

CARBO-France :

Impact des extrêmes climatiques

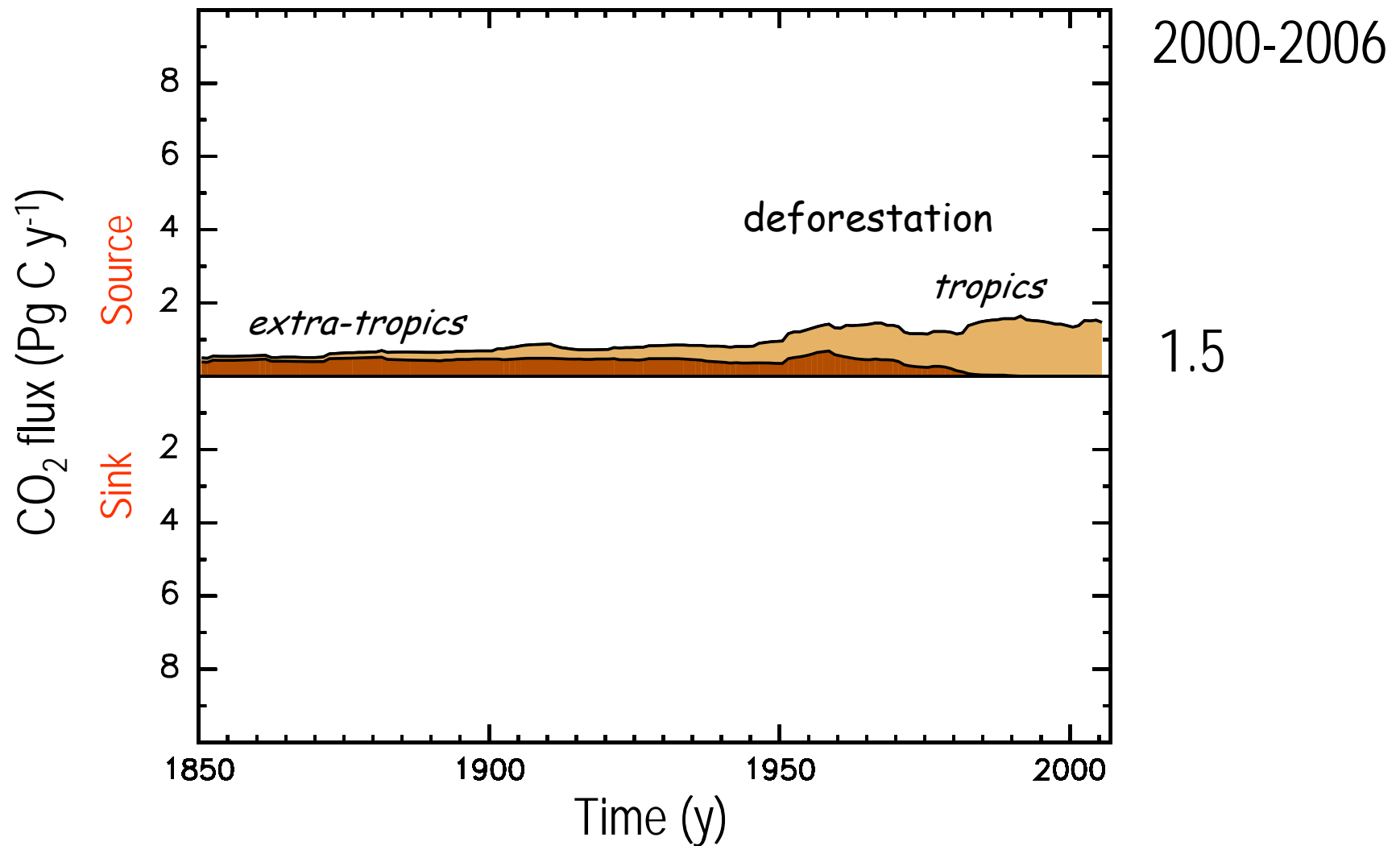
sur les flux de carbone

à l'échelle de la France

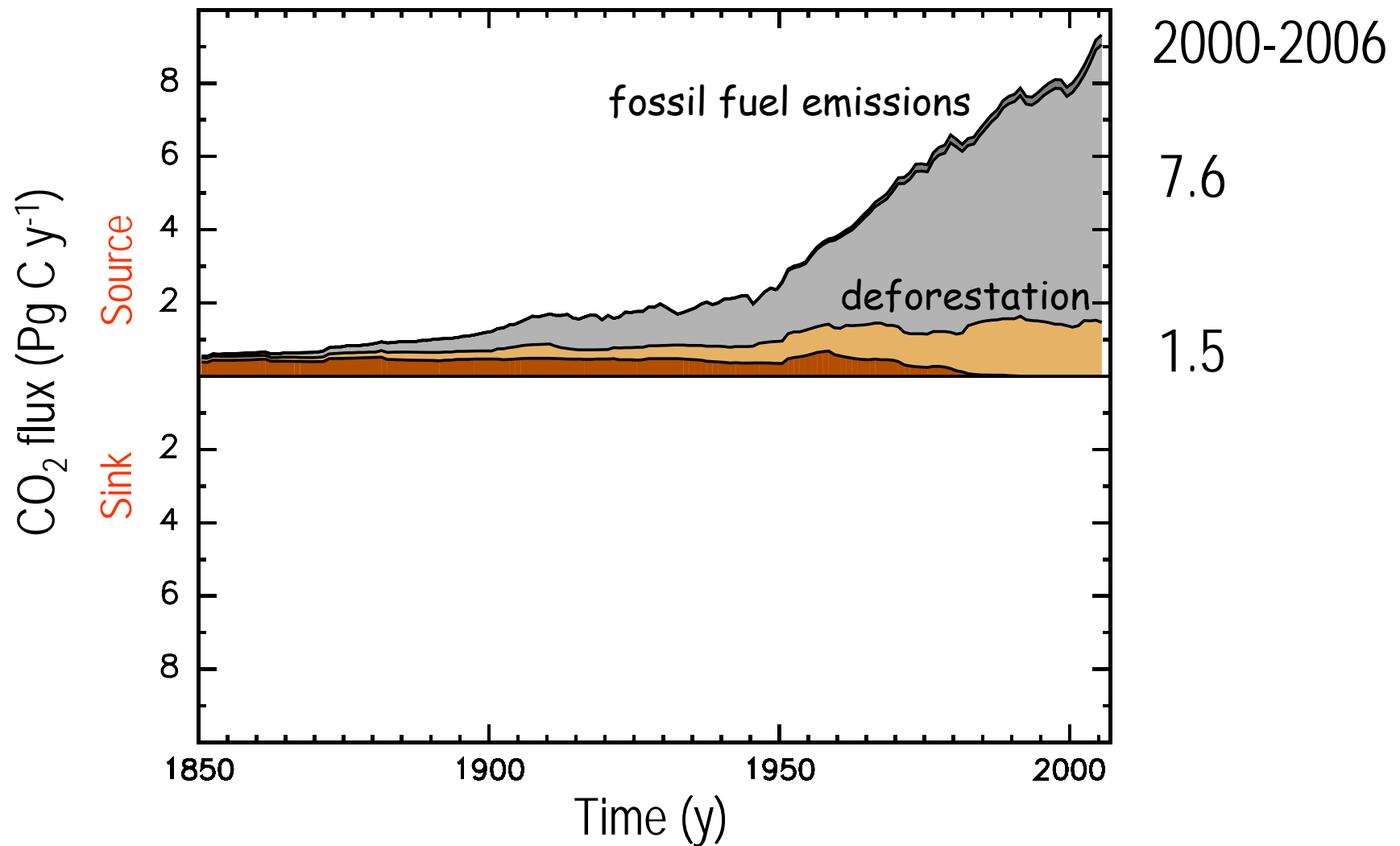
**P. Peylin, P. Ciais, A. Granier, D. Lousteau, J. C. Calvet,
N. Viovy,**

