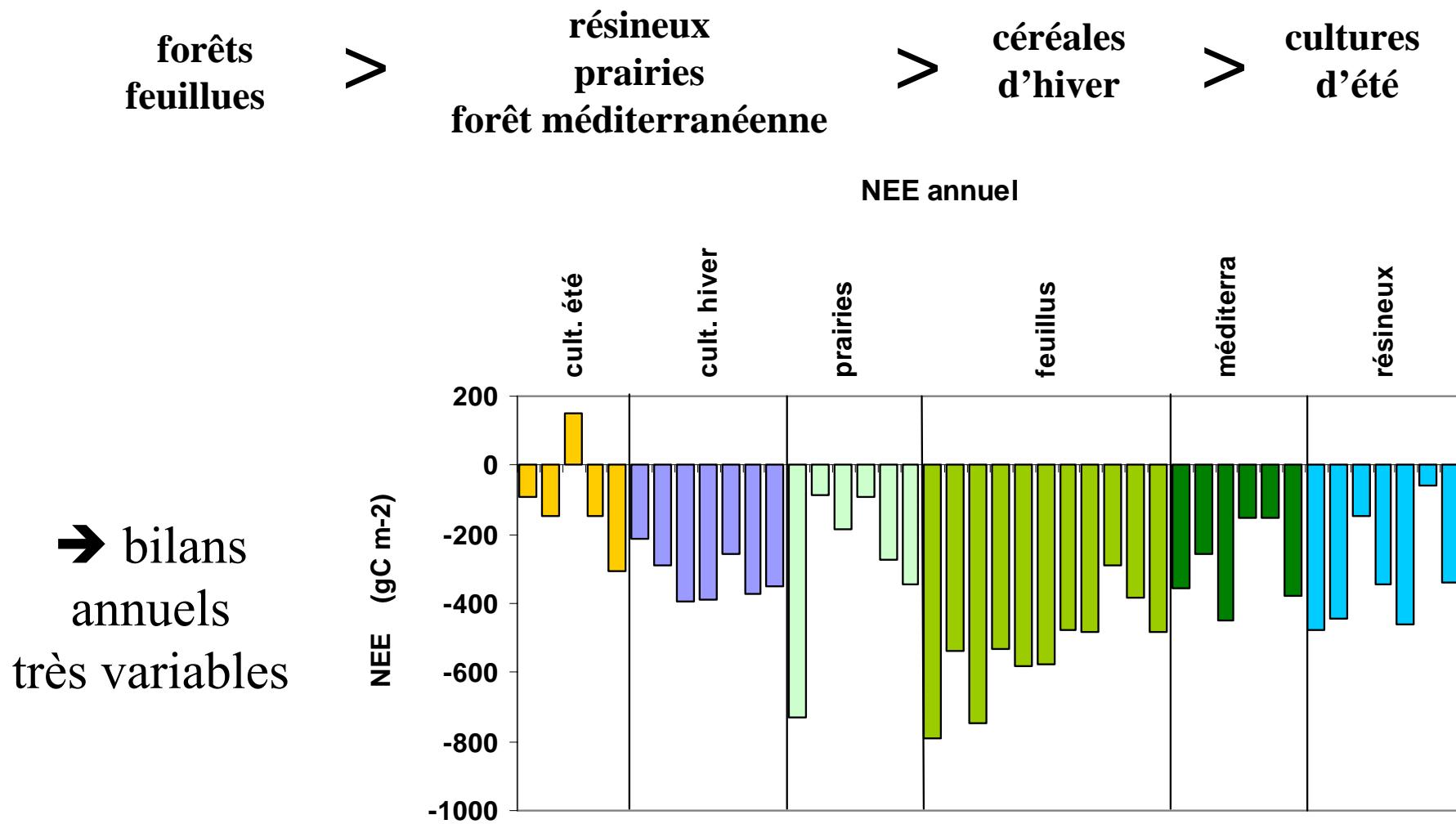
- Extrapolation spatiale
- Contexte Européen & temporel

# Analyse des 14 sites ateliers de CarboFrance

<b>Site</b>	<b>gestionnaire</b>	<b>type de végétation</b>	<b>année début</b>	<b>manipulations écosystèmes</b>
<b>Hesse-1</b>	INRA	hêtre	1996	
<b>Hesse-2</b>	INRA	mélange feuillus	2002	sécheresse/ irrigation
<b>Barbeau</b>	CNRS	chêne	2005	
<b>Le Bray</b>	INRA	pin maritime	1996	irrigation/fertilisation
<b>Bilos</b>	INRA	pin maritime jeune	2000	recru de la végétation après coupe rase
<b>Puéchabon</b>	CNRS	chêne vert	1996	sécheresse
<b>Laqueuille</b>	INRA	prairie permanente pâturée	2001	scénario A2 (2050) + 3°C, 2 x[CO <sub>2</sub> ] - 20 % Pi été
<b>Lusignan</b>	INRA	prairie non pâturée	2005	prairie suivie de culture / prairie permanente
<b>Toulouse-1</b>	CESBIO	blé	2005	fertilisation minérale
<b>Toulouse-2</b>	CESBIO	maïs	2005	irrigation/fertilisation.
<b>Bordeaux-1</b>	INRA	maïs	2007	irrigation
<b>Bordeaux-2</b>	INRA	vigne	2007	
<b>Grignon</b>	INRA	culture	2004	maïs-blé-escourgeon, fertilisation, ozone
<b>Avignon</b>	INRA	culture	2004	irrigation, fertilisation

# NEE des sites français

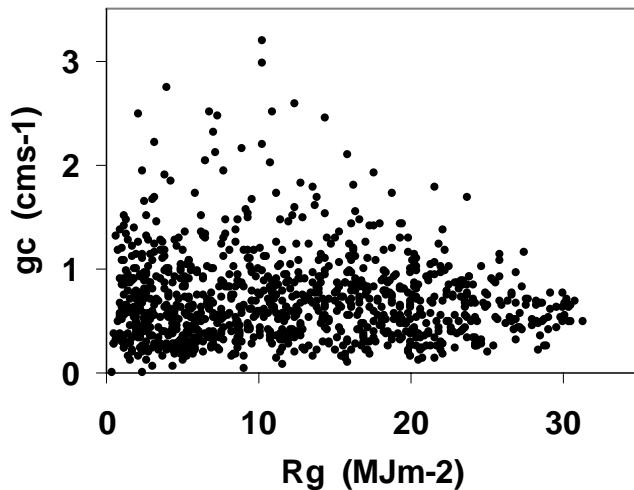
bilan annuels (mais attention NEE  $\neq$  NBP !) :



# Conductance du couvert et contraintes climatiques

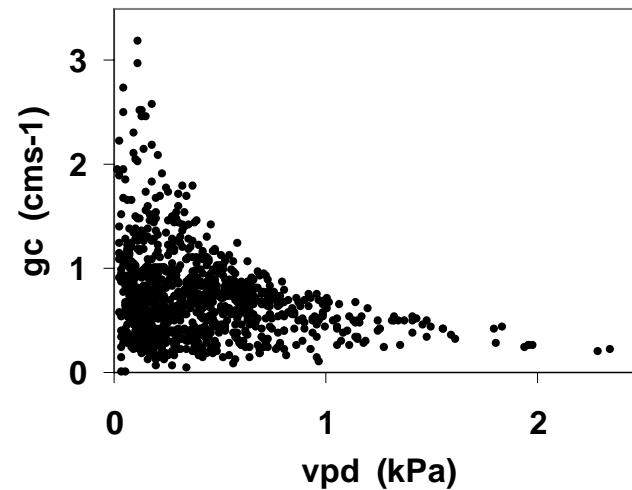
gc = fonction Rayonnement

gc(Rg) chêne Barbeau

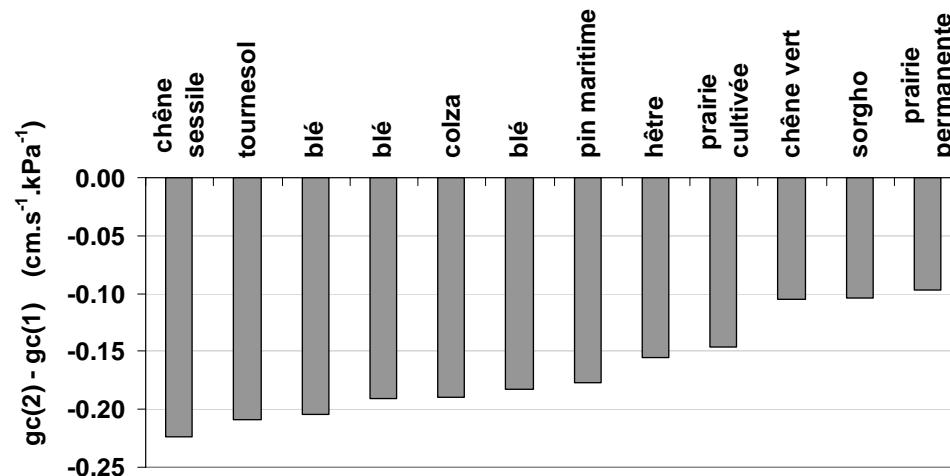


gc = fonction VPD

gc(vpd) chêne Barbeau



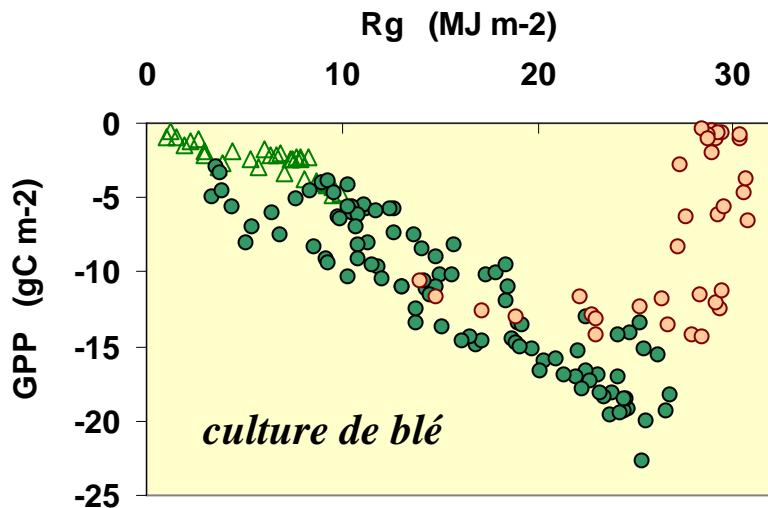
→ sensibilité  
différentielle  
de gc au VPD



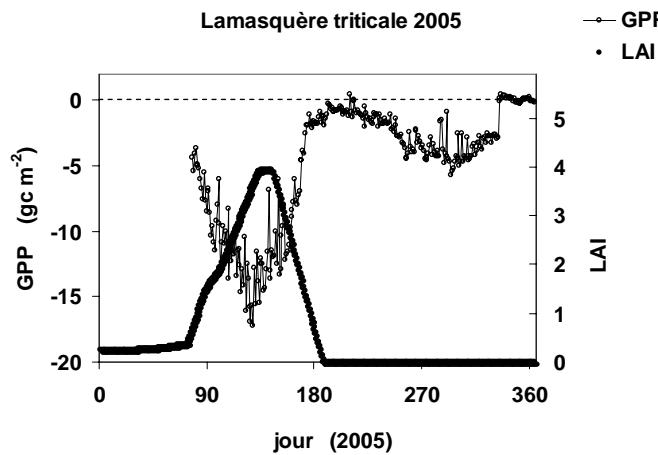
# Photosynthèse annuelle (GPP) des sites français

GPP = fonction Rayonnement

△ GPP début     ● GPP saison     ○ GPP fin



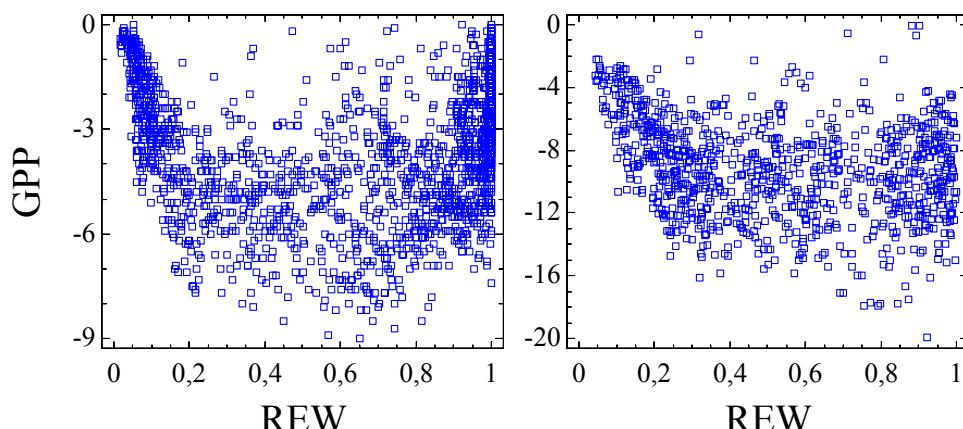
adventices après la récolte !



GPP = fonction Réserve relative Eau Sol

Puéchabon

Hesse



→ Corrélation  
avec Rg & LAI

	Rg	LAI
Auradé colza	green	green
Auradé blé	yellow	yellow
Auradé tournesol	yellow	yellow
Lamasquère triticale	yellow	green
Lamasquère maïs	green	green
Lamasquère blé	green	green
Lusignan	red	red
Laqueuille	red	red
Avignon blé	green	green
Avignon pois	green	green
Avignon blé	green	green
Avignon sorgho	yellow	yellow
Hesse	yellow	yellow
Puéchabon	yellow	red
Barbeau	green	yellow
Le Bray	yellow	red

légende

	score
green	$r^2 > 0.8$
yellow	$r^2 > 0.6$
red	$r^2 < 0.6$

score

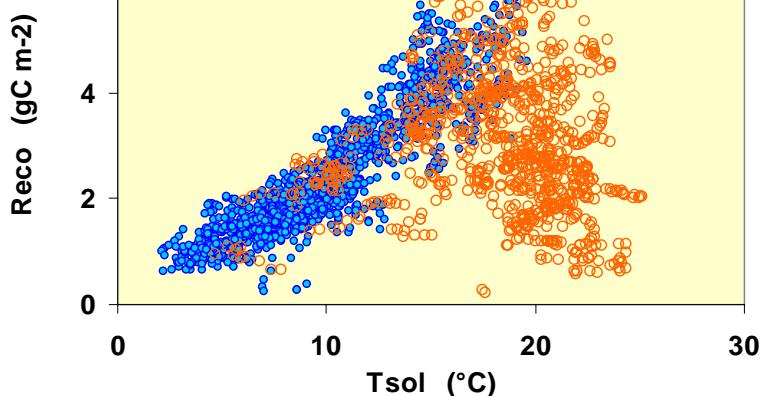
21 19

# Respiration annuelle (Reco) des sites français

contrôle par la température du sol

Puéchabon :  
Reco f(Tsol)

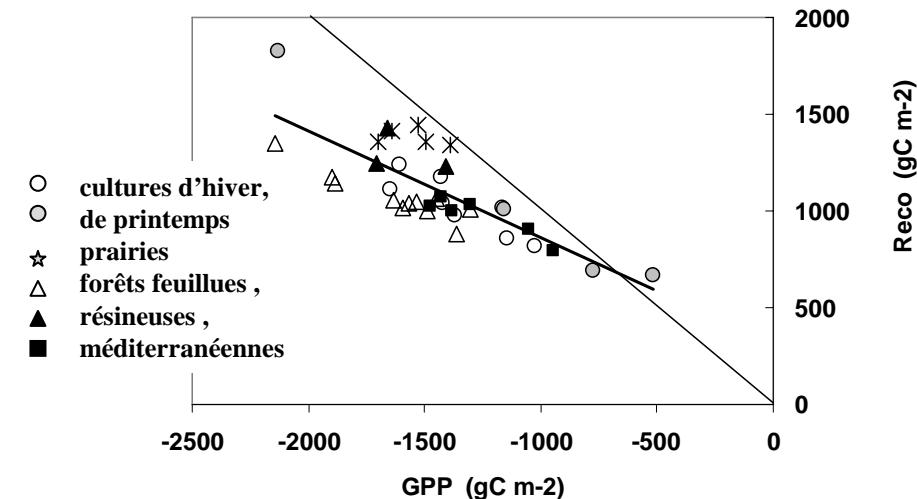
- Reco\_humide
- Reco\_sec



→ corrélation avec  
Tsol et GPP

contrôle par la GPP

$$\text{Reco} = -0.717\text{GPP} + 81.6 \quad r^2 = 0.80$$

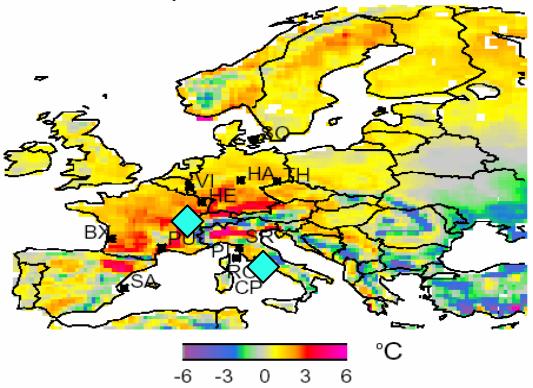


Auradé colza  
Auradé blé  
Auradé tournesol  
Lamasquère triticale  
Lamasquère maïs  
Lamasquère blé  
Lusignan  
Avignon blé  
Avignon pois  
Avignon blé  
Avignon sorgho  
Hesse  
Puéchabon  
Barbeau  
Le Bray