- **Démarrage tardif du projet officiellement Janvier 2008 !**
- **Résultats préliminaires...**
 - **compilation des données**
 - **préparation des simulations**
 - **première analyse de l'été 2003**

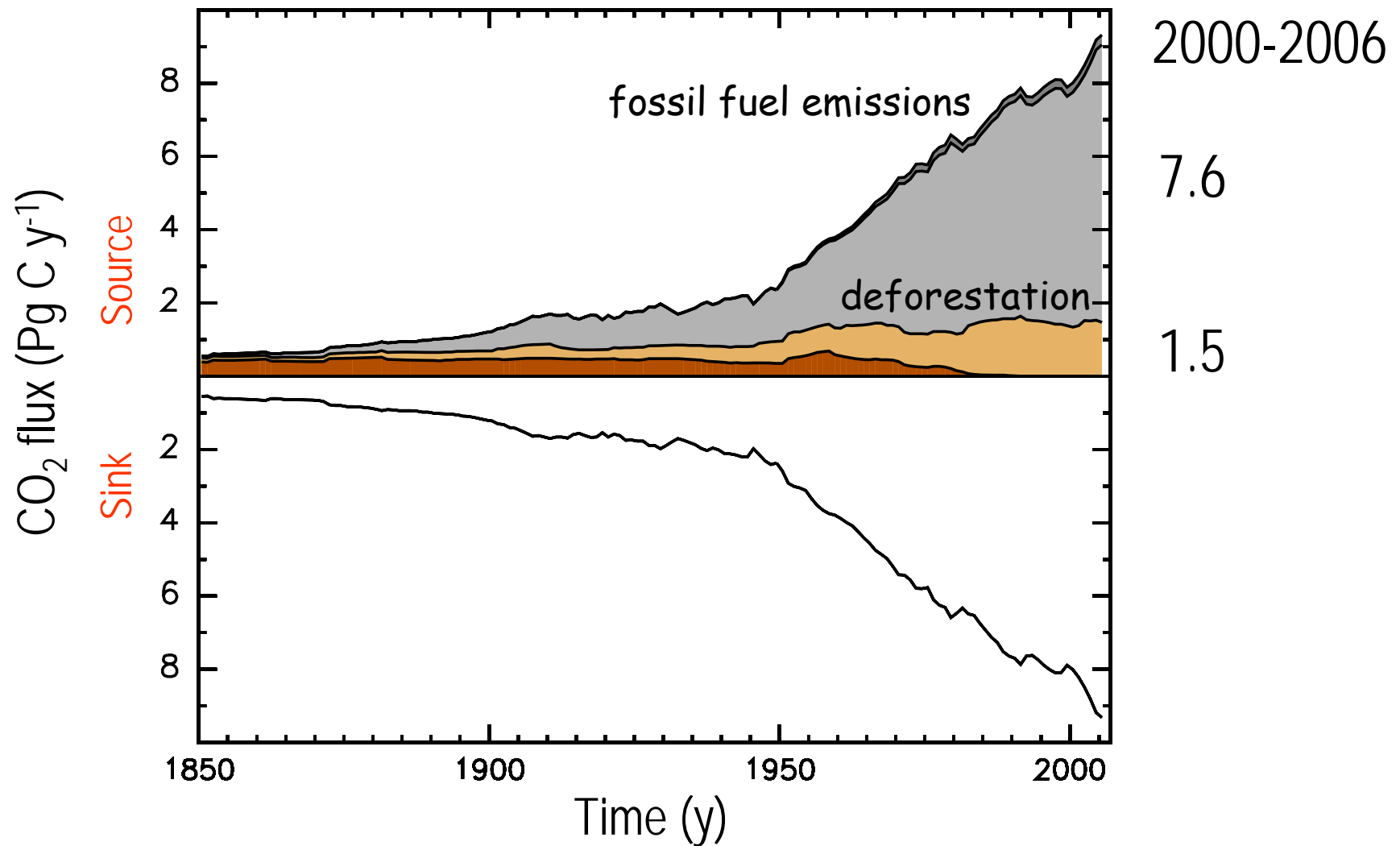
Perturbation globale du cycle du carbone (1850-2006)



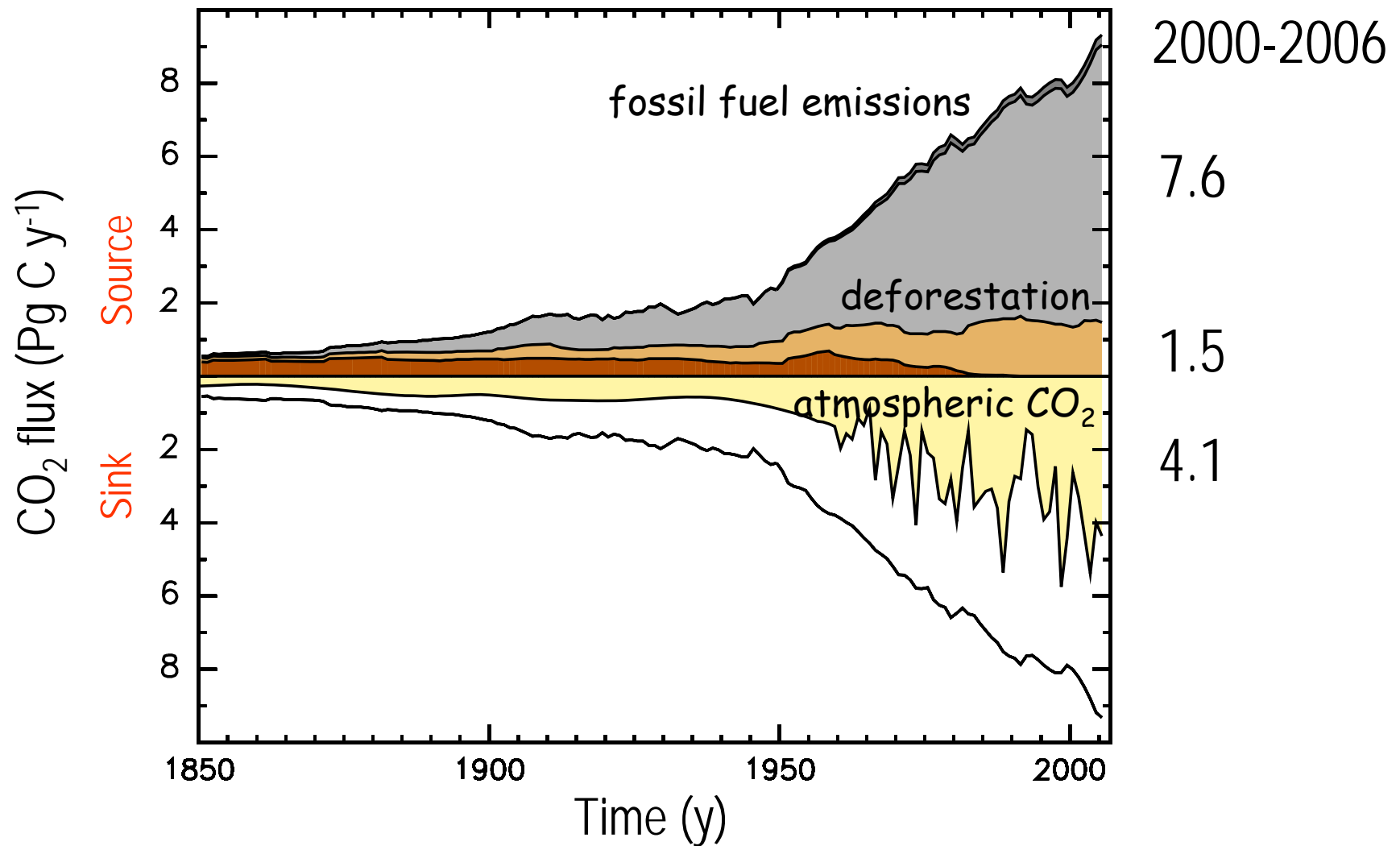
Perturbation globale du cycle du carbone (1850-2006)