légende		
score	$r^2 > 0.8$	2
	$r^2 > 0.6$	1
	$r^2 < 0.6$	0

JUL-SEP Temperature 2003 vs 1998-2002

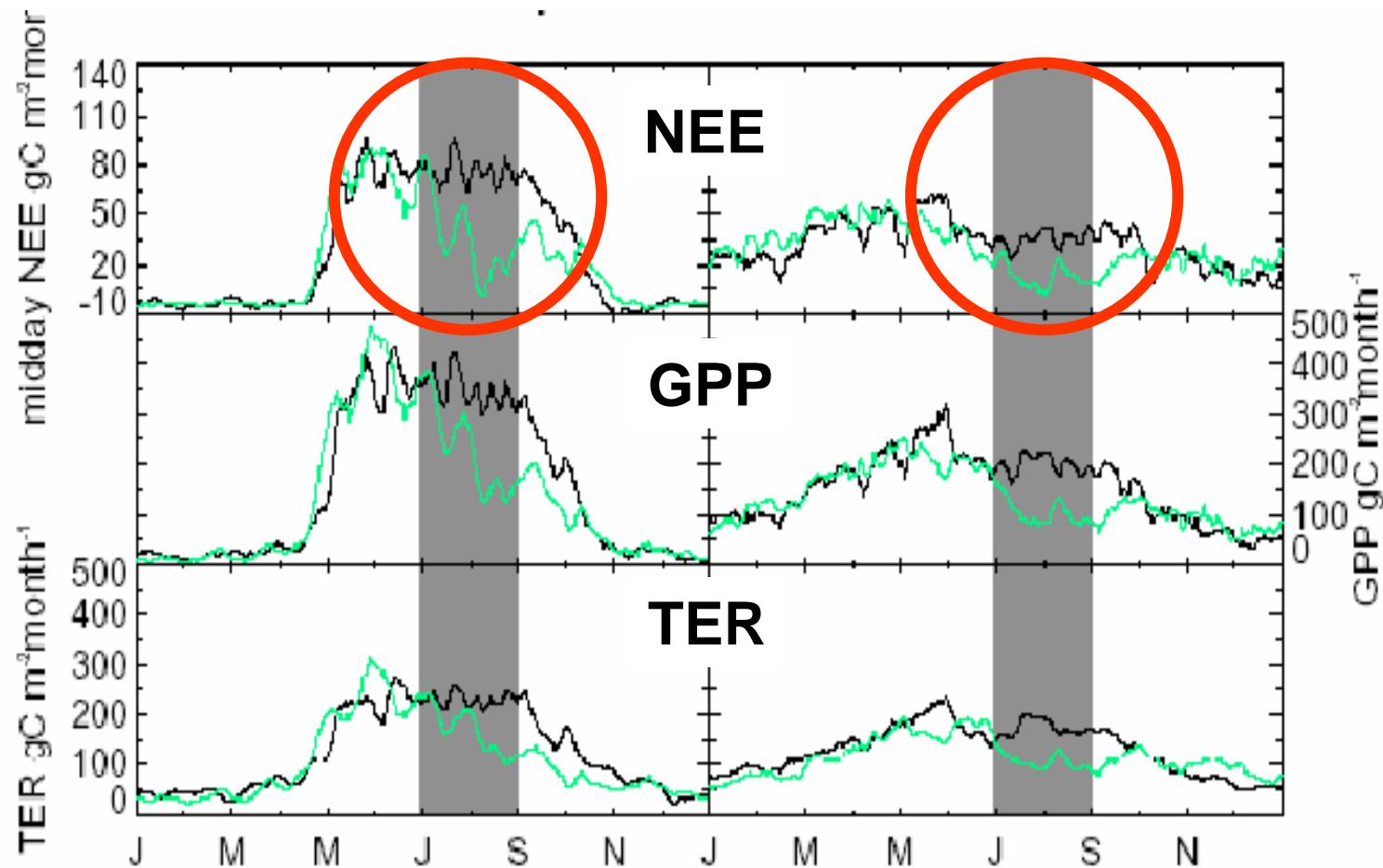


# Mesures de flux (forêts): l'année 2003 vs. 2002

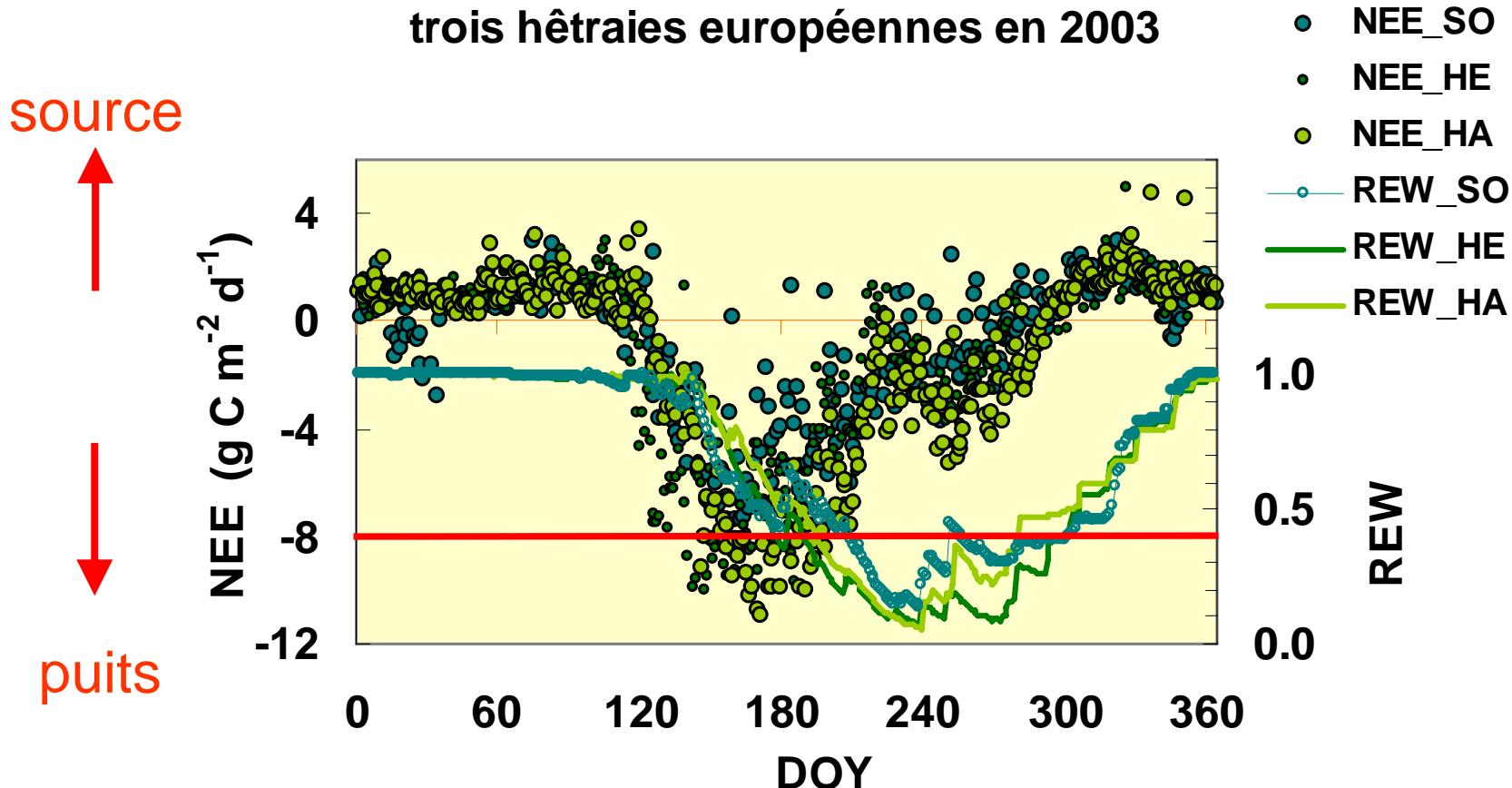
Hesse  
Forêt de hêtre, Nancy

San Rossore  
Forêt de pin, Italie

2002  
2003

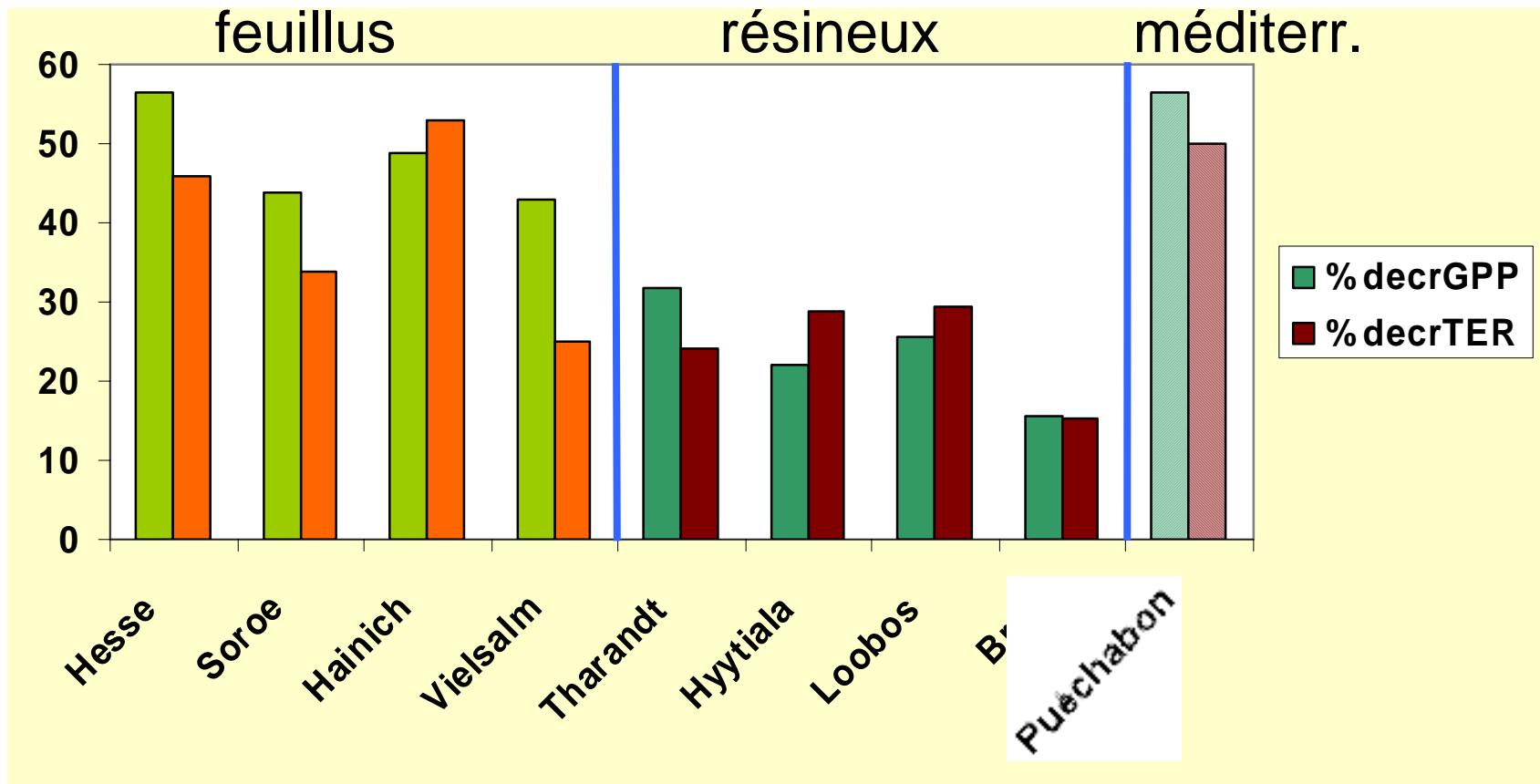


# Fort contrôle du bilan net de carbone par l'eau du sol (REW): le seuil critique de 0.4

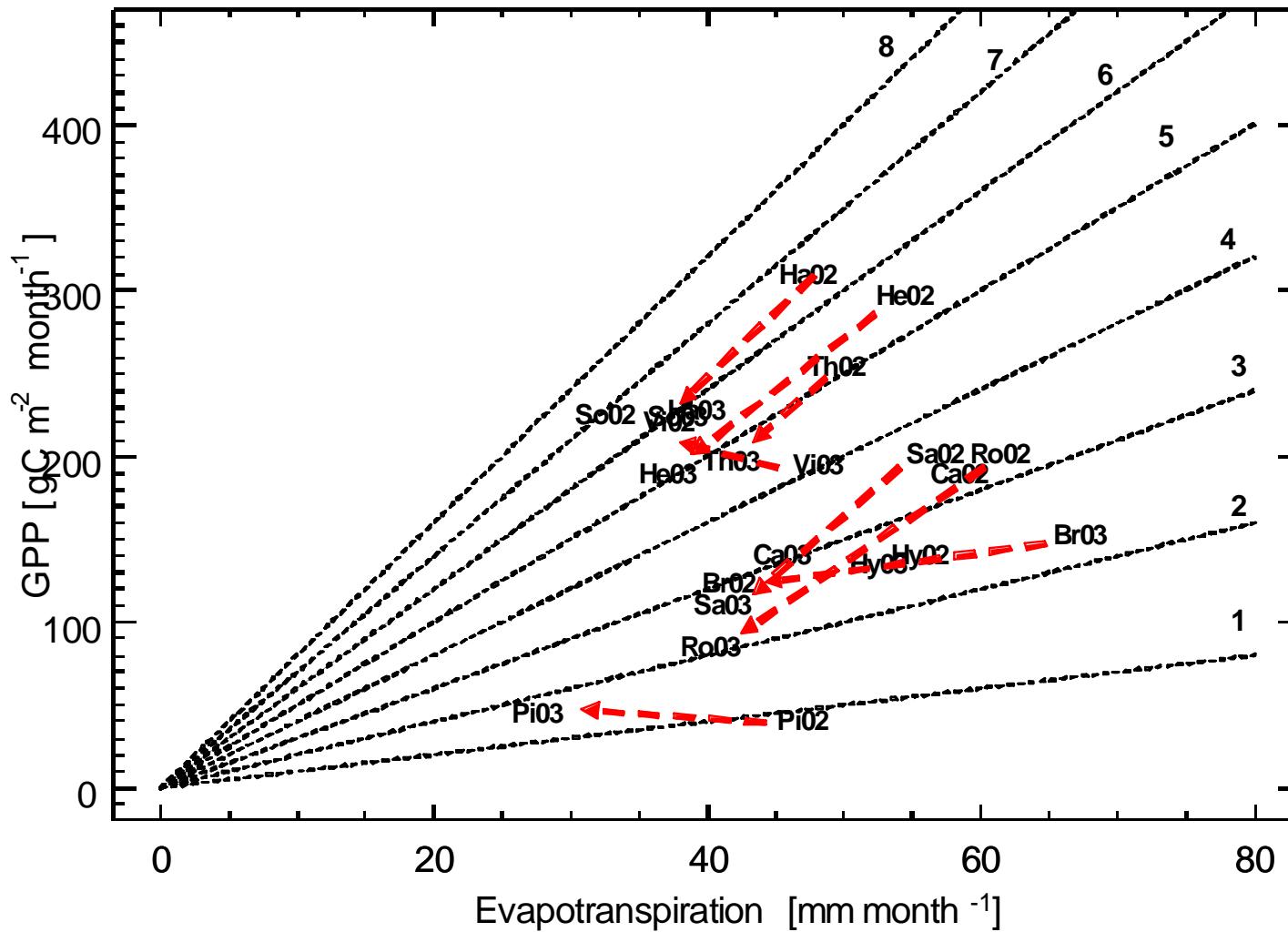


# Effet différentiel de la contrainte hydrique sur la diminution du bilan net de carbone

Hypothèse : REW diminue de 1 à 0.1

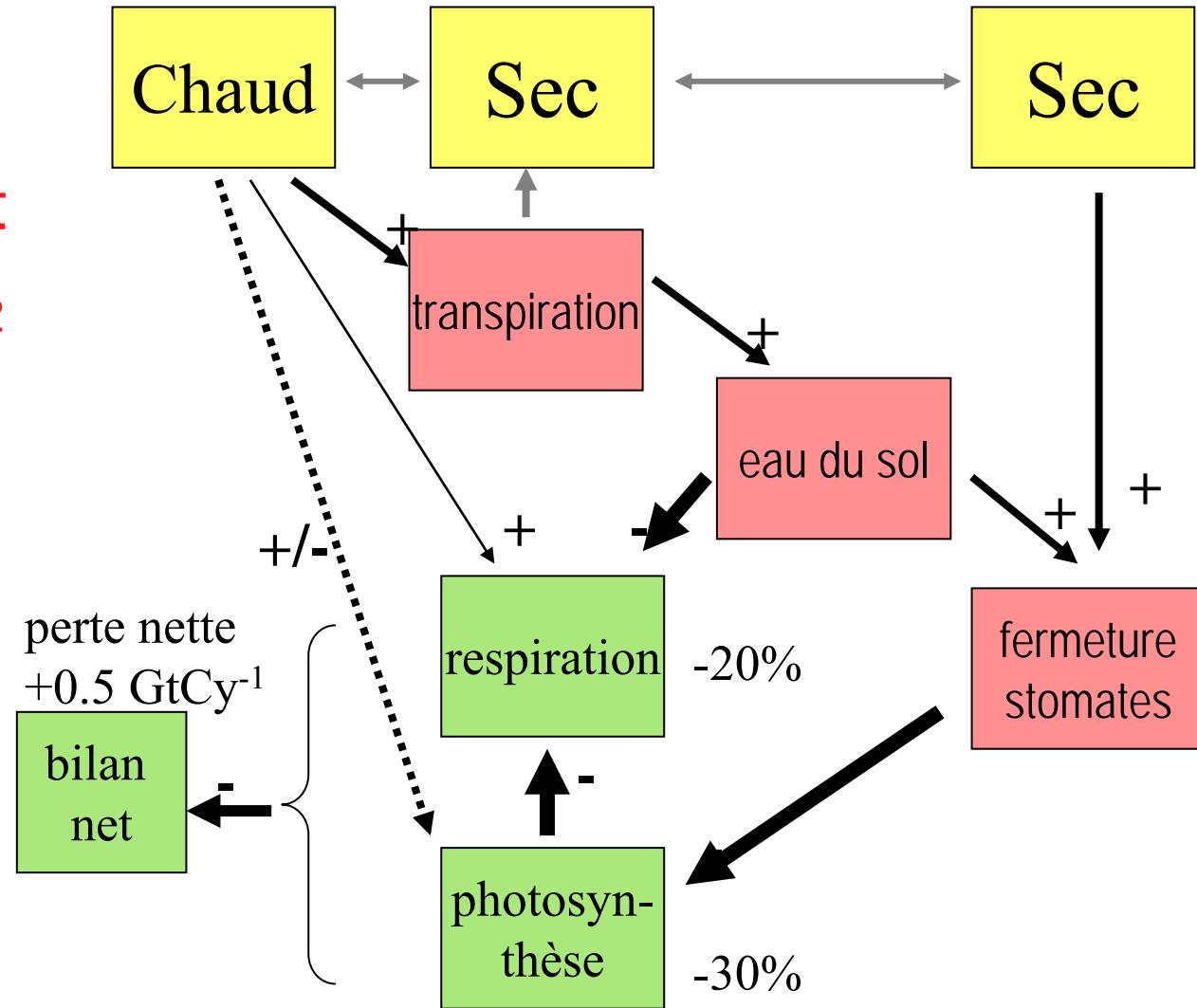


# Surprise : peu de variations de l'efficience d'utilisation de l'eau (gains de CO<sub>2</sub> par photosynthèse divisé par pertes en eau)

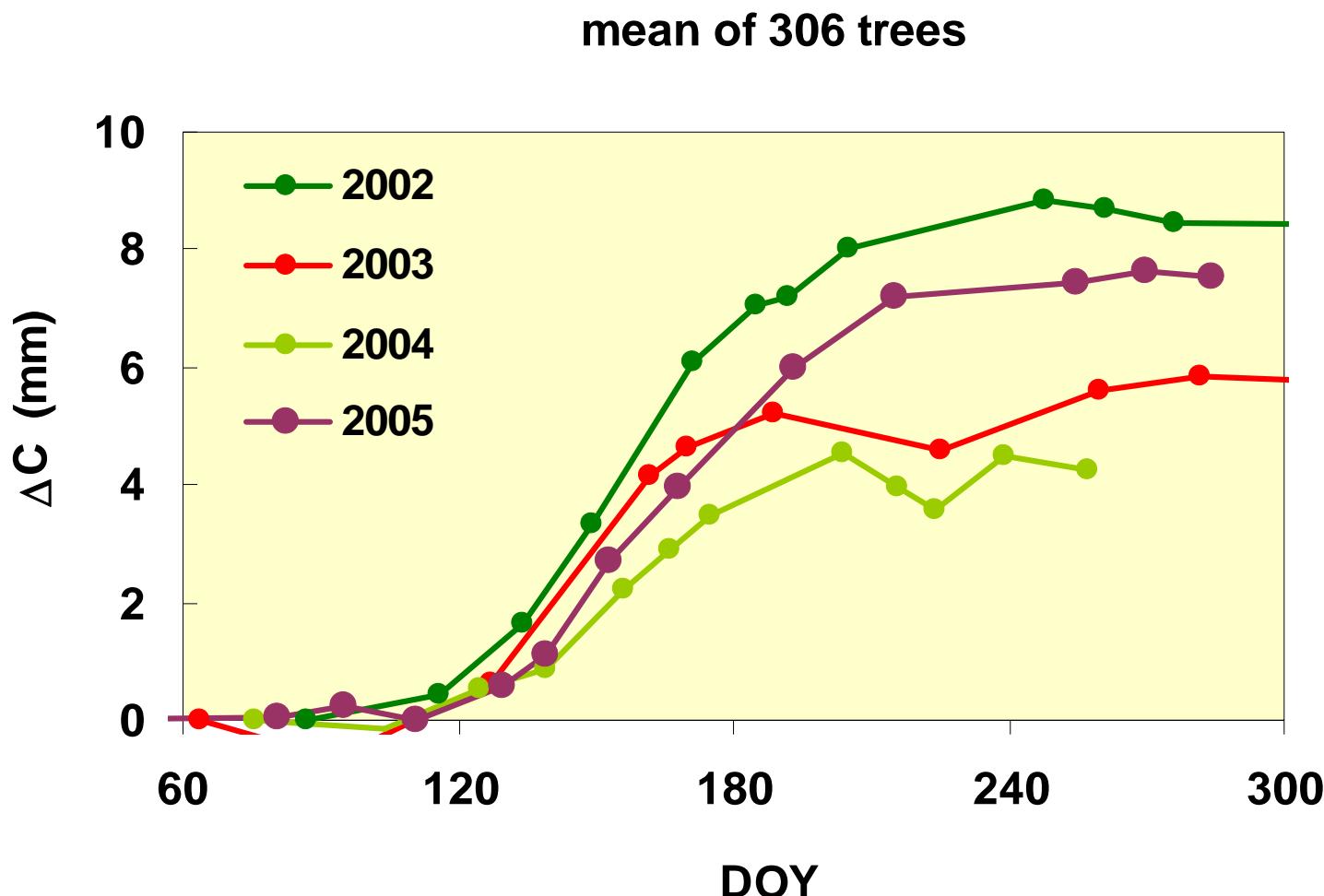


# Baisse de photosynthèse avec baisse de respiration

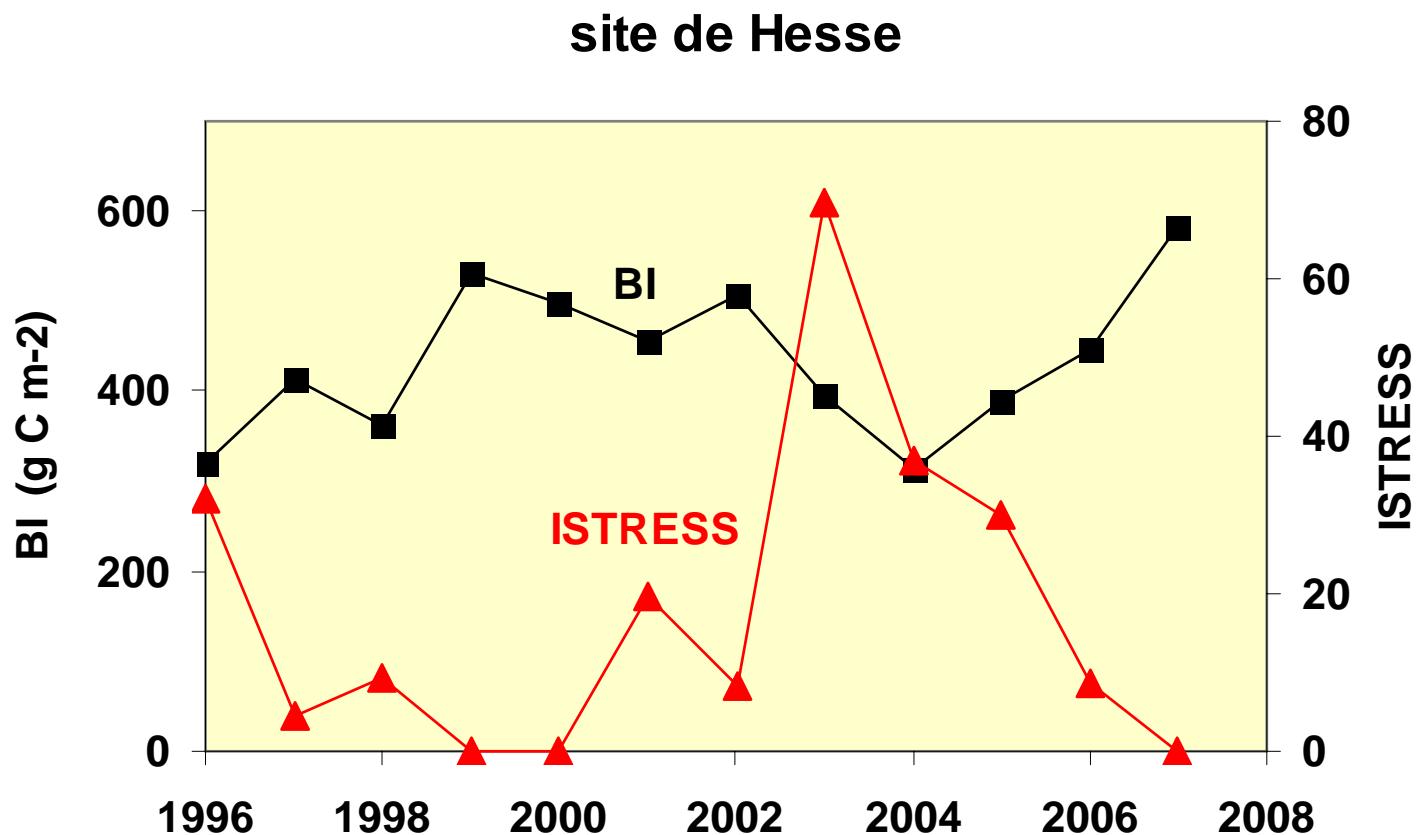
→ Le bilan net est une perte de CO<sub>2</sub> par les écosystèmes