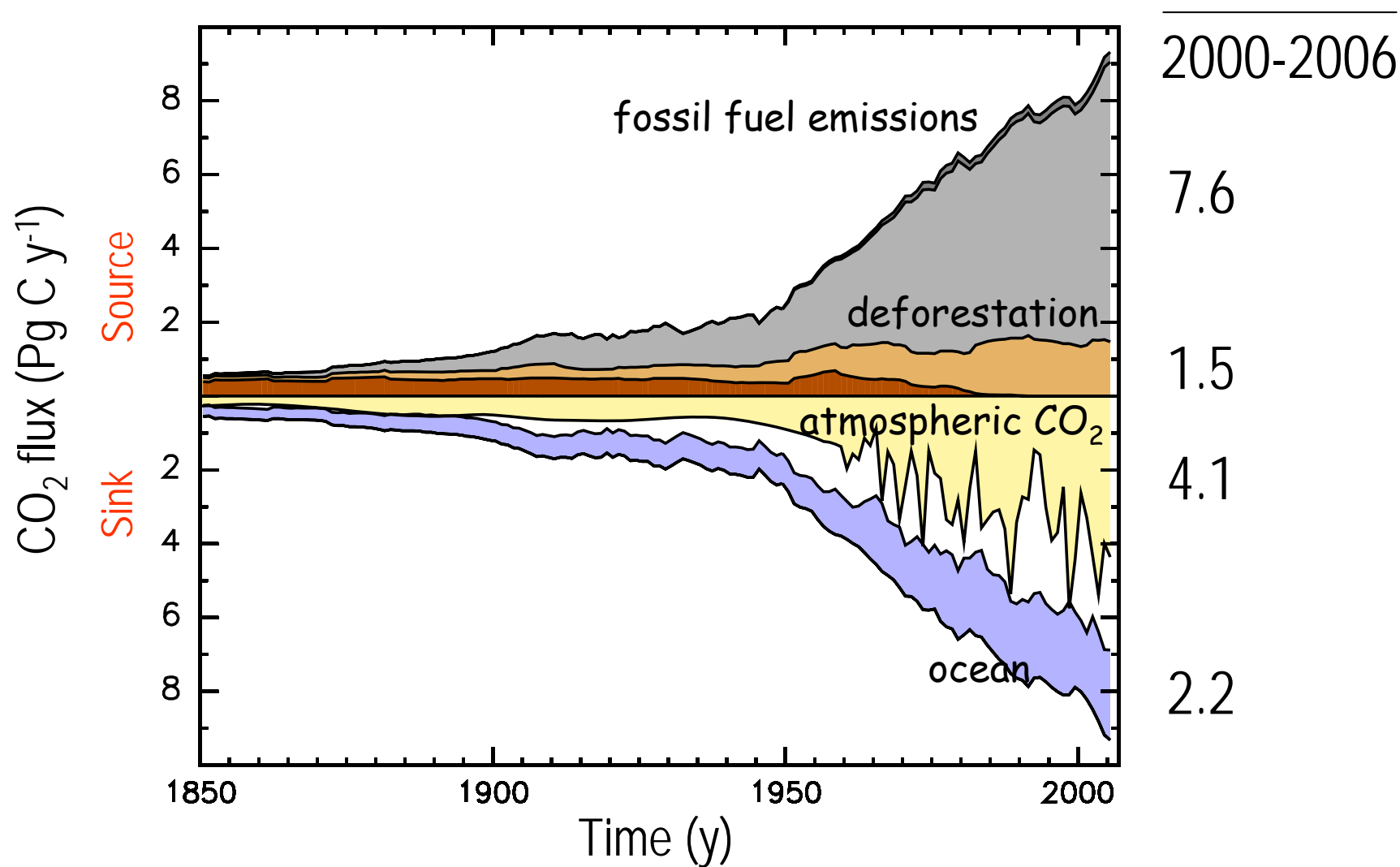
Perturbation globale du cycle du carbone (1850-2006)



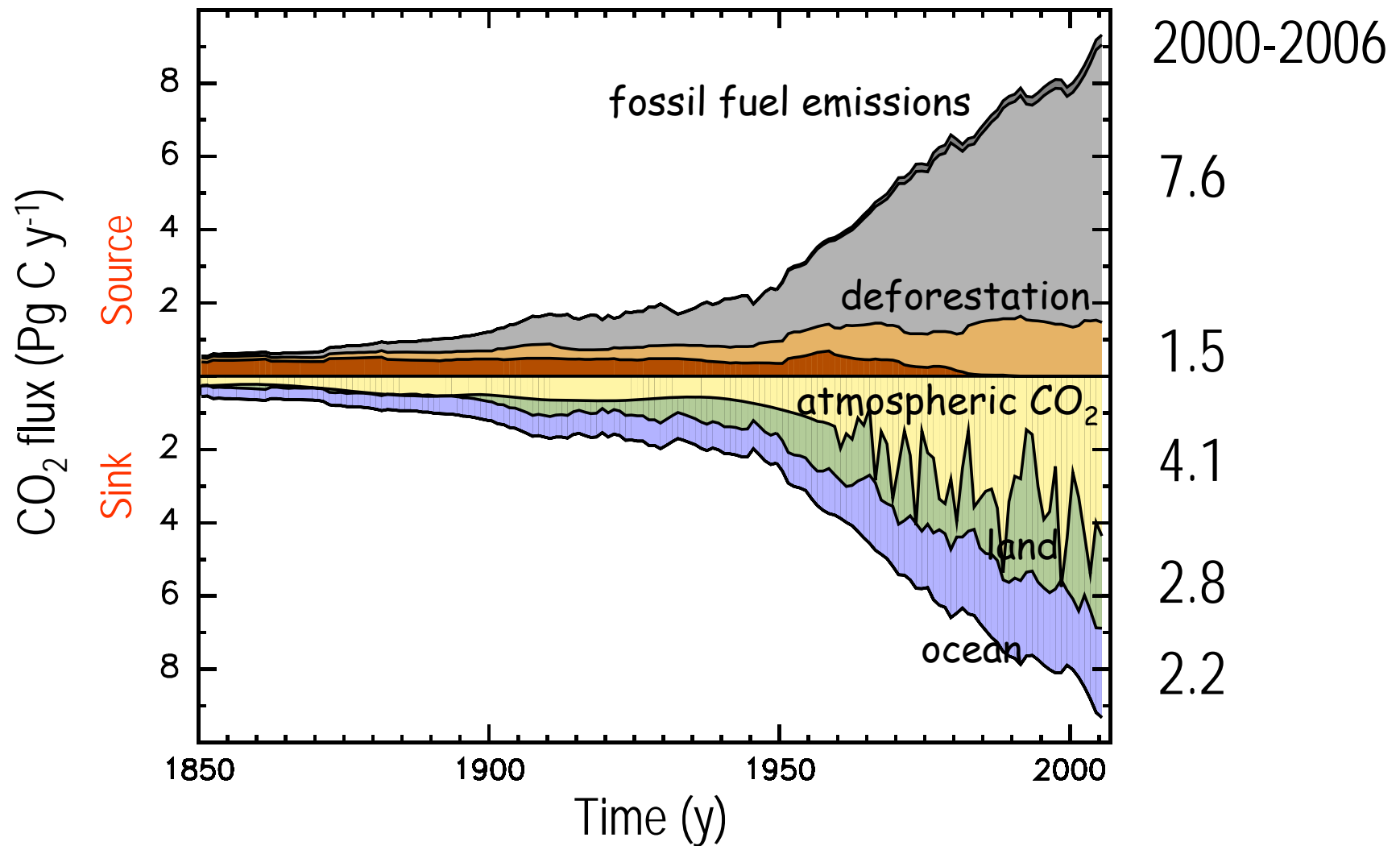
Perturbation globale du cycle du carbone (1850-2006)