# Effet différé de la sécheresse 2003 sur l'accroissement de la circonférence des troncs (jeune forêt de Hêtre : Hesse, Nancy)

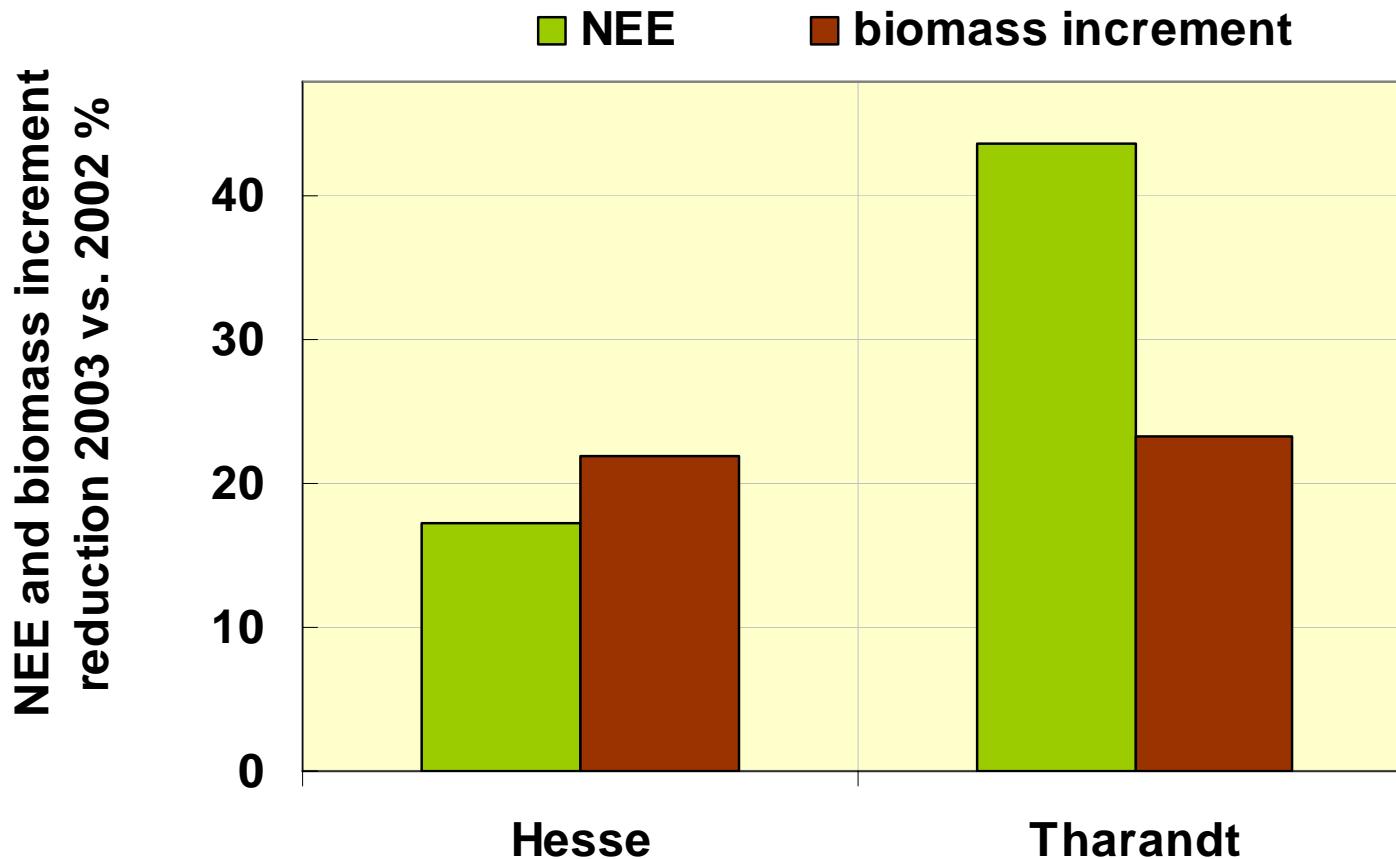


# Variations interannuelles de l'accroissement en biomasse d'un peuplement de hêtres et de l'intensité de la contrainte hydrique



# Mêmes conséquences des sécheresses sur la réduction de croissance entre espèces ?

→ Réduction en 2003 de NEE et de l'accroissement en biomasse à Hesse (hêtre) et Tharandt (épicéa) par rapport à 2002



# Défoliation par Limanthria à Puéchabon (Montpellier) en 2004

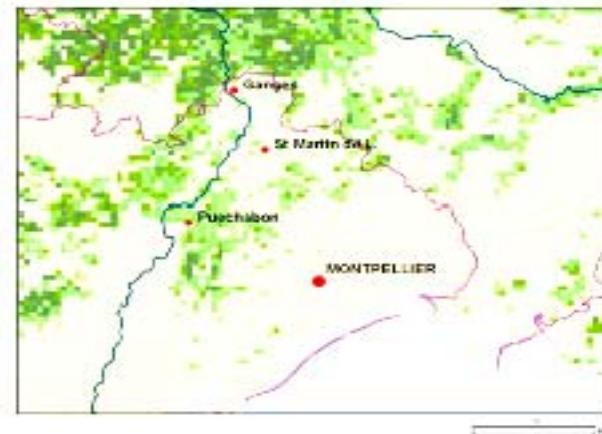
baisse LAI



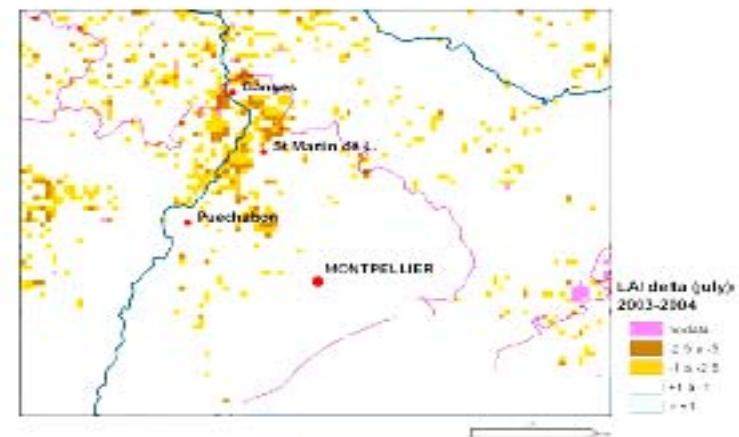
2003



2004



LAI  
difference



# **Utilisation de modèles globaux de la biosphère continentale**

## **ORCHIDEE et ISBA-A-gs**

- Simulations aux sites ateliers
  - Simulations spatialisées (forcage SAFRAN)
- 
- ➔ Résultats préliminaires  
(simulations en cours d'analyse)

# Modèle ORCHIDEE

*Atmosphere*

Climate data  
« off line »

LMDZ-GCM  
«on-line»

precipitation, temperature,  
radiation, ...

Sensible and latent heat flux, carbon flux,  
albedo, roughness, surface and soil temperature

*BIOSPHERE*



**STOMATE**

**Carbon balance**  
Nutrient balances

daily

phenology, roughness,  
albedo

**SECHIBA**

**Energy balance**  
**Water balance**  
**Photosynthesis**

½ h

Stomatal conductance,  
temperature and water  
profile of the soil

LAI,  
Vegetation type,  
biomass

NPP, biomass,  
litter, ...

**Vegetation structure**

**prescribed**

**Dynamic („LPJ“)**

yearly

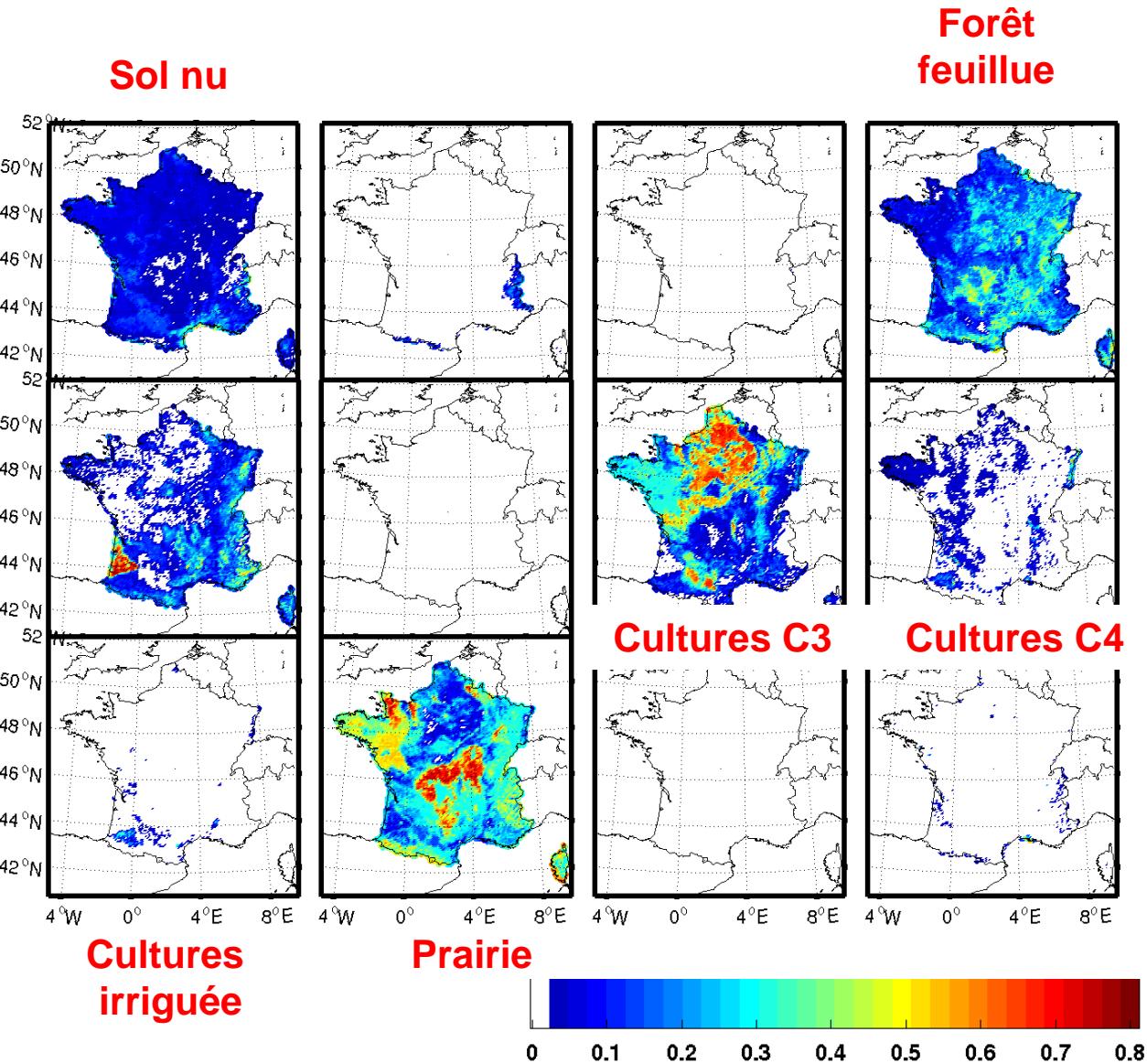
**anthropogenic  
Effects**

# Forçages pour les simulations

## ➤ ECOCLIMAP 2

- Type de végétation
- Res. 1km sur l'Europe
- Variations interannuelles
- Cultures été/hiver

Forêt  
conifère

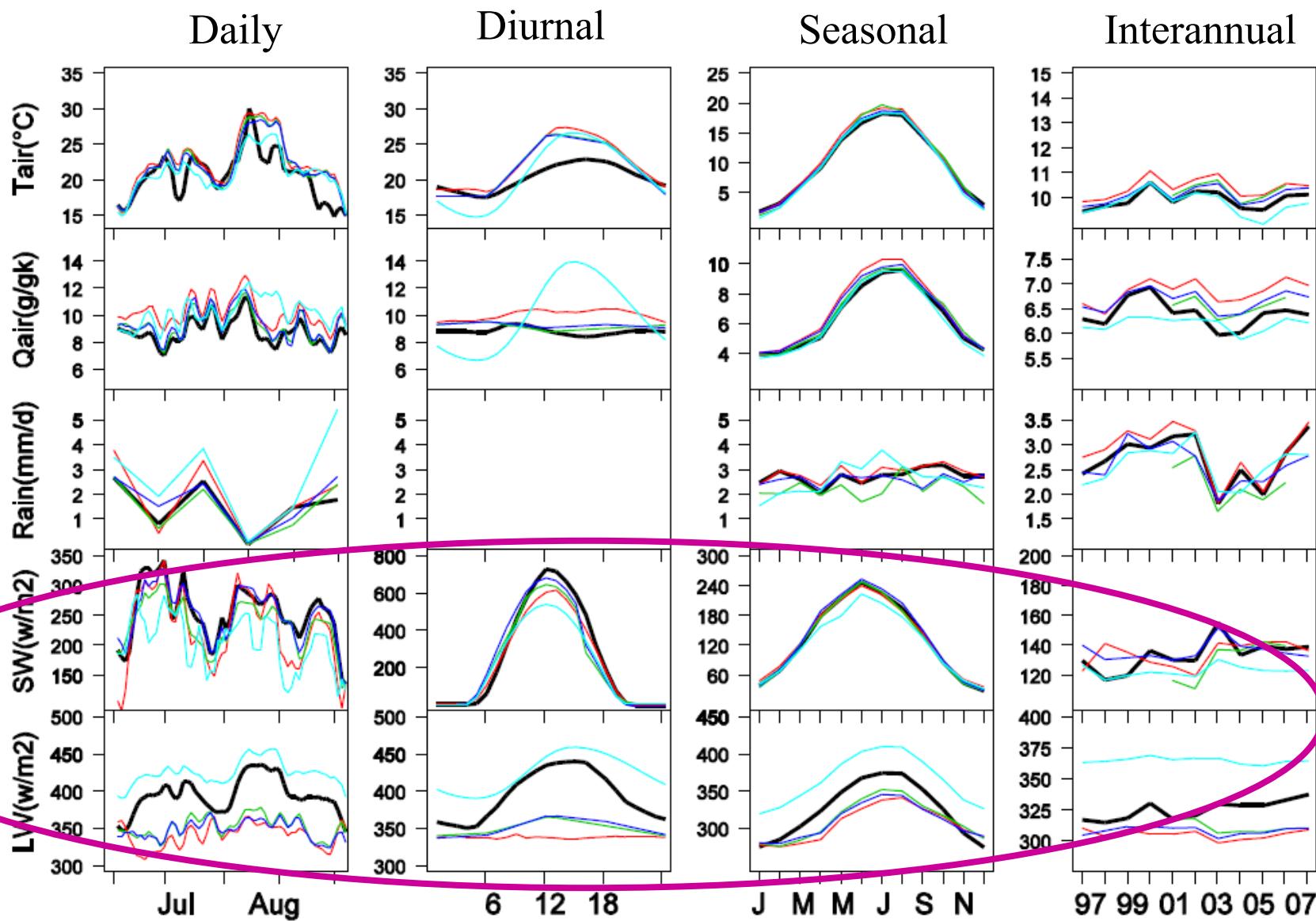


➤ Forçage atmosphérique: SAFRAN 8km résolution (1995-2005)

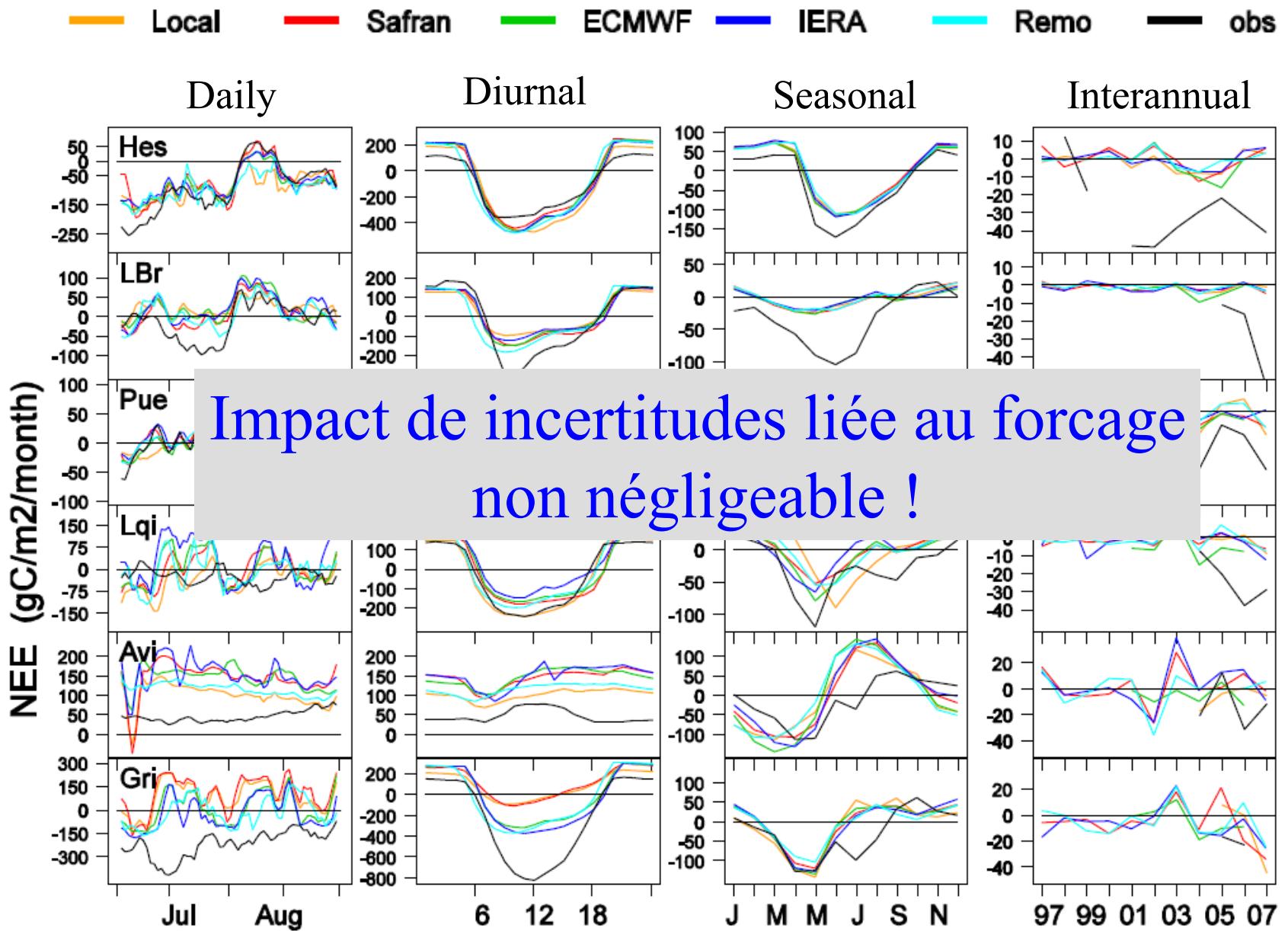
# Etape 0 : Différences entre forçages climatiques

Hesse

Local  
Safran  
ECMWF  
IERA  
REMO



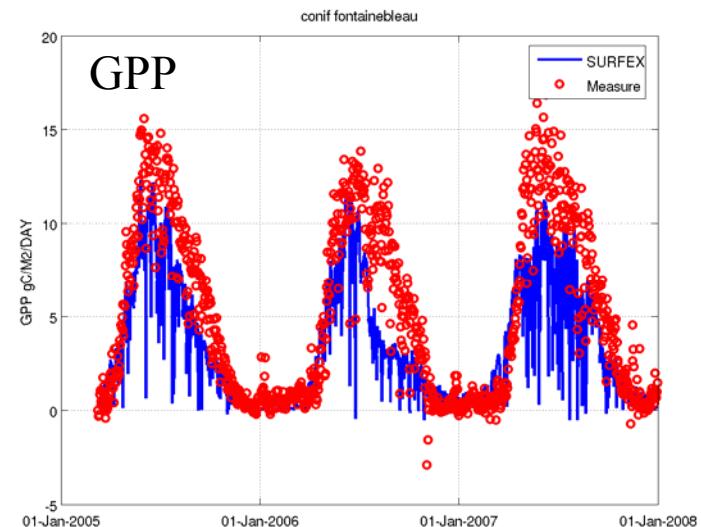
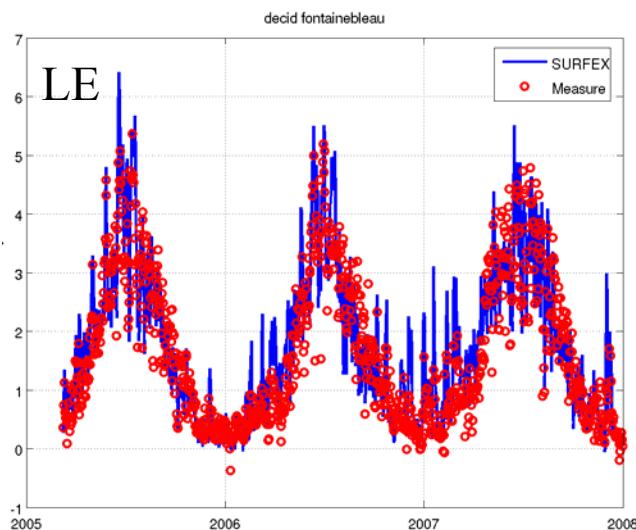
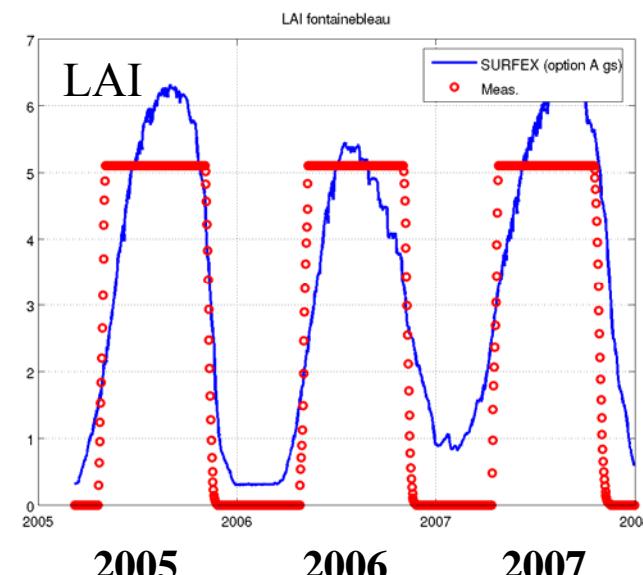
# Etape 0 : Impact des différences de forcages