Perturbation globale du cycle du carbone (1850-2006)



Perturbation globale du cycle du carbone (1850-2006)



Contexte de l'étude

- 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 ?

Approche envisagée

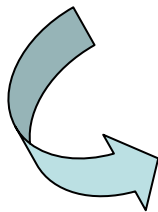
Etudes sur sites

Identifier & Quantifier
l'impact
des extrêmes climatiques



Améliorer

les paramétrisations
des modèles

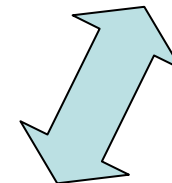


Simulations numériques
(ORCHIDEE & ISBA-Ags)
- Extrapolation spatiale
- Contexte Européen
& temporel

Comparaison /

« Validation » avec :

- Estimations inverses
- Mesures satellites (LAI)



2 Forçages climatiques

“sécheresses”

Europe
Moyenne résolution
ECMWF-ATEAM 20 km
+ changement utilisation sol

France
Haute résolution
SAFRAN 8 km



Modèles de biosphère
ORCHIDEE / ISBA-A-gs

Validation /
Nouvelles
param.

Comparaison

prédiction
Vérification

Flux
turbulents
(sites ateliers)

Obs. Satellite
(FAPAR / W-stress)

Inversions
Atmosphériques

Locale

Régional

Continental

Comparaison / validation
(différentes échelles)

Observations

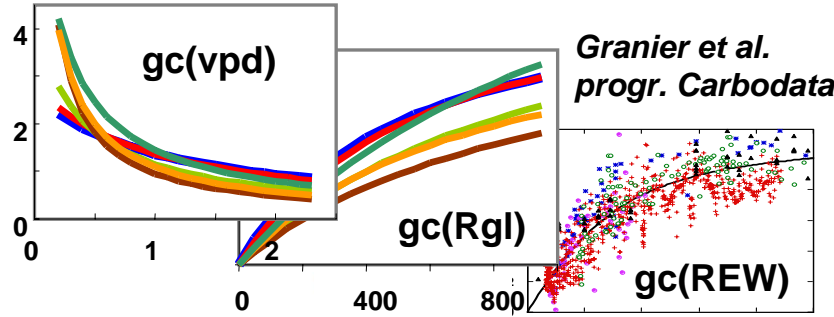
Analyse des 14 sites ateliers de CarboFrance

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

Analyse des transferts d'eau et de CO₂ pour 14 sites ateliers

Forçages climatiques : effets sur le fonctionnement des écosystèmes

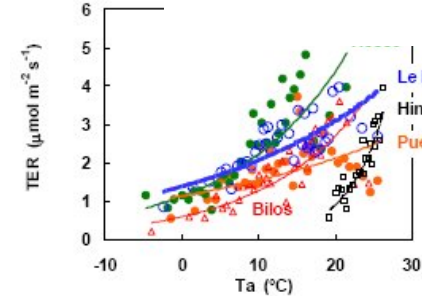
$$E, GPP, Reco = f(Rgl, vpd, T^{\circ}, REW, \dots)$$



Granier et al. progr. CarboData

Respiration du sol et événements climatiques extrêmes

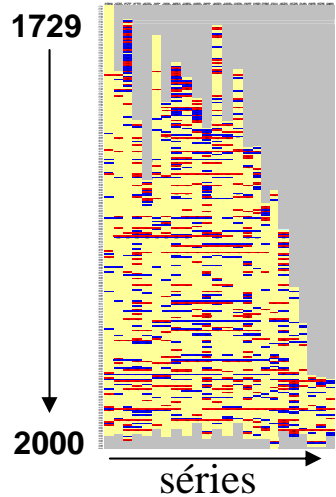
Cf. $R_{sol} \approx 50$ à 80% de $Reco$



Granier et al. 2008 progr. Carbofor

Bilan net de carbone, croissance des arbres et sécheresse

Ex: années caractéristiques en dendroclimatologie; bases de données EEF

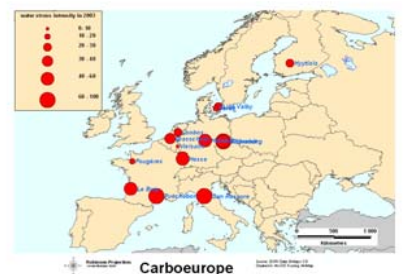


année caractéristique positive
année caractéristique négative

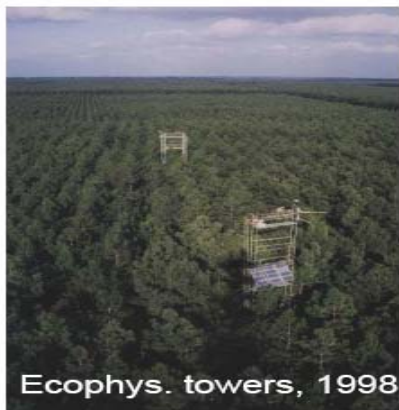
Badeau, comm pers.

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

Ex: 2003 sur les bilans de carbone

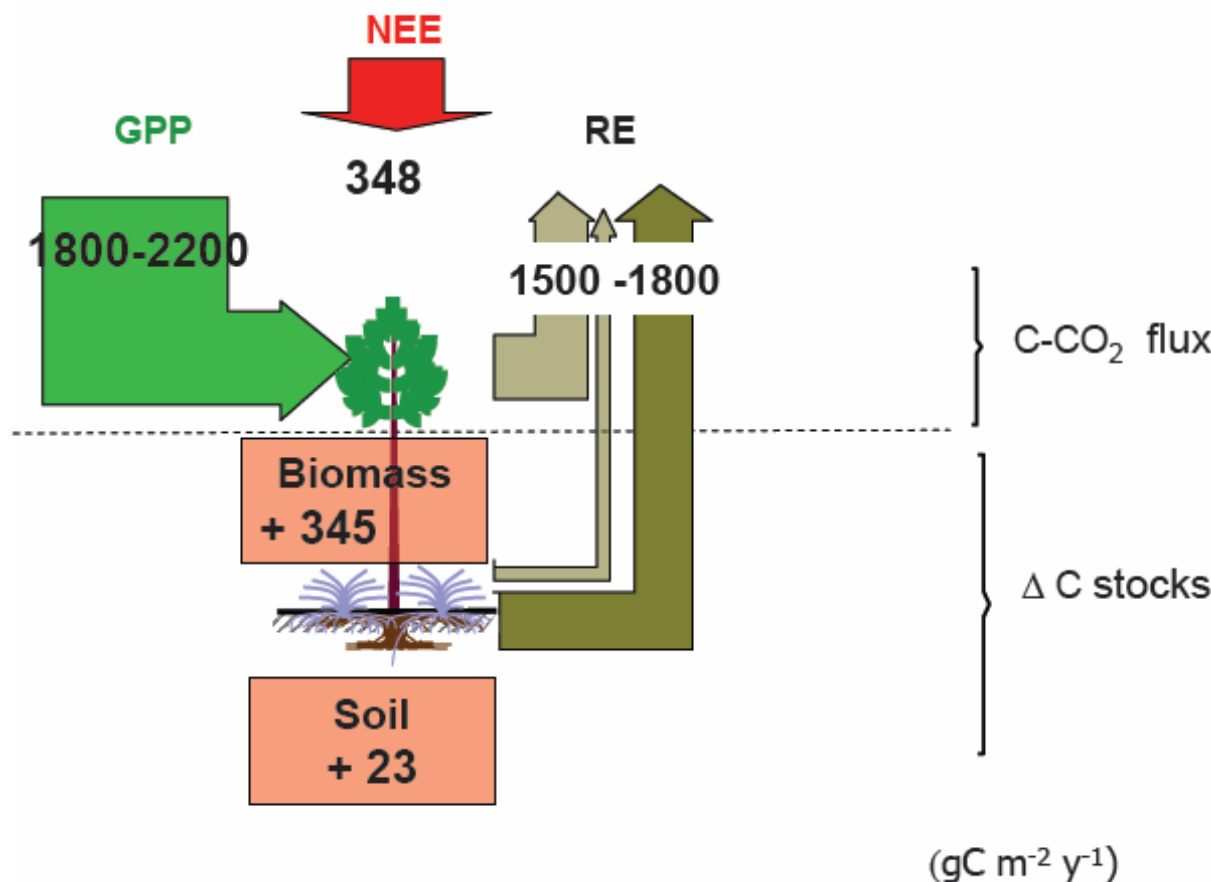


Site forestier du Bray (pin-maritime)



- Impact du contrôle hydrique s'accroît
- Matière organique dans humus très variable
- Importance de la non-stationnarité du carbone sol dans les bilans annuels