# Simulations pour les sites ateliers : ISA-Ags

## Forêt décidue: Fontainebleau

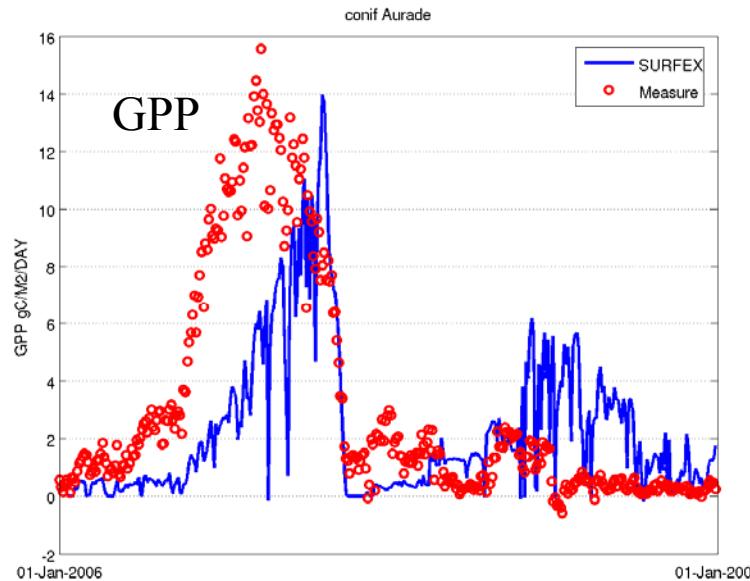
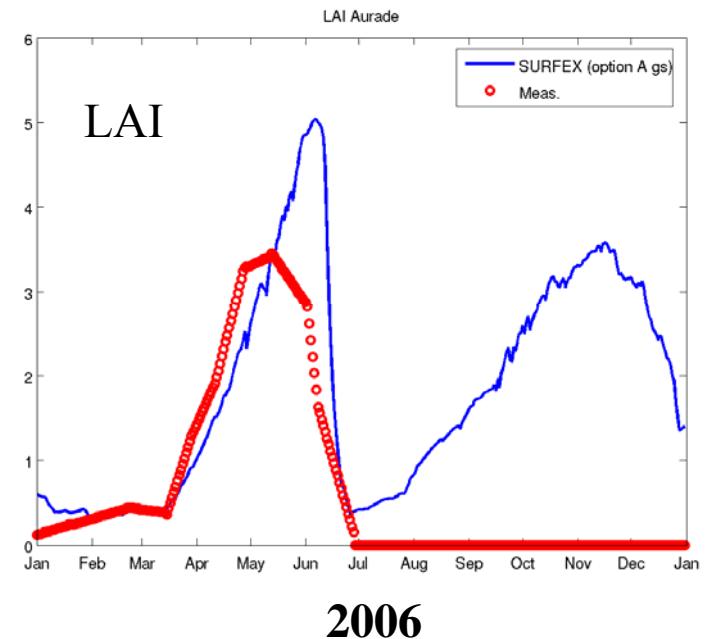
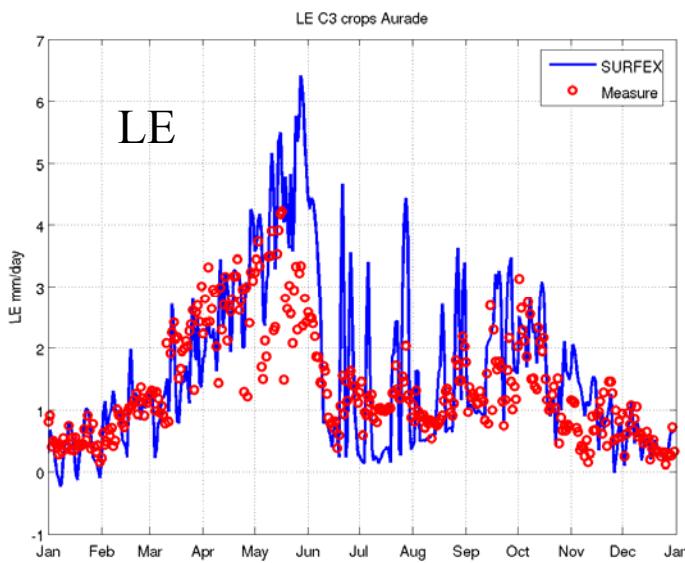
Bonne représentation du cycle saisonnier pour LAI, LE et GPP.



# Simulations pour les sites ateliers : ISA-Ags

## Site Auradé : Blé

Forgeage Safran,  
Paramétrisation standard

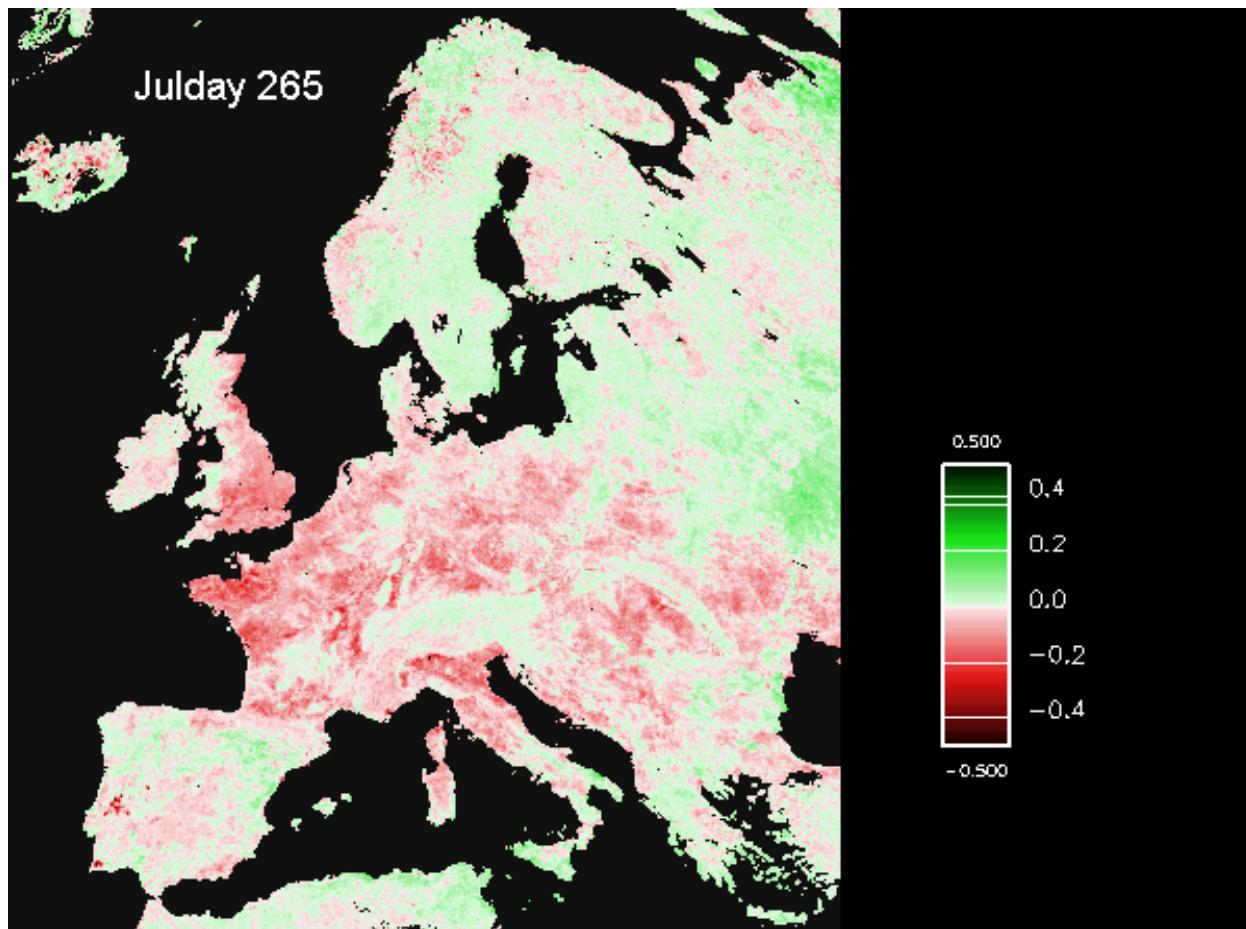


# **Simulations Spatialisées**

## **Comparaison mesures satellites**

# L'anomalie 2003 vue de l'espace ! (indexe fAPAR)

FPAR anomaly 2003 from MODIS (unitless)

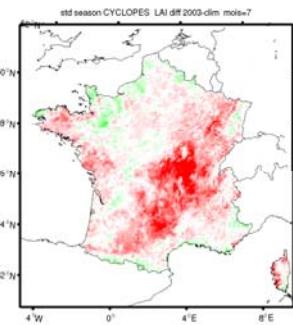


*Reichstein et al., 2006*

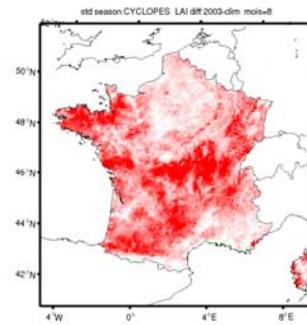
# Anomalie de LAI pour la France : ISBA-A-gs

*LAI normalisé par l'écart type du cycle annuel*

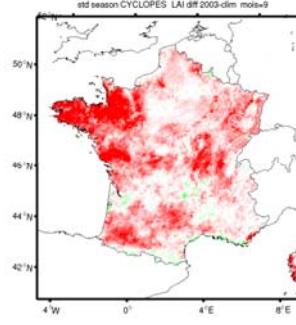
Juil. 2003



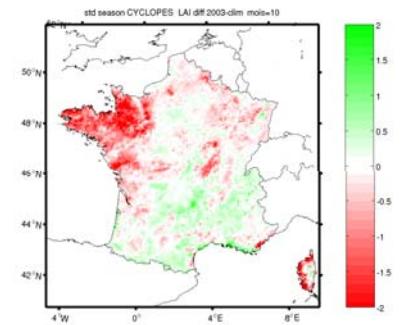
Août 2003



Sept. 2003



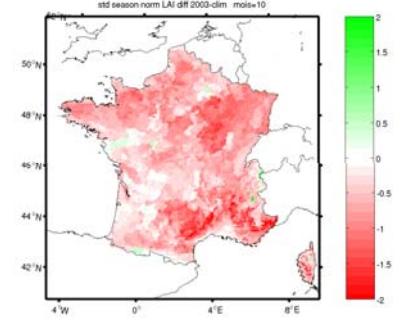
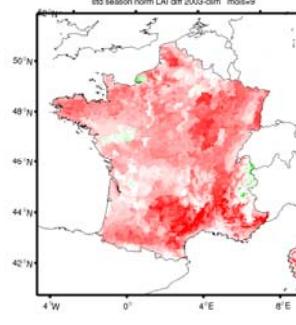
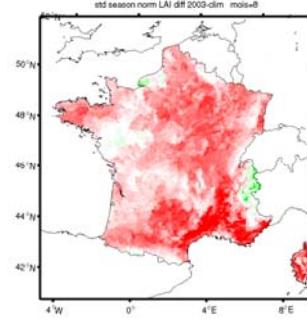
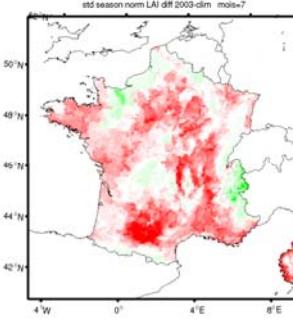
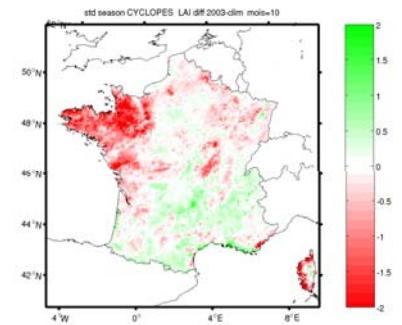
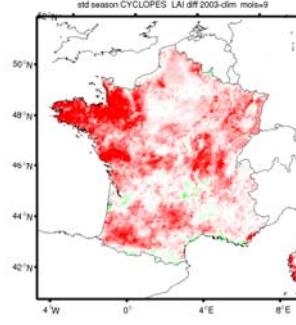
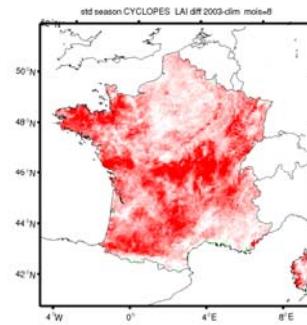
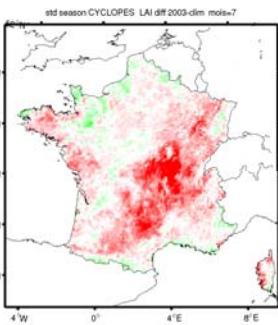
Oct. 2003



LAI satellite  
CYCLOPES

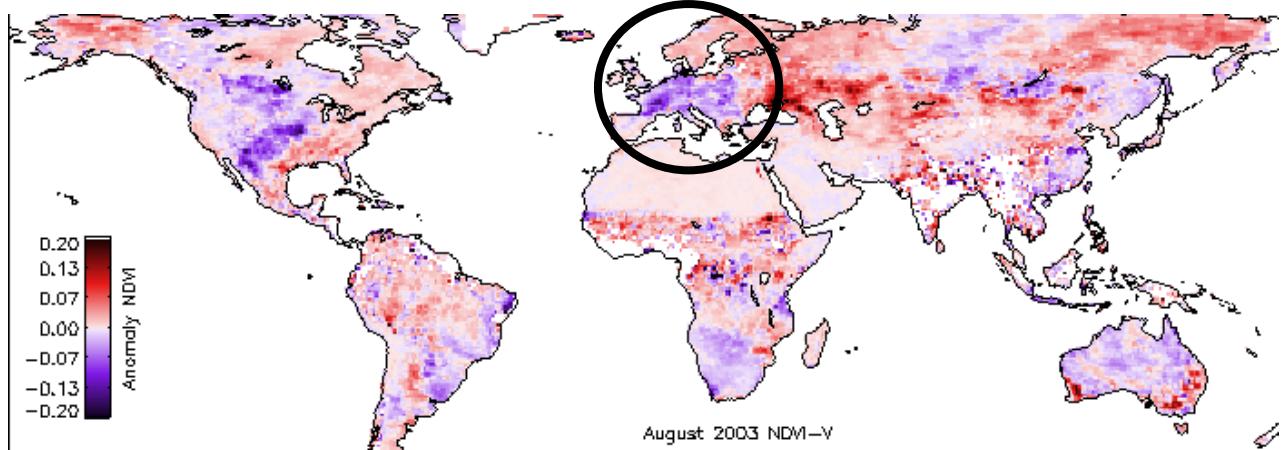
LAI simulé  
SURFEX

Contenu en  
eau du sol  
simulé

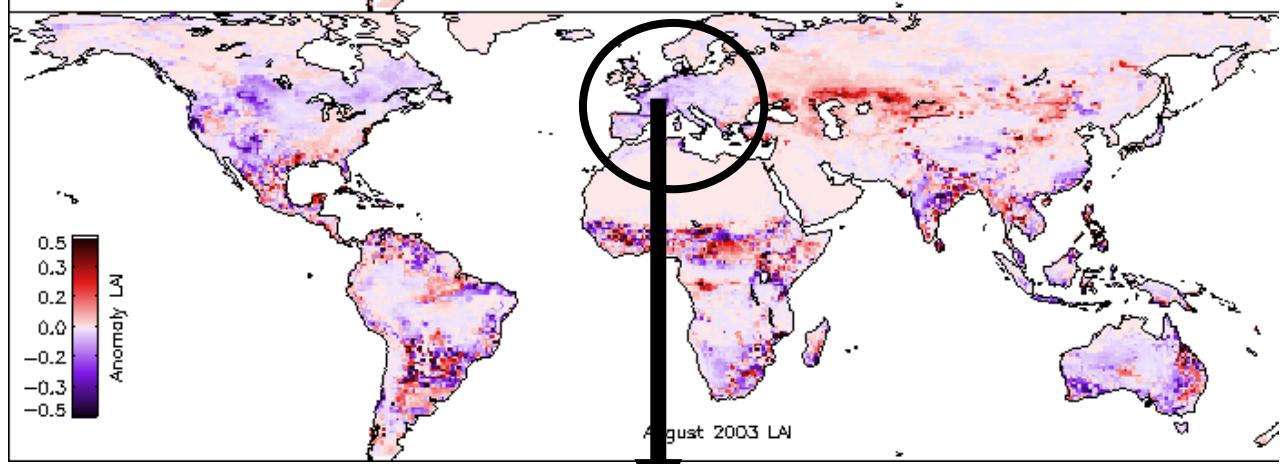


# Comparaison NDVI ⇄ ORCHIDEE LAI

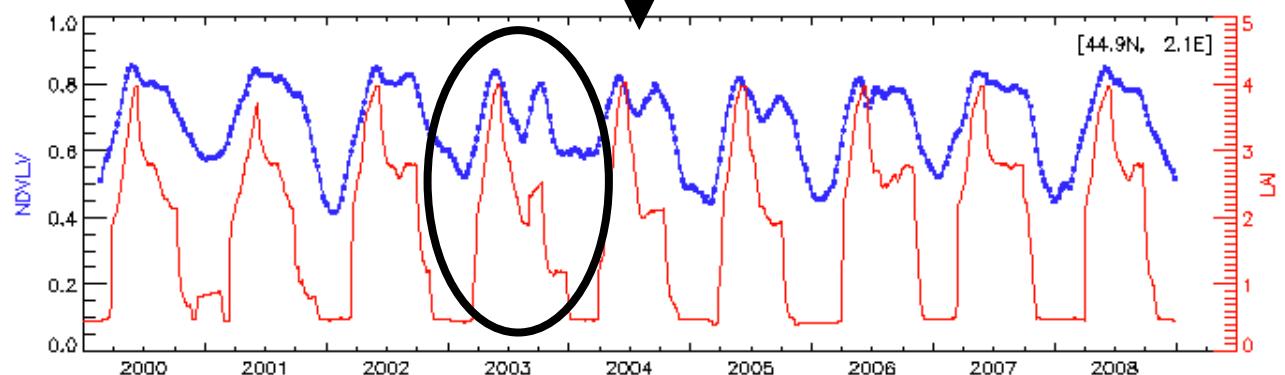
Anomalie  
de NDVI  
(MODIS)



Anomalie  
de LAI  
(ORCHIDEE)

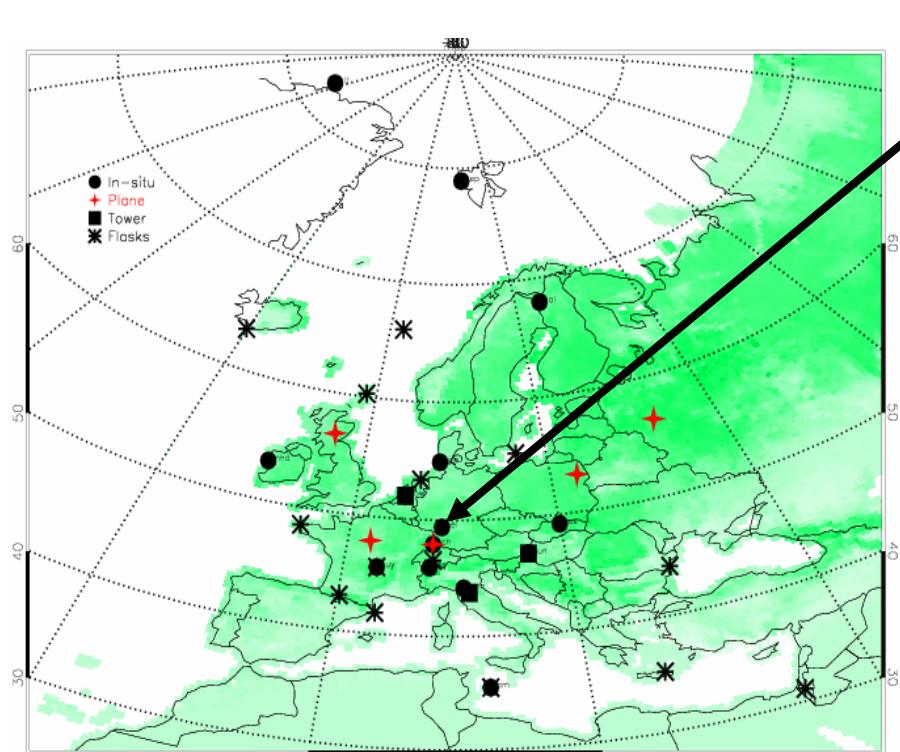


Pixel de forêt  
(Massif Central)