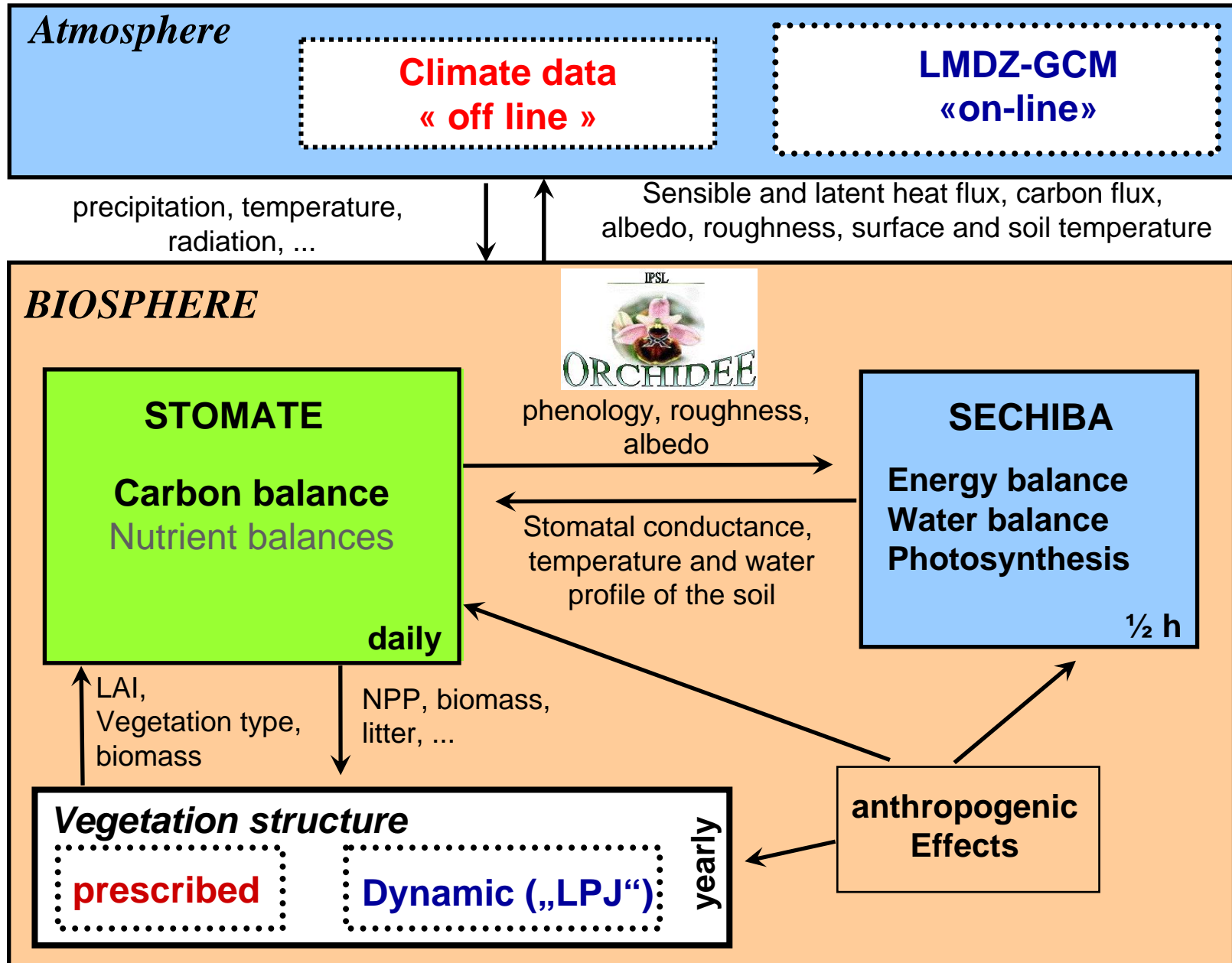
Bilan Carbone moyen sur 10 ans



**Utilisation de 2 modèles globaux
de la biosphère continentale**

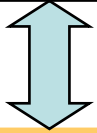
- ORCHIDEE (IPSL)**
- ISBA-A-gs dans SUFEX (Météo-France)**

Modèle ORCHIDEE



Modélisation du cycle du carbone dans SURFEX (*Météo-France*)

Modèle Atmosphérique
ou
Données de forçage



SurfEx

Initialisation
Diagnostics
Entrées/sorties

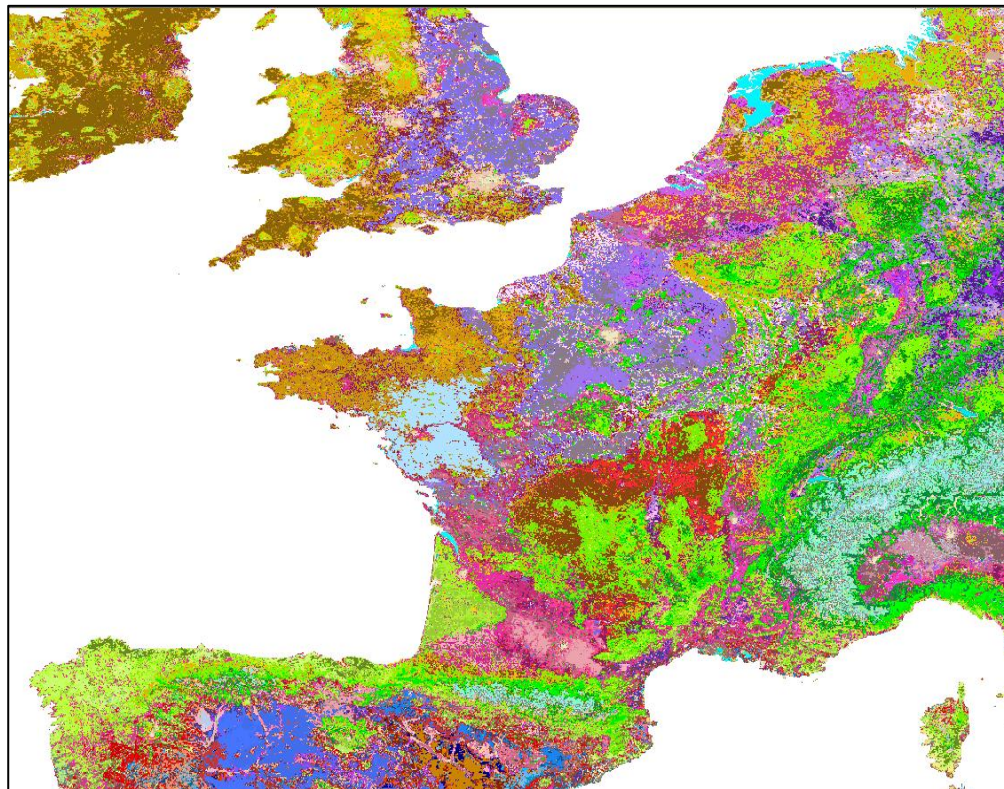
Mers/ Océans	Lacs
Sol nu/ végétation	Villes