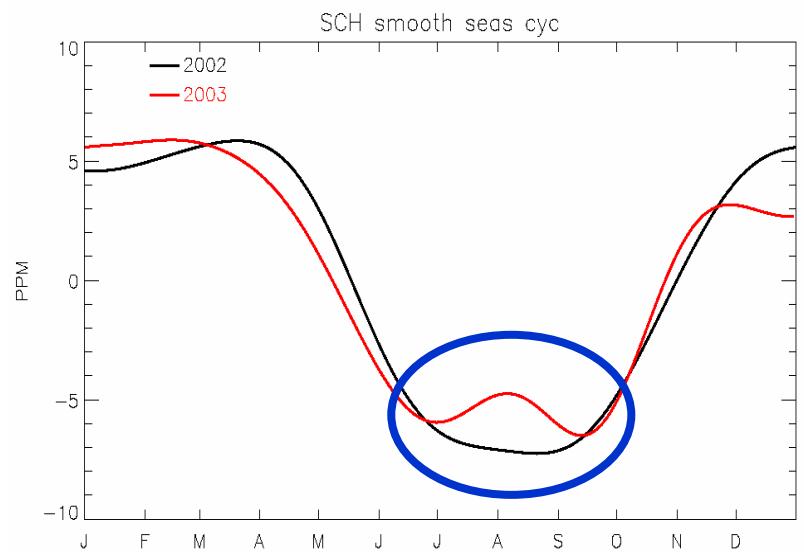
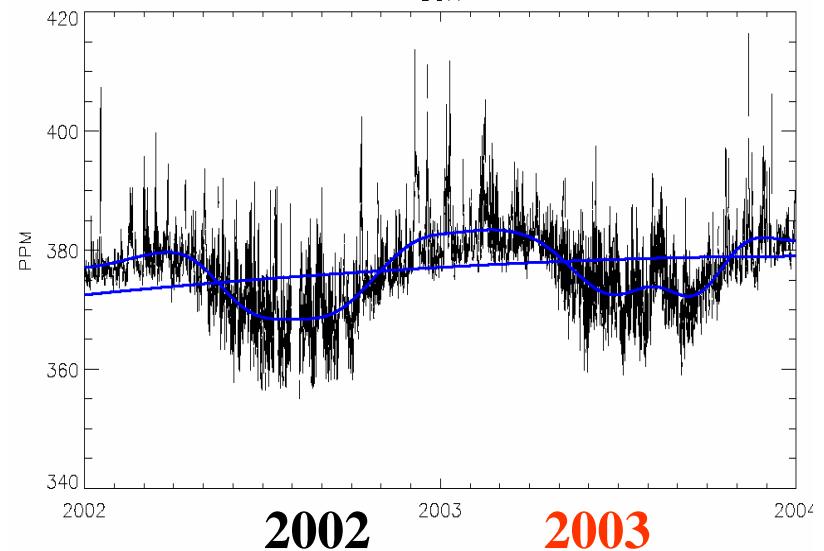


# Approche atmosphérique

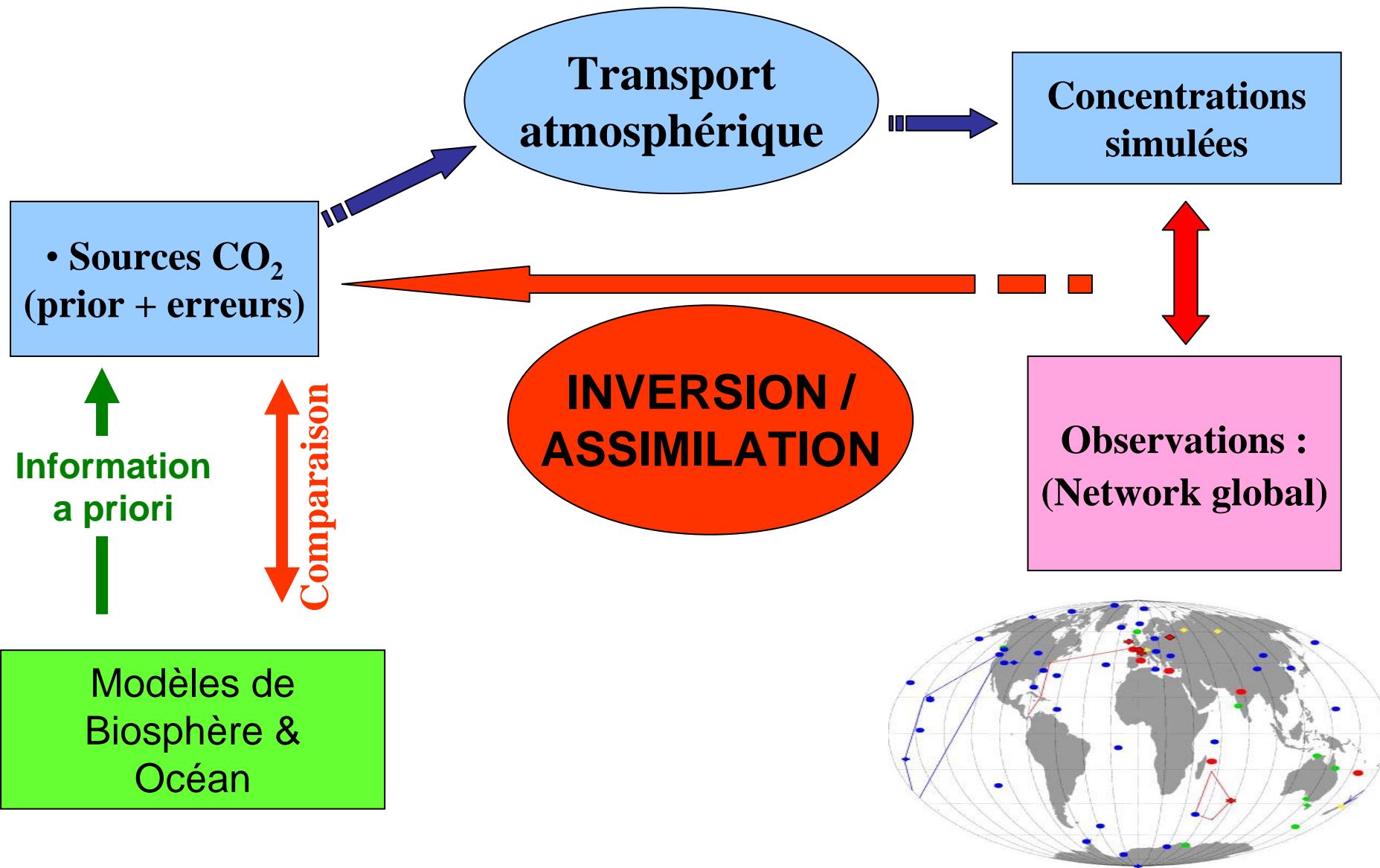
# Le signal atmosphérique



Schauinsland, 1200 m (Allemagne)



# Principe d'une inversion atmosphérique..



## 2 independent inversions (Similarities / differences) :

LSCE

MPI

---

### *Inverse approach :*

Time-dependent Bayesian Inversion / Solve for “pixel” fluxes

### *Observations :*

Monthly mean conc.  
-> Monthly fluxes

Individual flask / hourly data  
-> ~ Weekly fluxes

### *transport model :*

LMDz ( $2.5^\circ \times 3.7^\circ$ )

TM3 ( $4^\circ \times 5^\circ$ )

### *Prior information*

ORCHIDEE mean fluxes  
& GFED priors

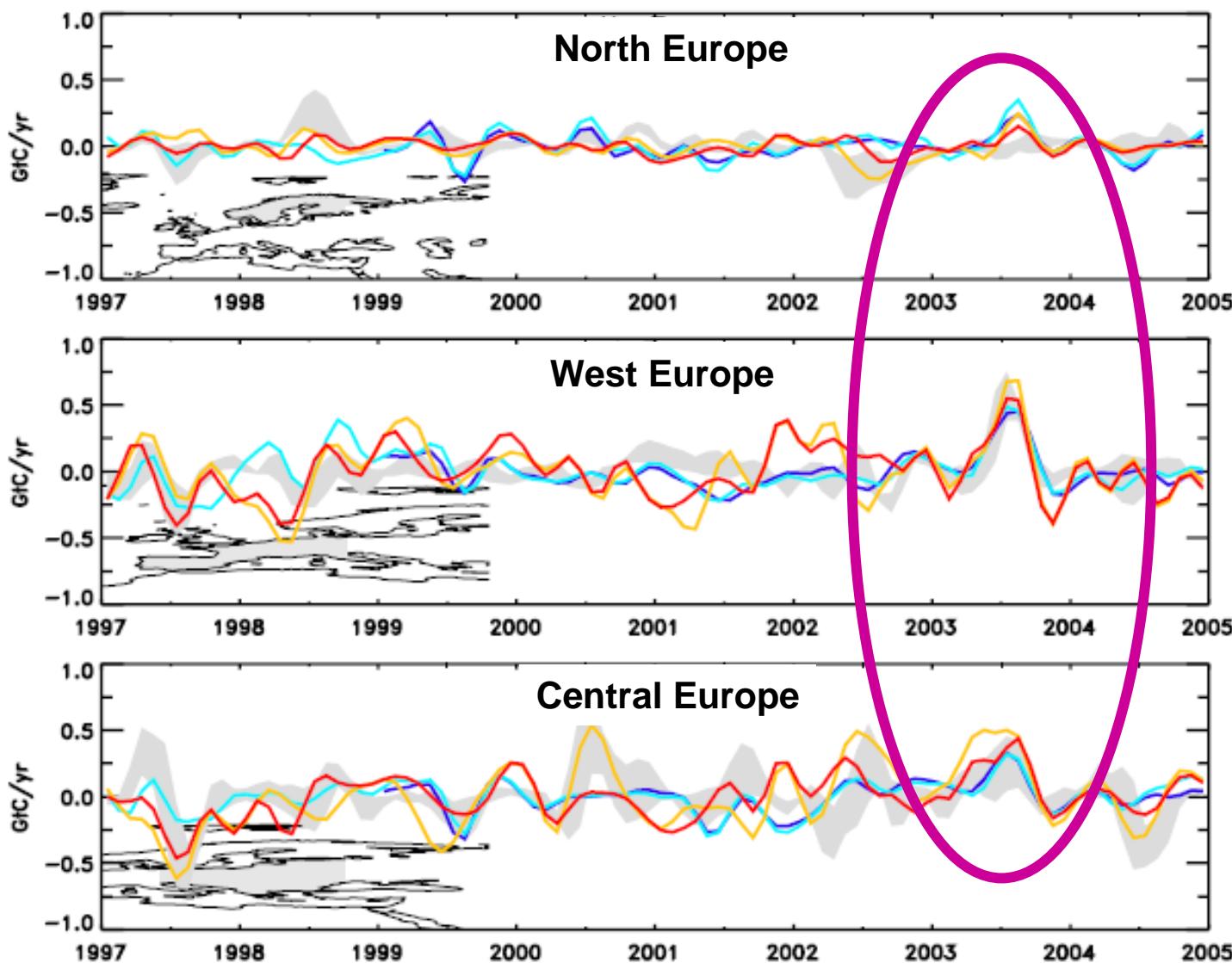
Distance / Biome correlation

“generic” No IAV prior  
& GFED priors  
distance correlation

# European sub-region: (120 days filtering)

bottum-up range

LSCE\_std    MPI\_s96  
LSCE\_bis    MPI\_s99



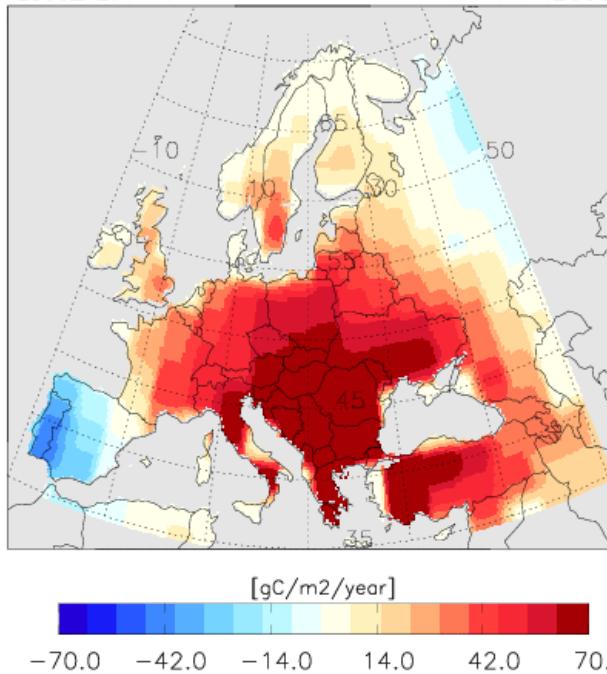
# Anomalie de flux : 2003 vs Moyenne

**LSCE ref**

Land CO<sub>2</sub> Yearly Flux anomalies

Lsce\_v2.1

2003

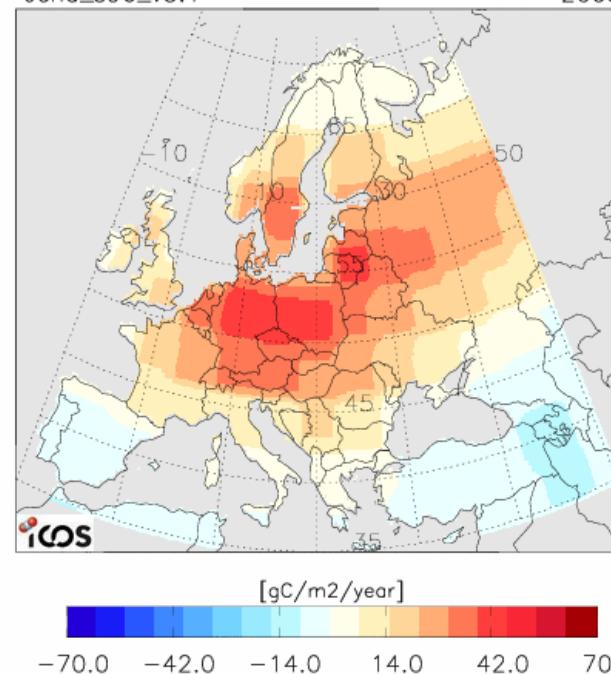


**MPI Ref**

Land CO<sub>2</sub> Yearly Flux anomalies

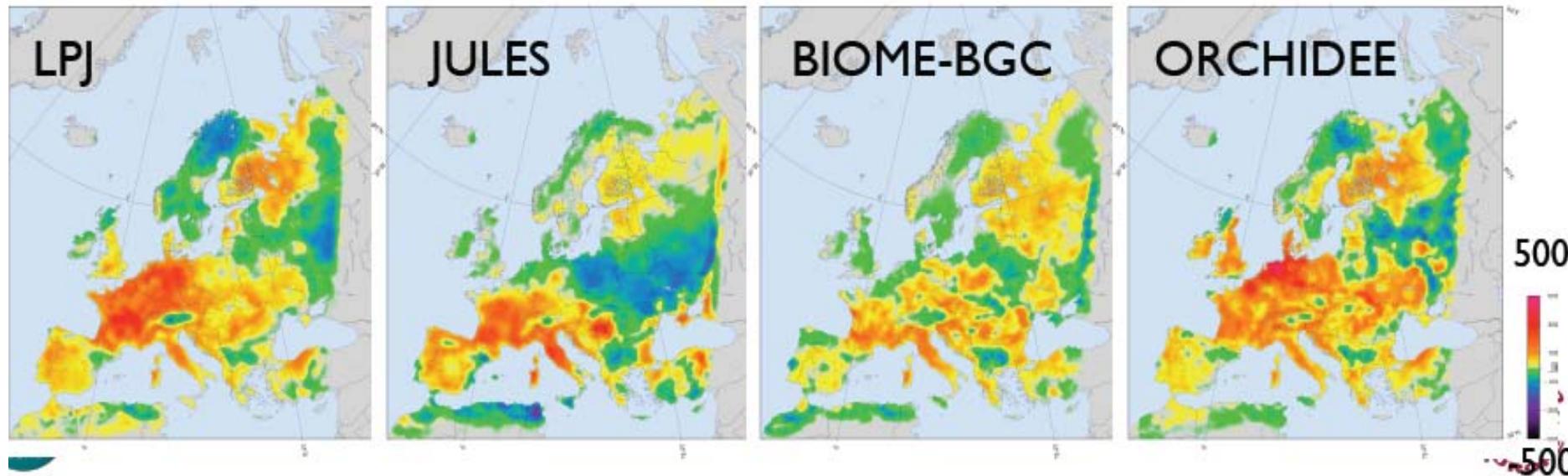
Jena\_s96\_v3.1

2003

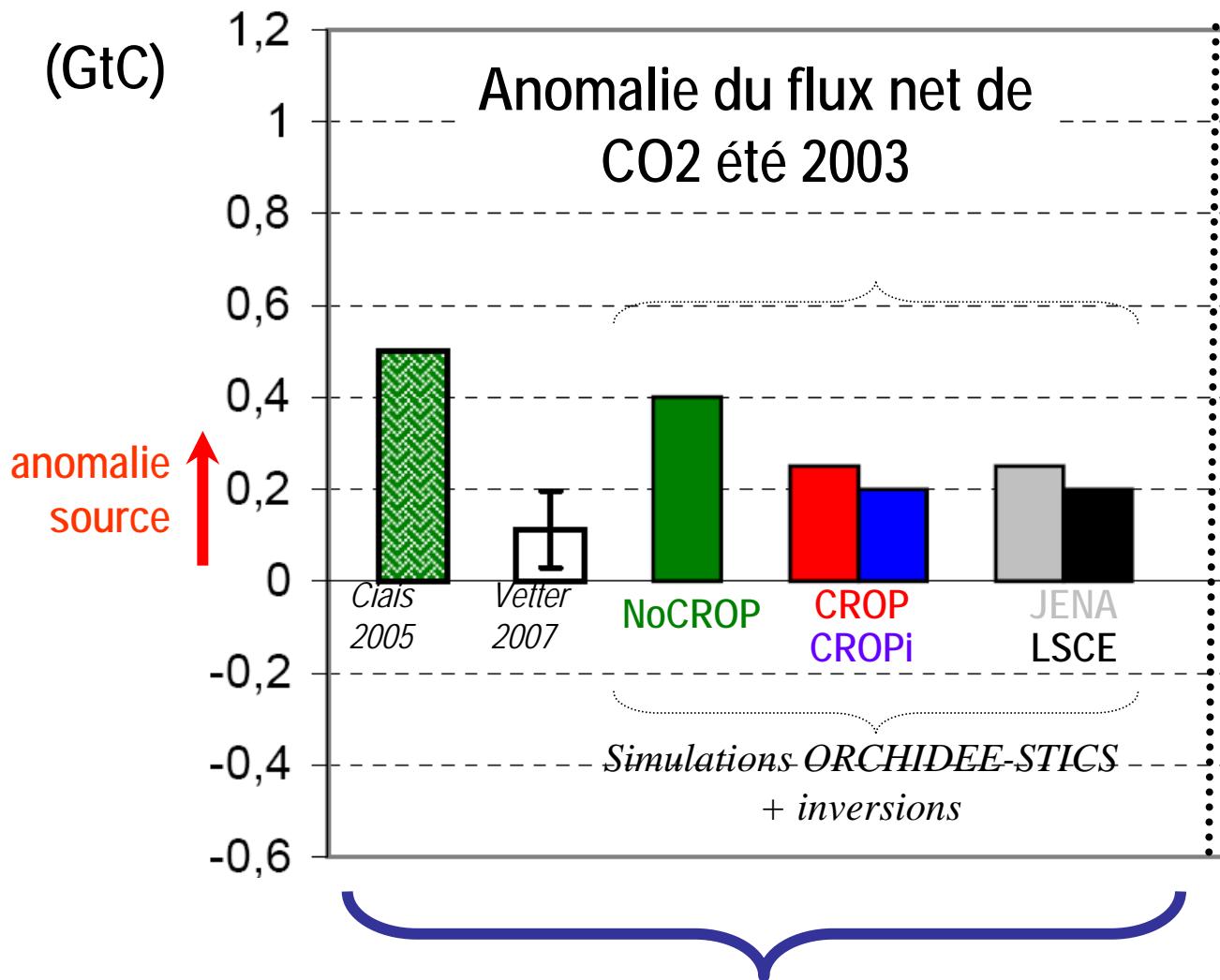


# Anomalie de flux : 2003 vs Moyenne

→ Comparaison aux modèles biosphères



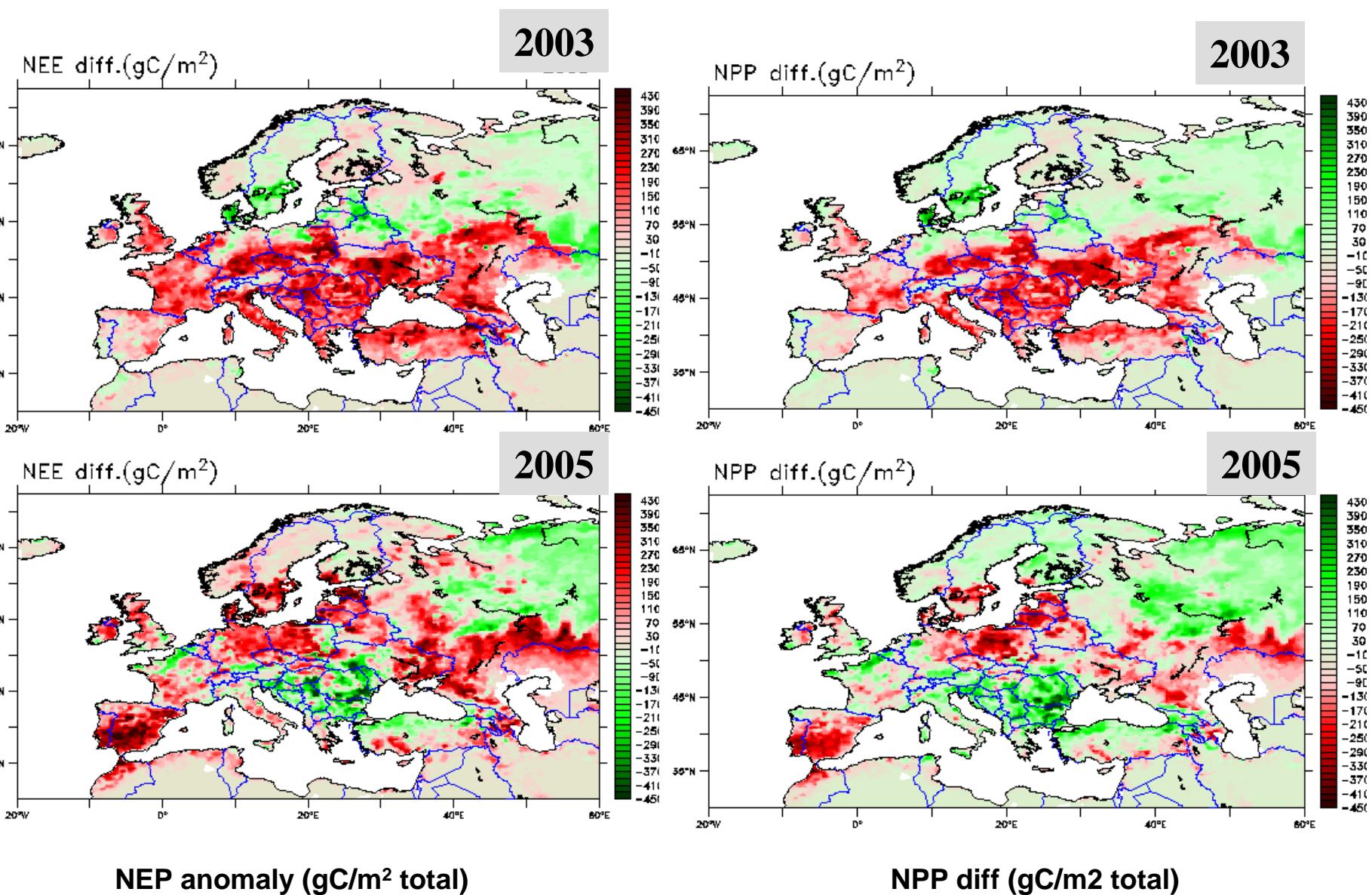
# Bilan de Carbone Européen : 2003 vs moyenne !



Estimations encore très différentes

**2005 versus 2003**

# Difference in simulated fluxes



# En résumé pour 2003....

- 2003, un accident de productivité sans précédent au cours des 100 dernières années
- Pas de modification (immédiate) de la capacité des plantes à utiliser l'eau
- Les effets retards sont possibles, attaques d'insectes, dommages de cavitation, mortalité

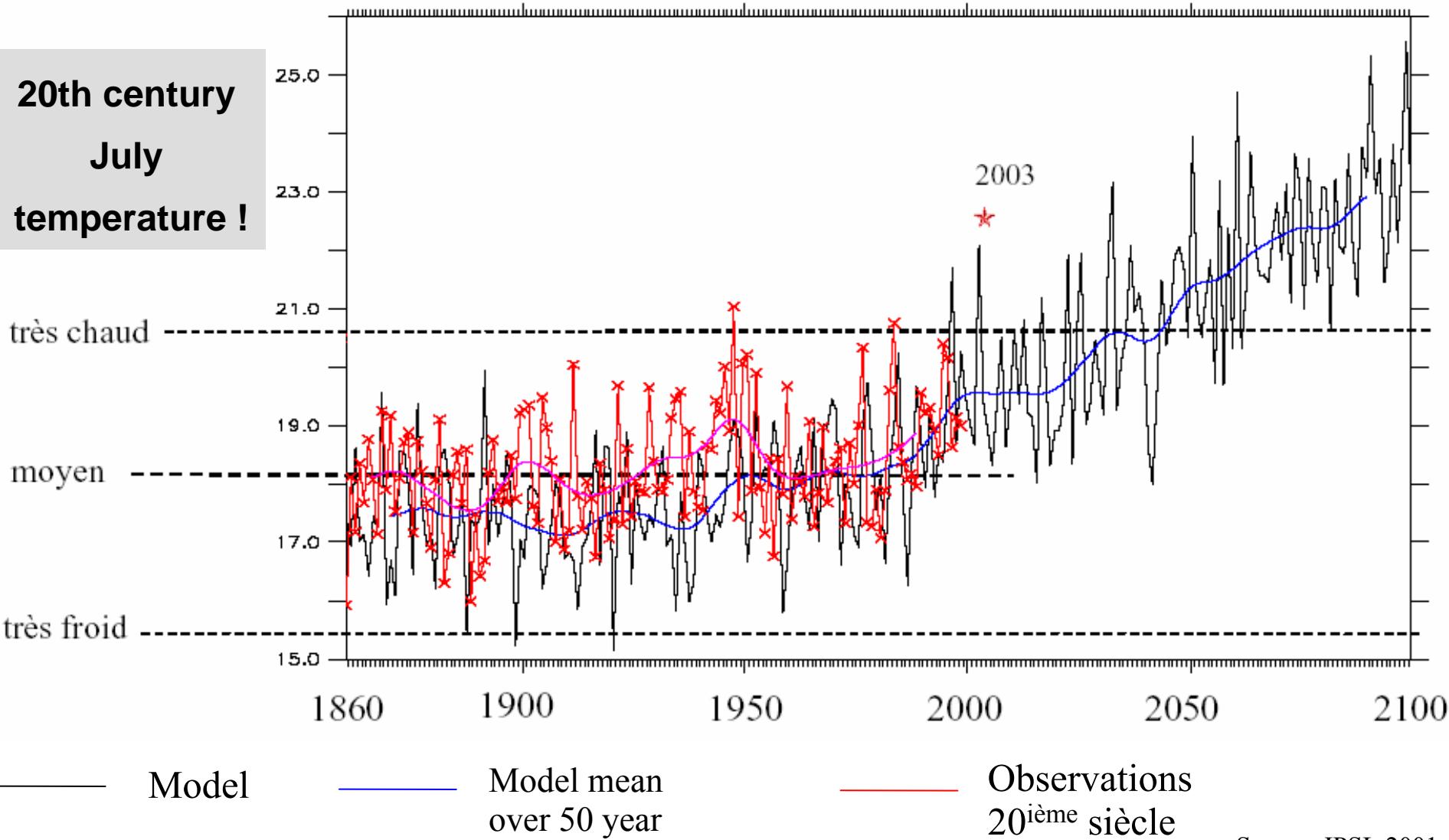
# En résumé CarboFrance....

- Nombreuses analyses des processus clés aux sites ateliers (GPP, Reco, et NEE)  
→ synthèse en cours
  - Simulations (sites & spatialisées) seulement en cours d'analyse !  
→ Incertitude sur bilan C reste forte
- Besoin d'études intégrées incluant l'ensemble des mesures (sur sites ou globale [co2])

# Spéculations ?

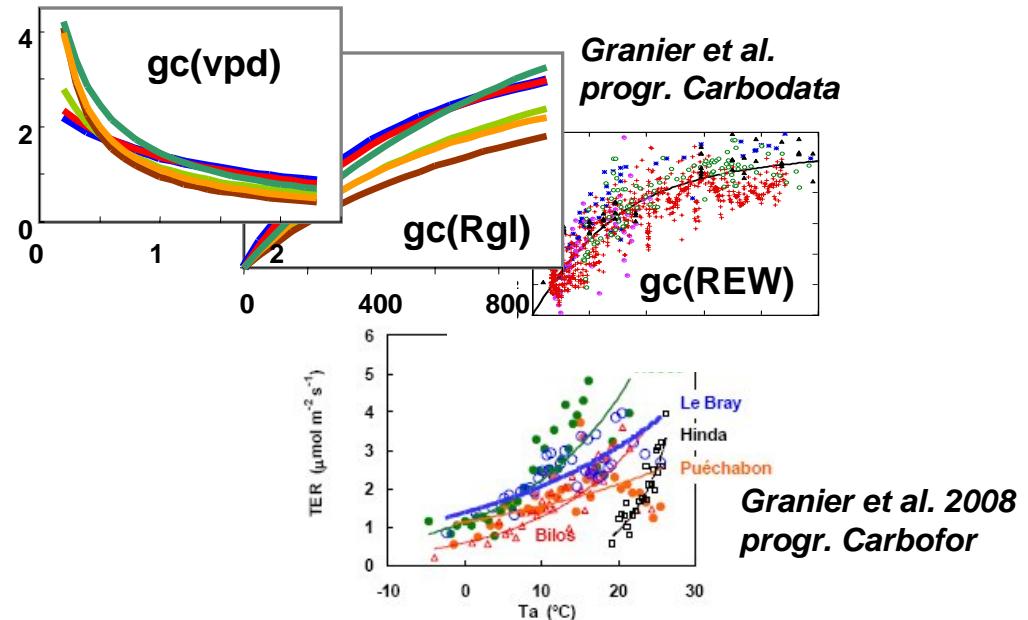
- Dans le future, les impacts négatif des extrèmes climatiques peuvent annuler le bénéfice d'un changement modéré du climat...
- La productivité des écosystèmes Européens pourrait être réduite si les extrêmes deviennent fréquent!
- Changement possible des espèces les mieux adaptées (conifères pourraient devenir les plus compétitifs)

# Evolution de la température moyenne de Juillet: 1860 to 2100 (IPSL model, SRES A2 scenario, no aerosols)



# Résumé: transfert d'eau et de CO<sub>2</sub> pour 14 sites ateliers

*Forçages climatiques : effets sur le fonctionnement des écosystèmes*  
 $E, GPP, Reco = f(Rgl, vpd, T^\circ, REW, \dots)$

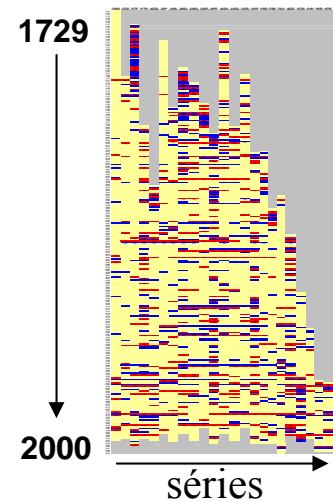


*Respiration du sol et évènements climatiques extrêmes*

Cf.  $Rsol \approx 50 \text{ à } 80\% \text{ de Reco}$

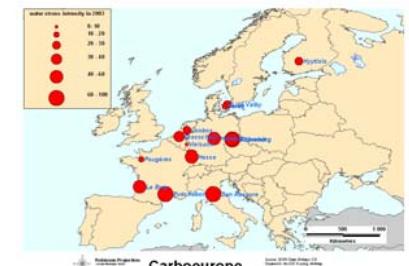
*Bilan net de carbone, croissance des arbres et sécheresse*

Ex: années caractéristiques en dendroclimatologie;  
bases de données EEF



année caractéristique positive  
année caractéristique négative

Badeau, comm pers.



*Impact des sécheresses estivales de 2003 à 2005 pour les différents sites*

Ex: 2003 sur les bilans de carbone

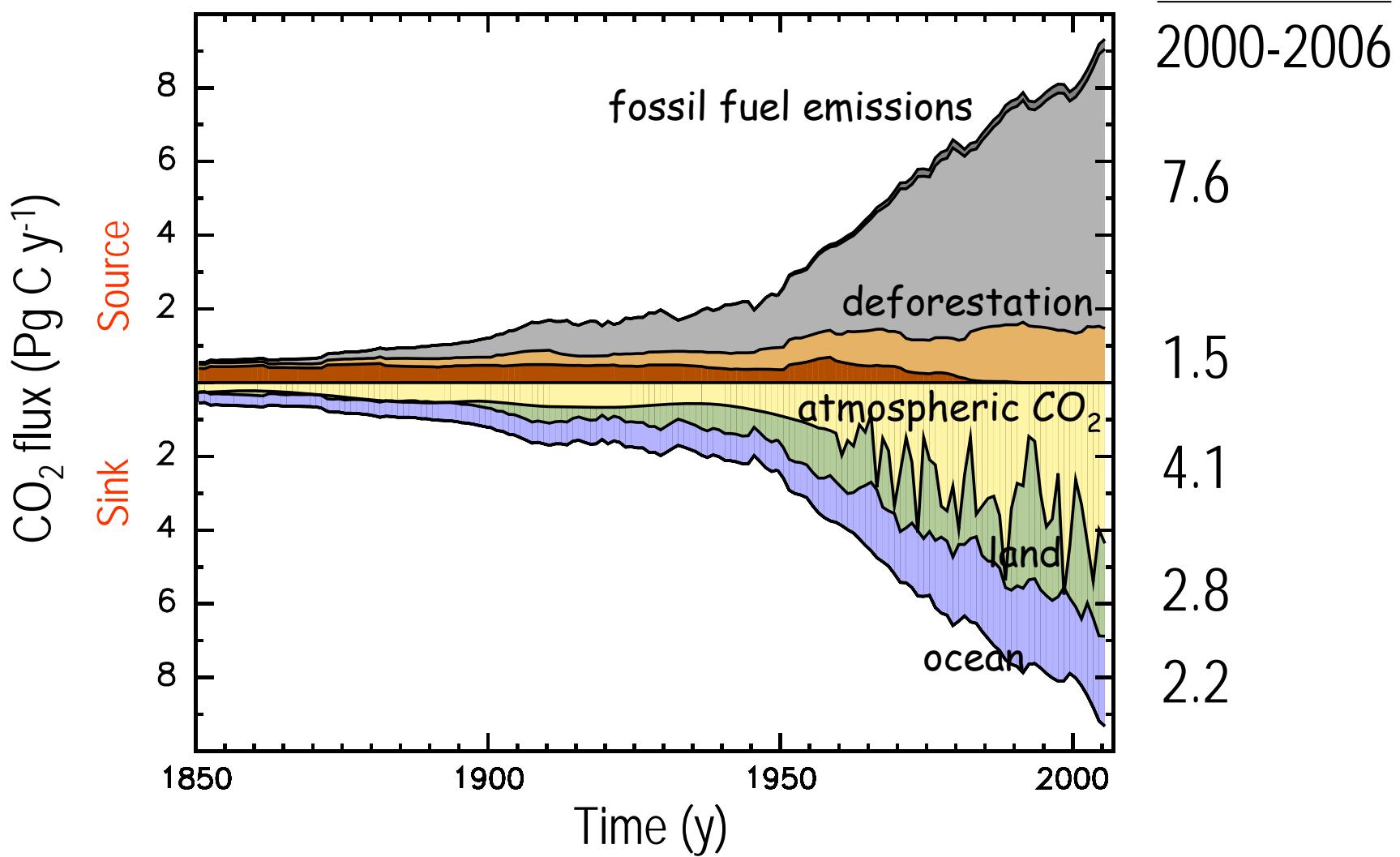
Granier et al., 2007

# Matériel additionnel

# Bilan de carbone et sécheresse en Europe durant l'été 2003 ?

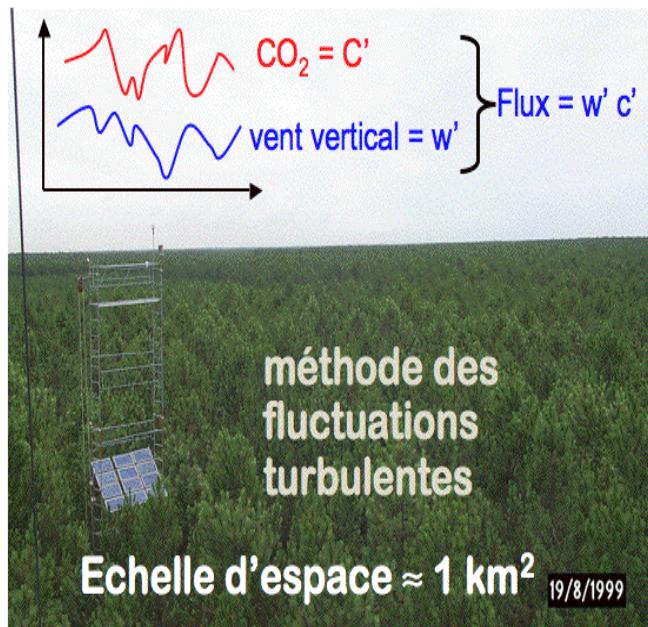


# Perturbation globale du cycle du carbone (1850-2006)



# Observations : Différentes échelles

## Mesures pour Des écosystèmes



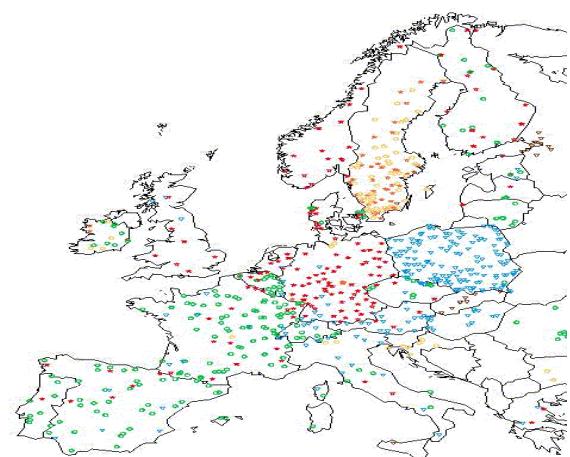
Flux CO<sub>2</sub>, eaux, et  
énergie

## Inventaires Carbon sol



Texture  
Nutriments  
Composition  
chimique

## Inventaires biomasse

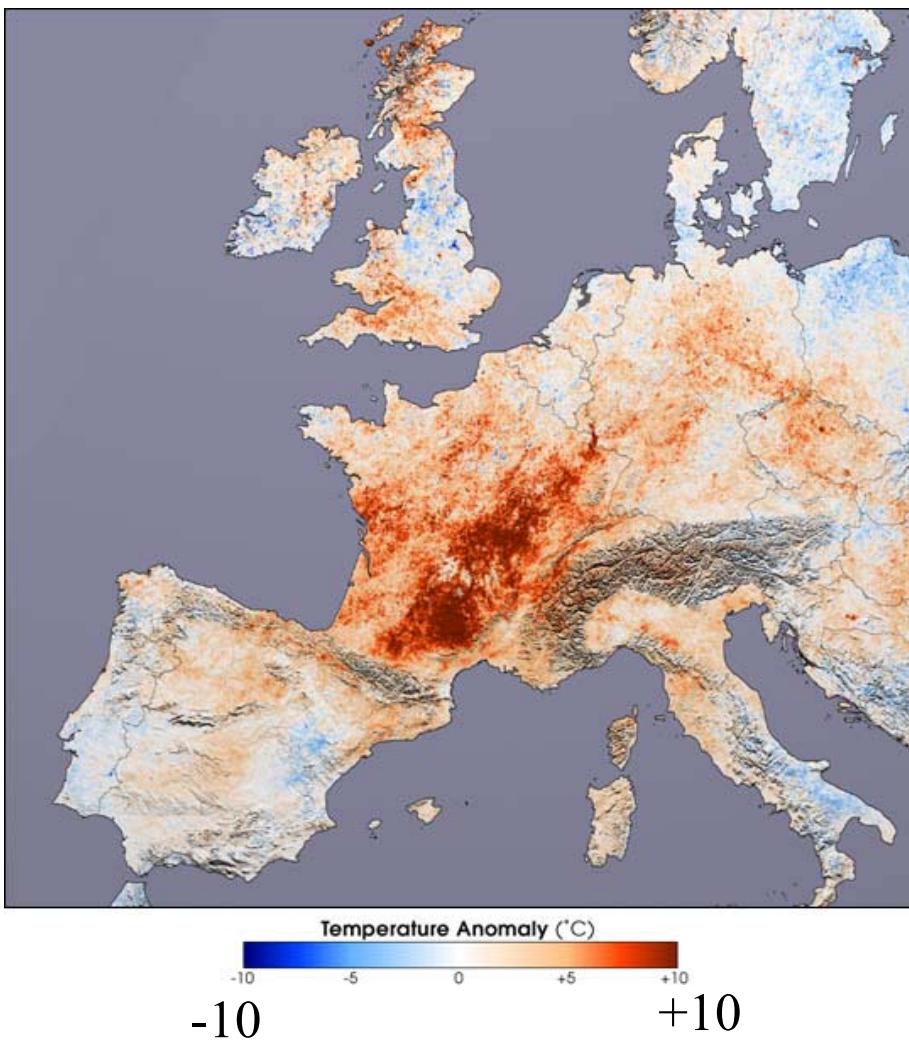


## Observations satellites

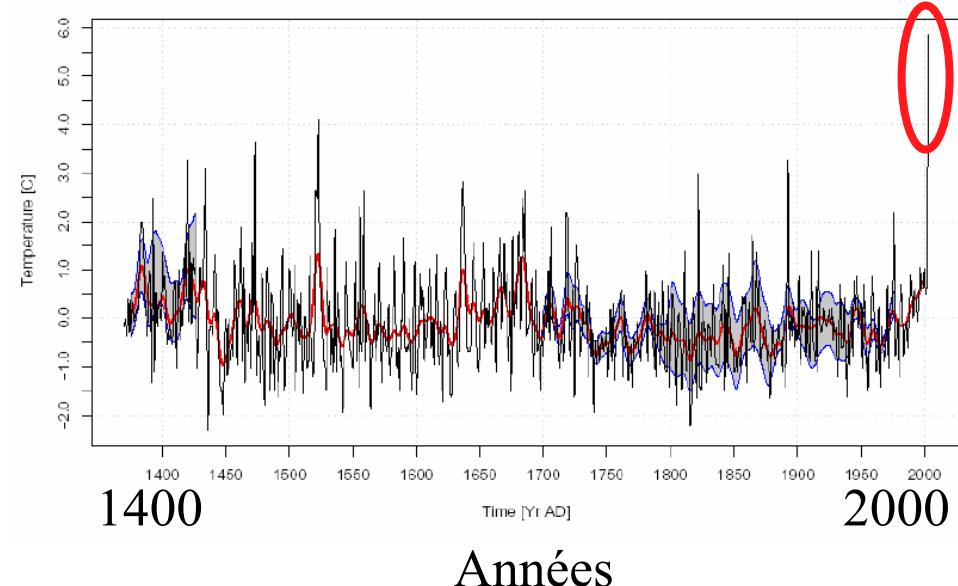


# Variabilité climatique : la vague de chaleur 2003

Anomalie de température : Juillet 2003



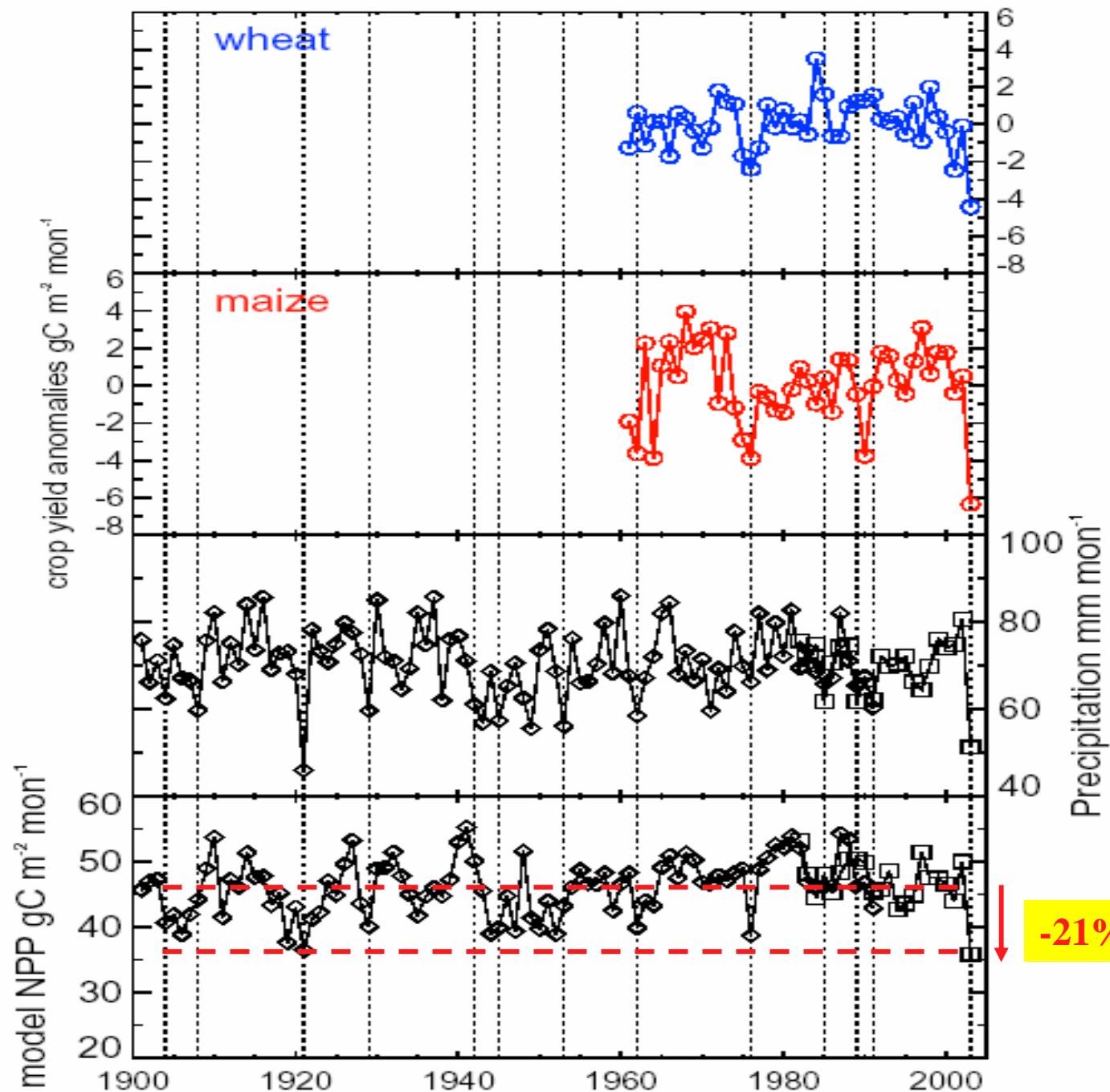
Température en Juillet en Bourgogne !



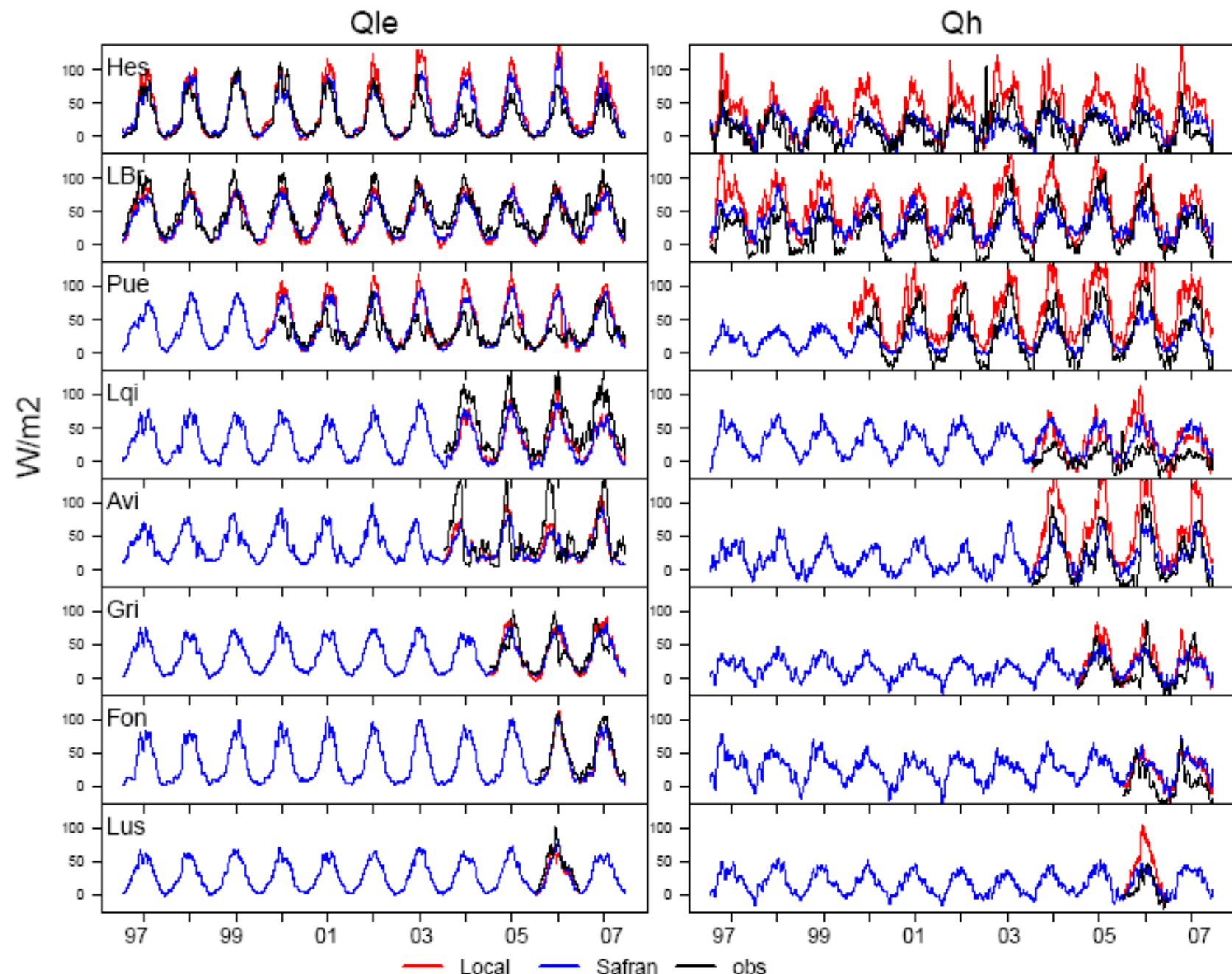
Années

Chuine et al. 2005

**2003 :  
une des plus  
forte baisse  
de  
productivité  
des 100  
dernières  
années**



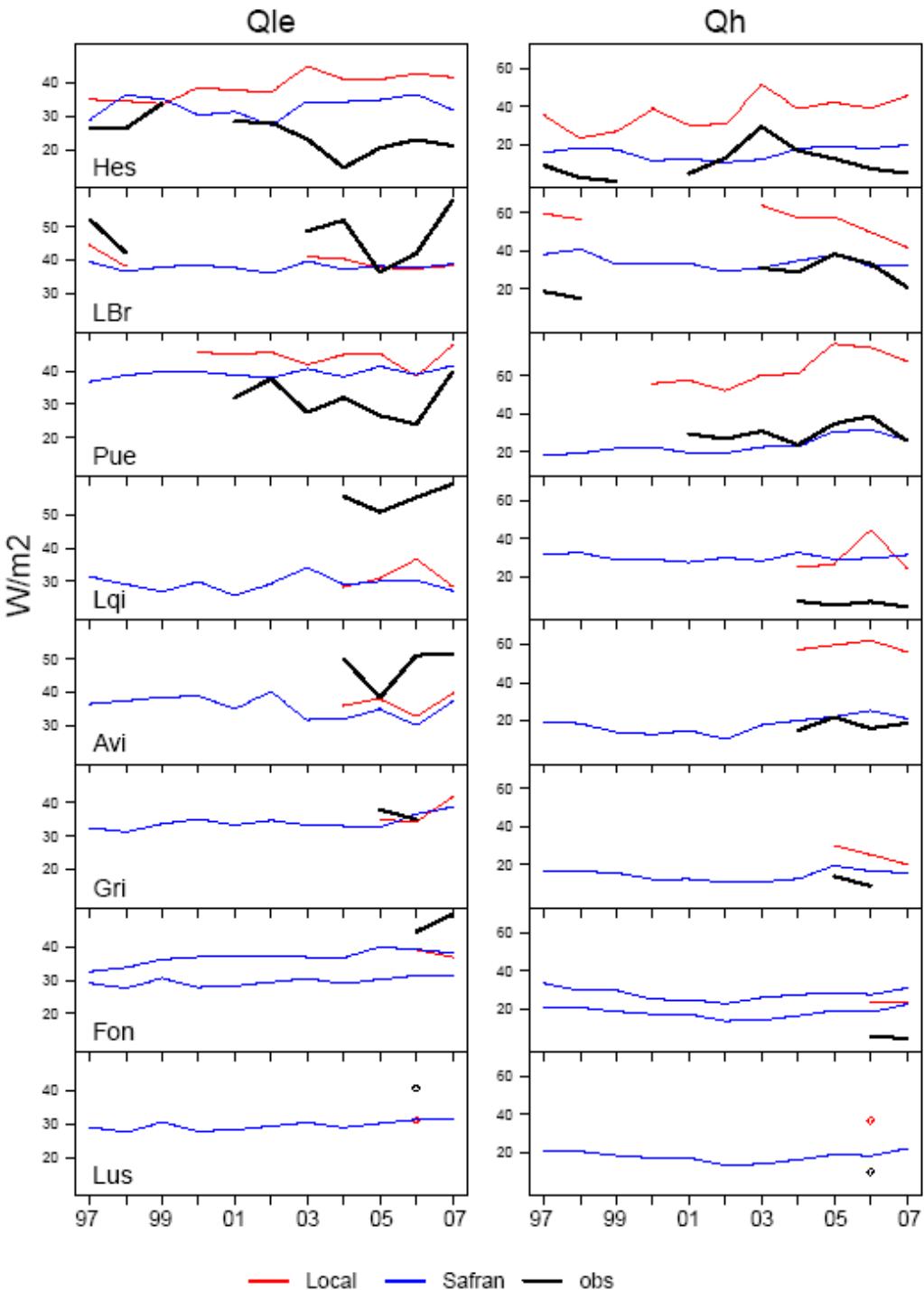
# ORCHIDEE : Sites ateliers Flux latent & Sensible



# ORCHIDEE :

## Sites ateliers

## Flux latent & Sensible



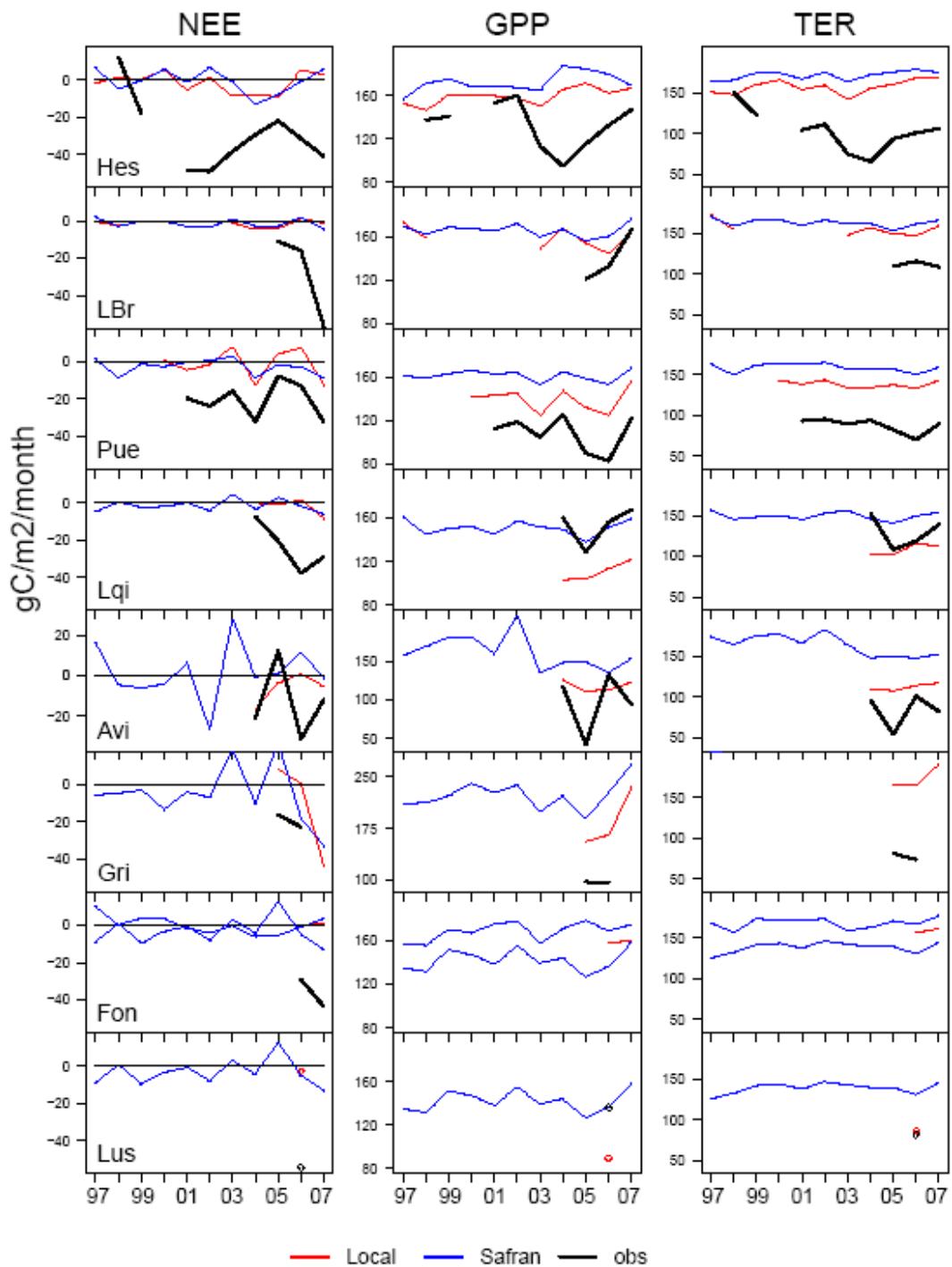
# ORCHIDEE :

## Sites ateliers

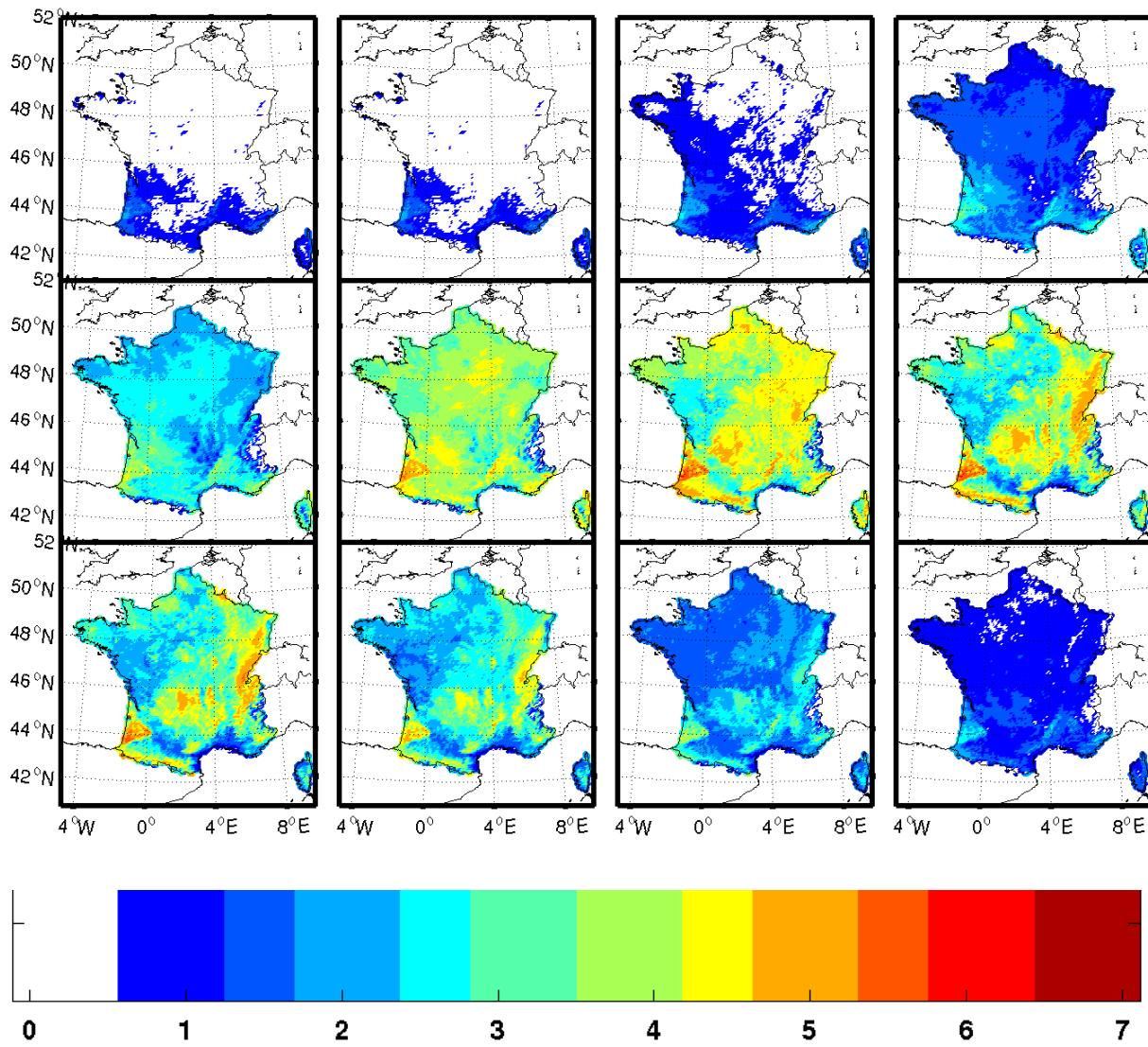
### Flux NEE

### GPP

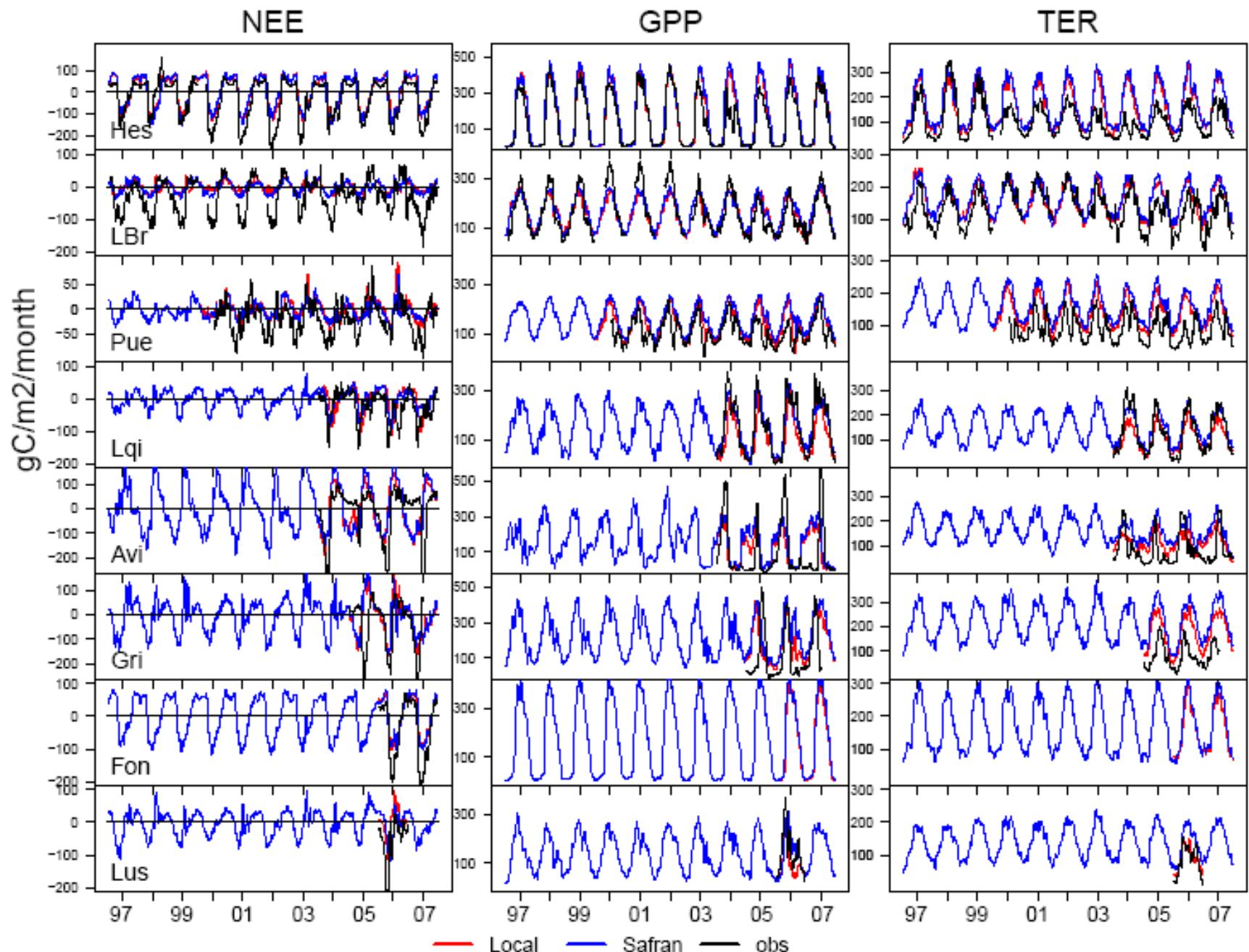
### TER



# Climatologie de LAI pour la France : ISBA-A-gs



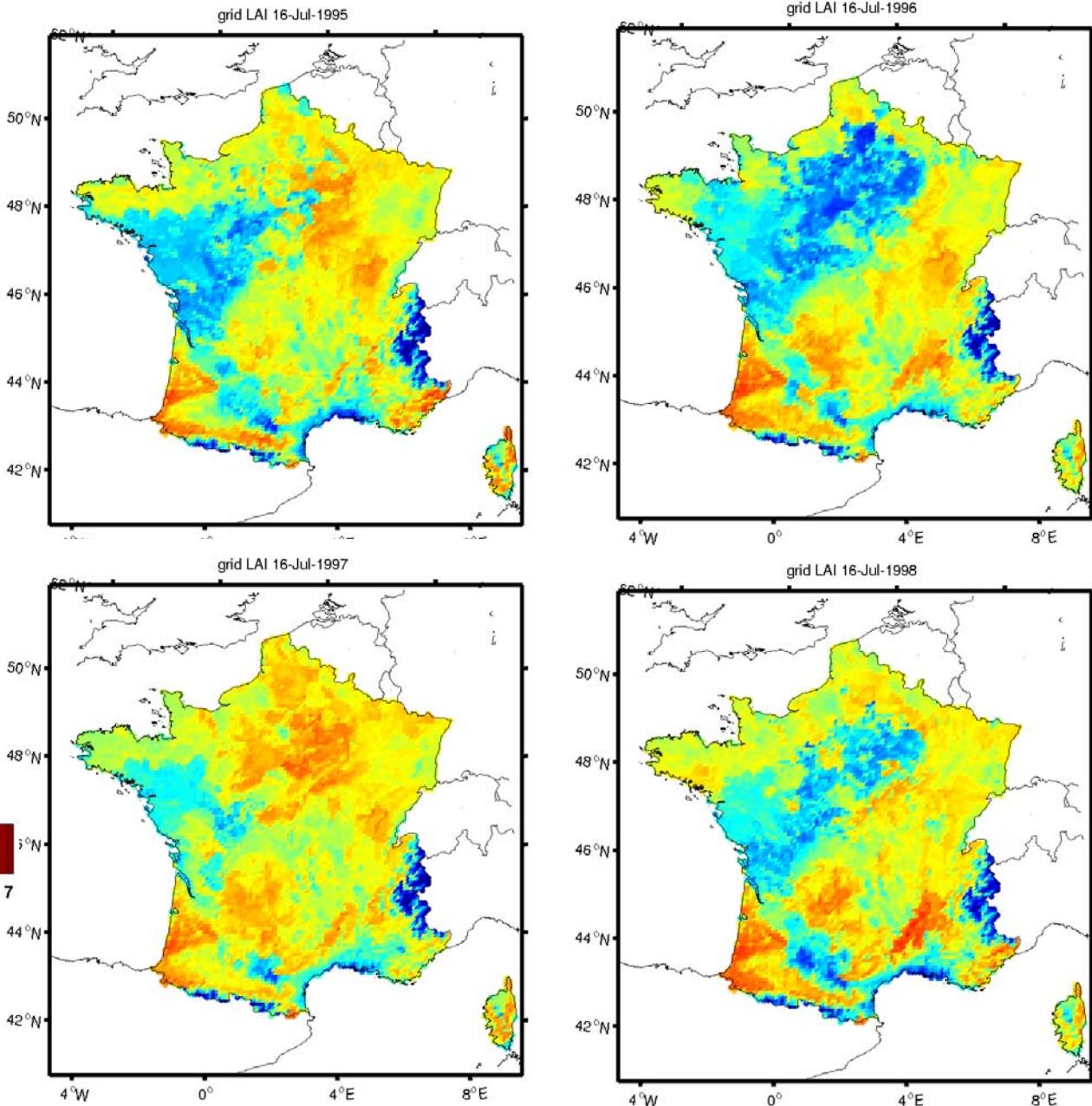
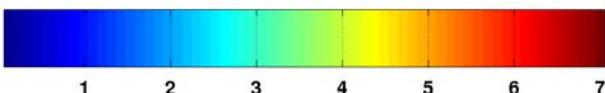
# ORCHIDEE : Sites ateliers Flux NEE, GPP, TER



# Simulations à l'échelle de la France : ISBA-A-gs

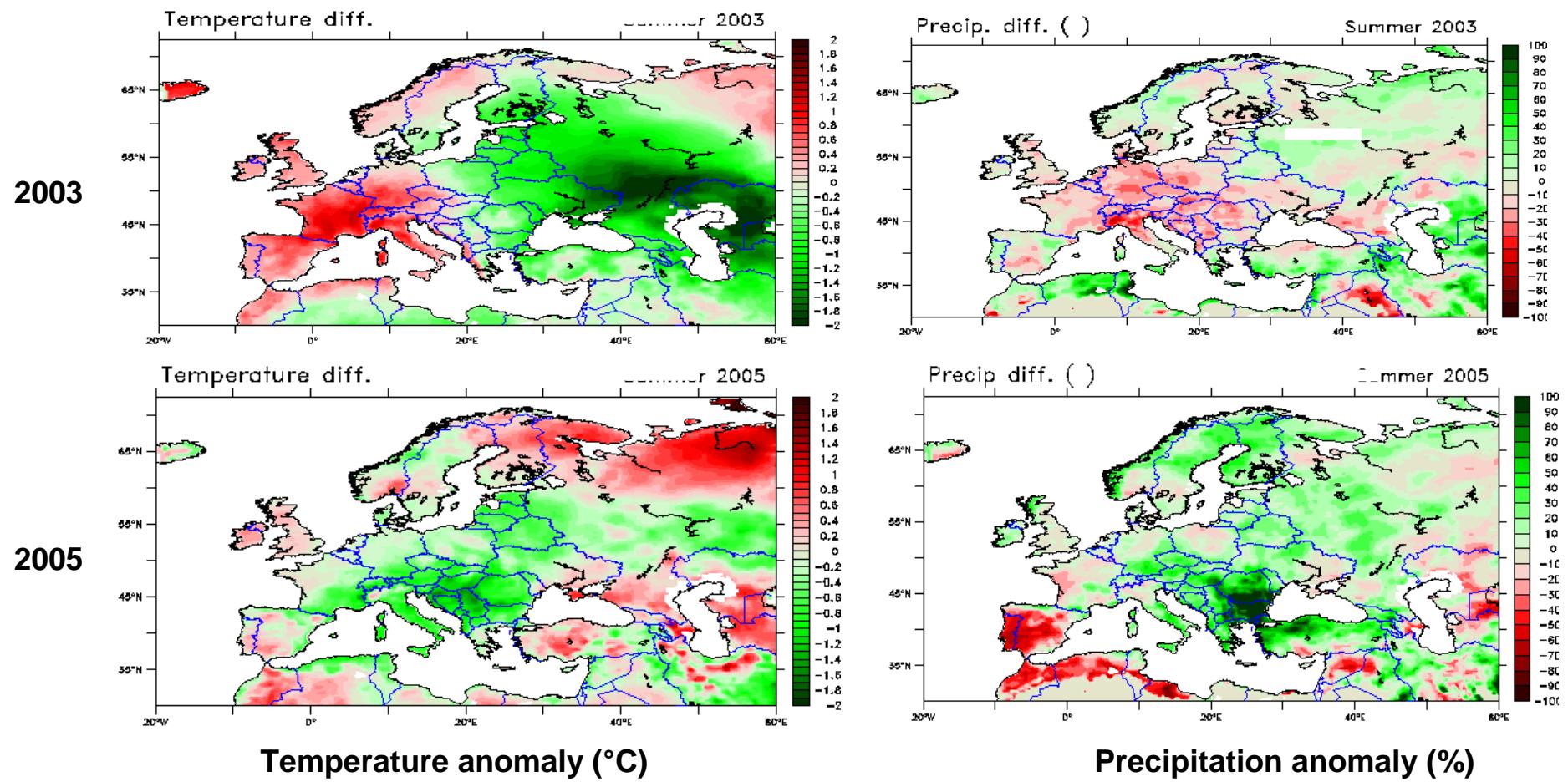
## Variabilité interannuelle

LAI moyen au 16 Juillet (1995-1998)



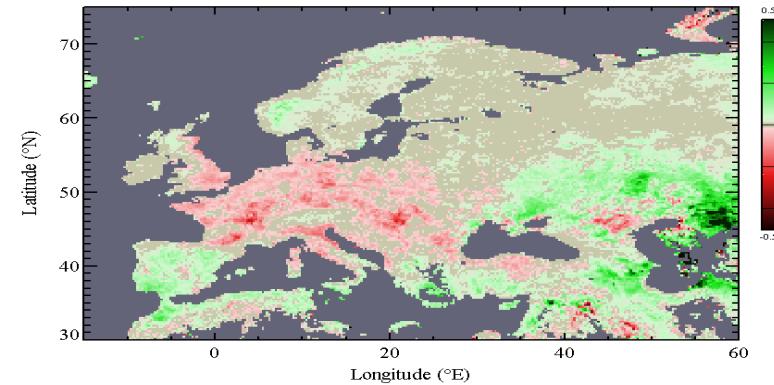
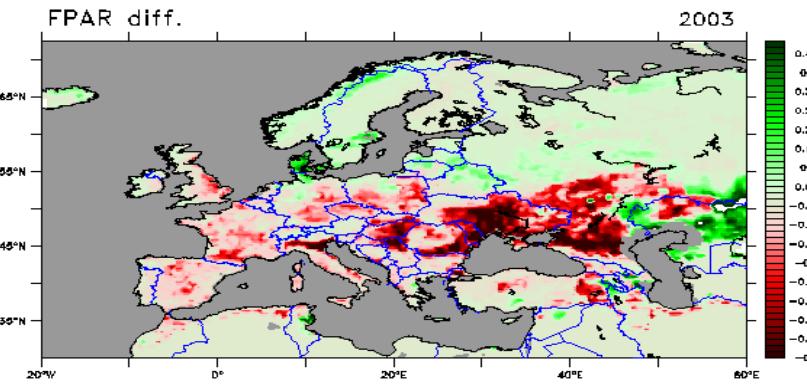
# Climate data for 2003 and 2005

Climate anomalies in 2003 and 2005  
(difference to 2001-2004 mean)

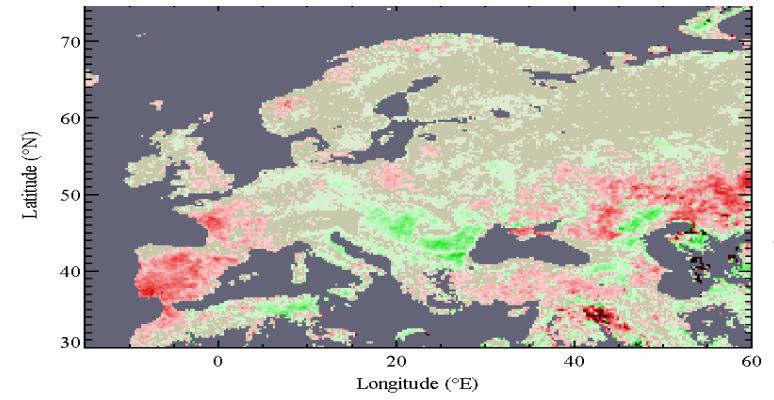
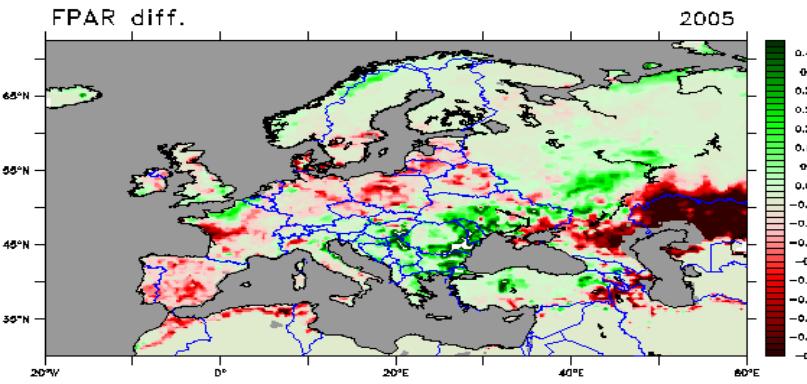


# Validation by remote sensing

**FPAR Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation  
anomalies simulated and observed by EOS-Terra-MODIS in summer (JAS)**



2003

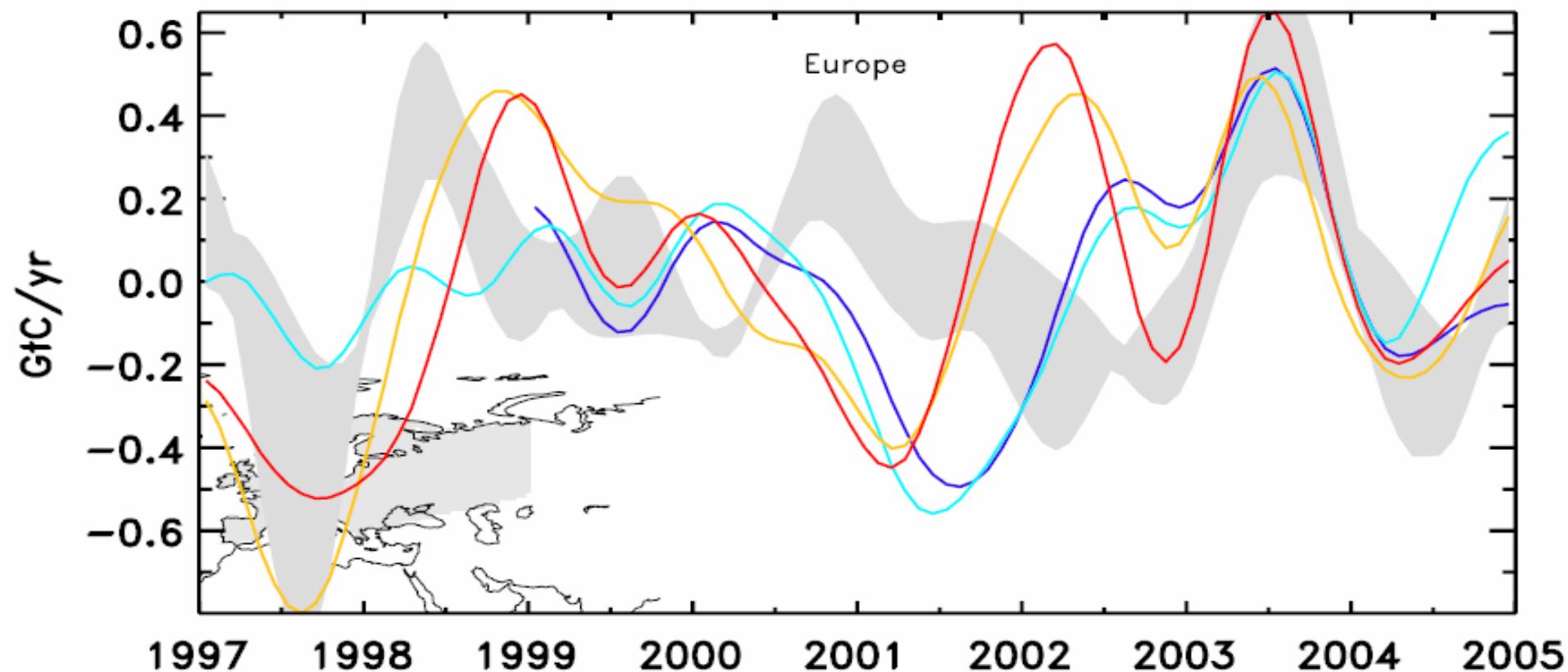


2005

FPAR modeled relative  
anomaly (% of normal )

FPAR from EOS-TERRA-MODIS  
anomaly (% of normal)

## European scale: 365 days filtering



**LSCE\_std**

**LSCE\_bis**

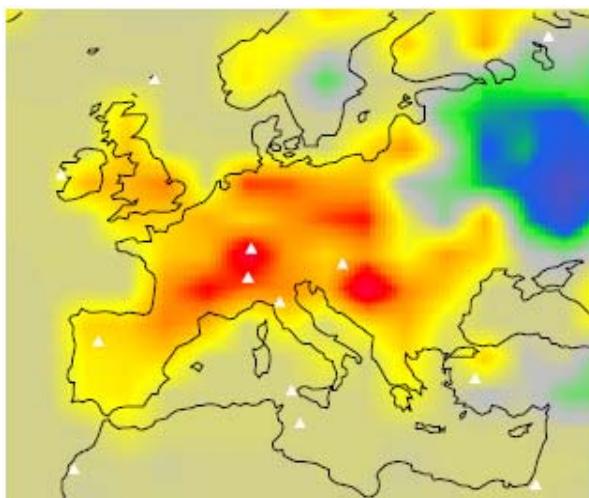
**MPI\_s96**

**MPI\_s99**

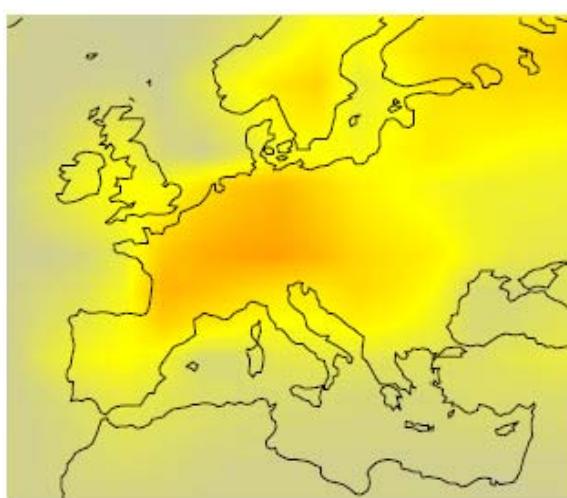
(ORCHIDEE / LPJ /  
JULES / BiomeBGC)

## Anomalie de flux : Juin – Juillet - Aout

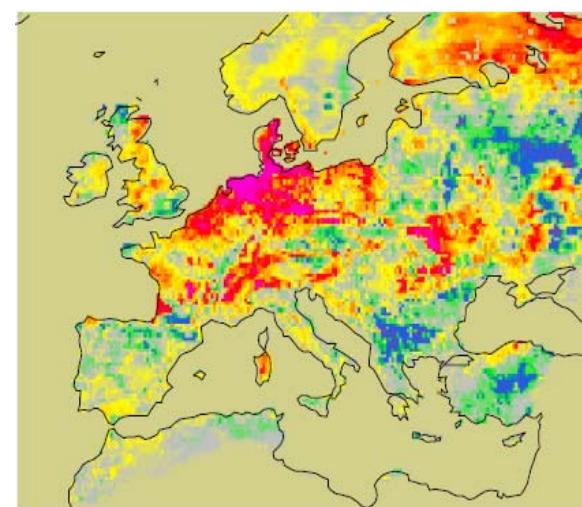
LSCE ref



MPI Ref



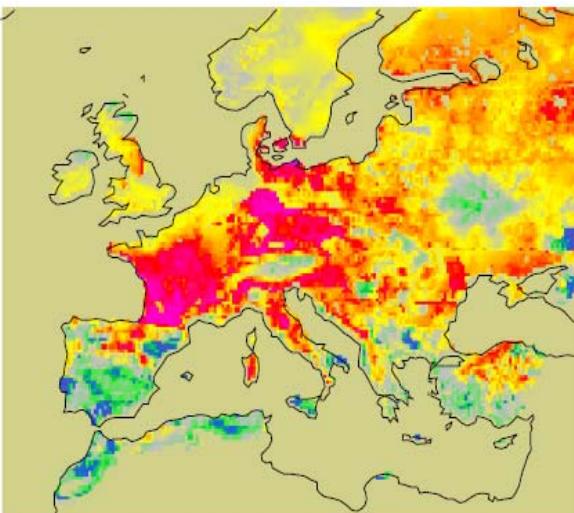
ORCHIDEE



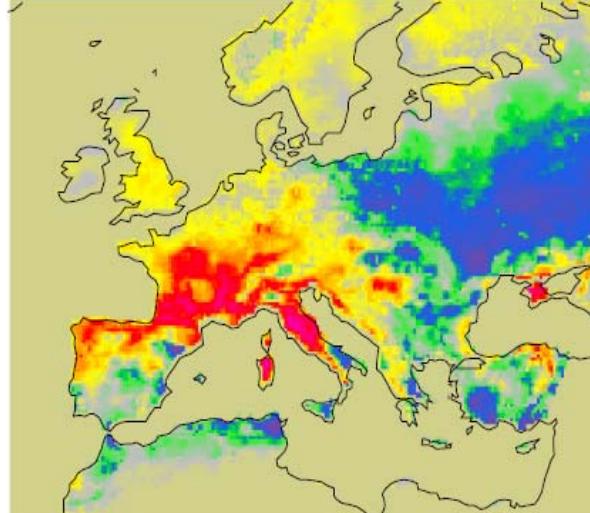
gC/m<sup>2</sup>/mth



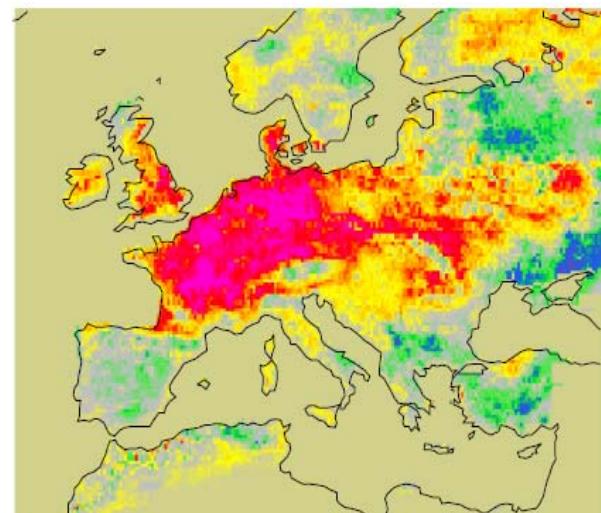
Biome BGC



JULES



LPJ



# Simulations des modèles : anomalie de GPP

Régression  
Obs , satel

Modèles  
diagnostique

Modèle  
mécaniste