- **SurfEx** : code de surface externalisé: unique pour différentes applications (recherche, modèles opérationnels de Météo-France)
- **Approche**:
 - ISBA-A-gs dans SurfEx: système de transfert sol-végétation-atmosphère
 - Utilisation de la télédétection pour l'initialisation, la prescription de paramètres et l'assimilation dans les modèles.
- **2008-2011** :
 - enrichissement du code
 - Valorisation / comparaison données in situ

Préparation des forçages pour les simulations

➤ ECOCLIMAP 2

- Une base de données physiographiques pour les modèles de surface
- Résolution 1km sur l'Europe
- pour la classification des couvertures
 - Variations interannuelles
 - Distinction cultures été/hiver



Classes de couvertures ECOCLIMAP 2

➤ Forçage atmosphérique:

SAFRAN 8km résolution

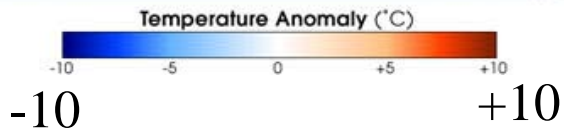
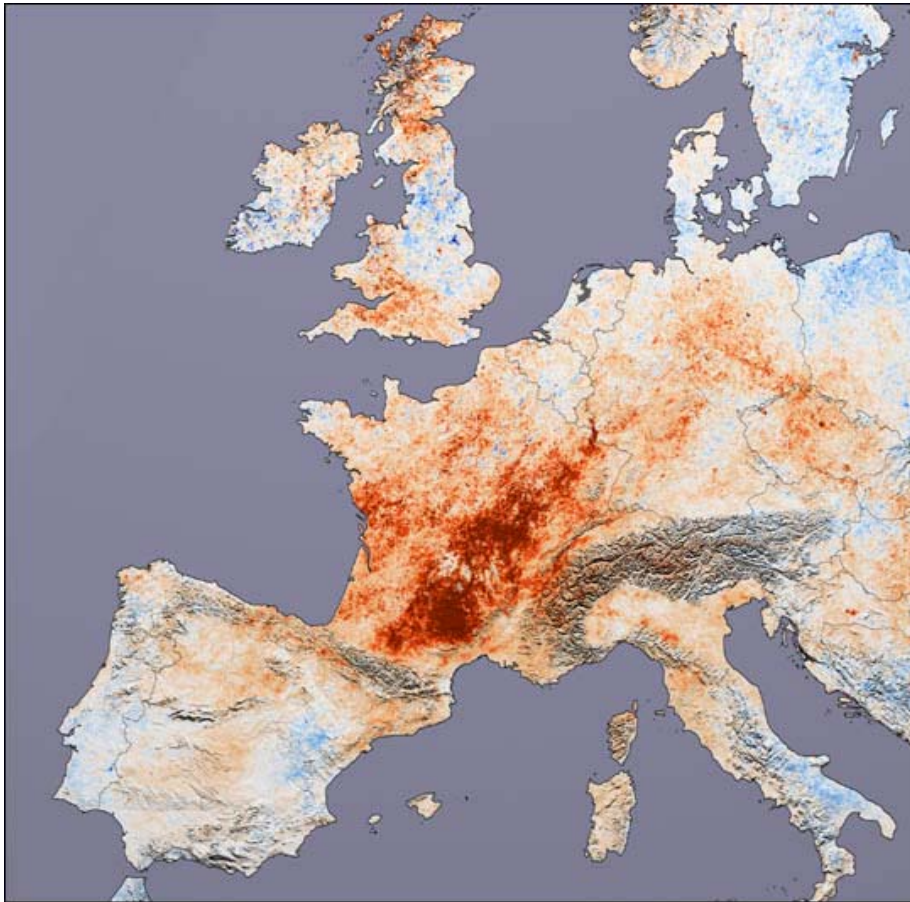
(1995-2005)

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

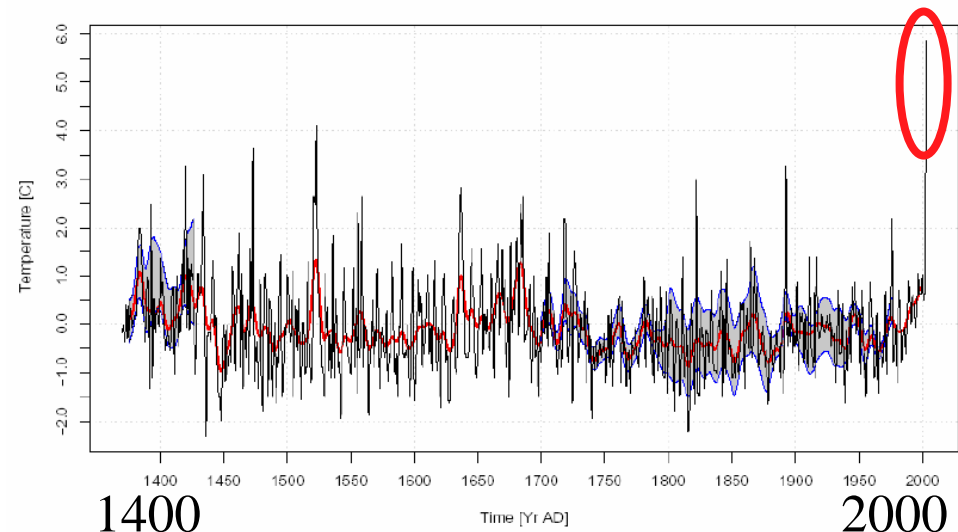


Variabilité climatique : la vague de chaleur 2003

Anomalie de température : Juillet 2003



Température en Juillet en bourgogne !



1400

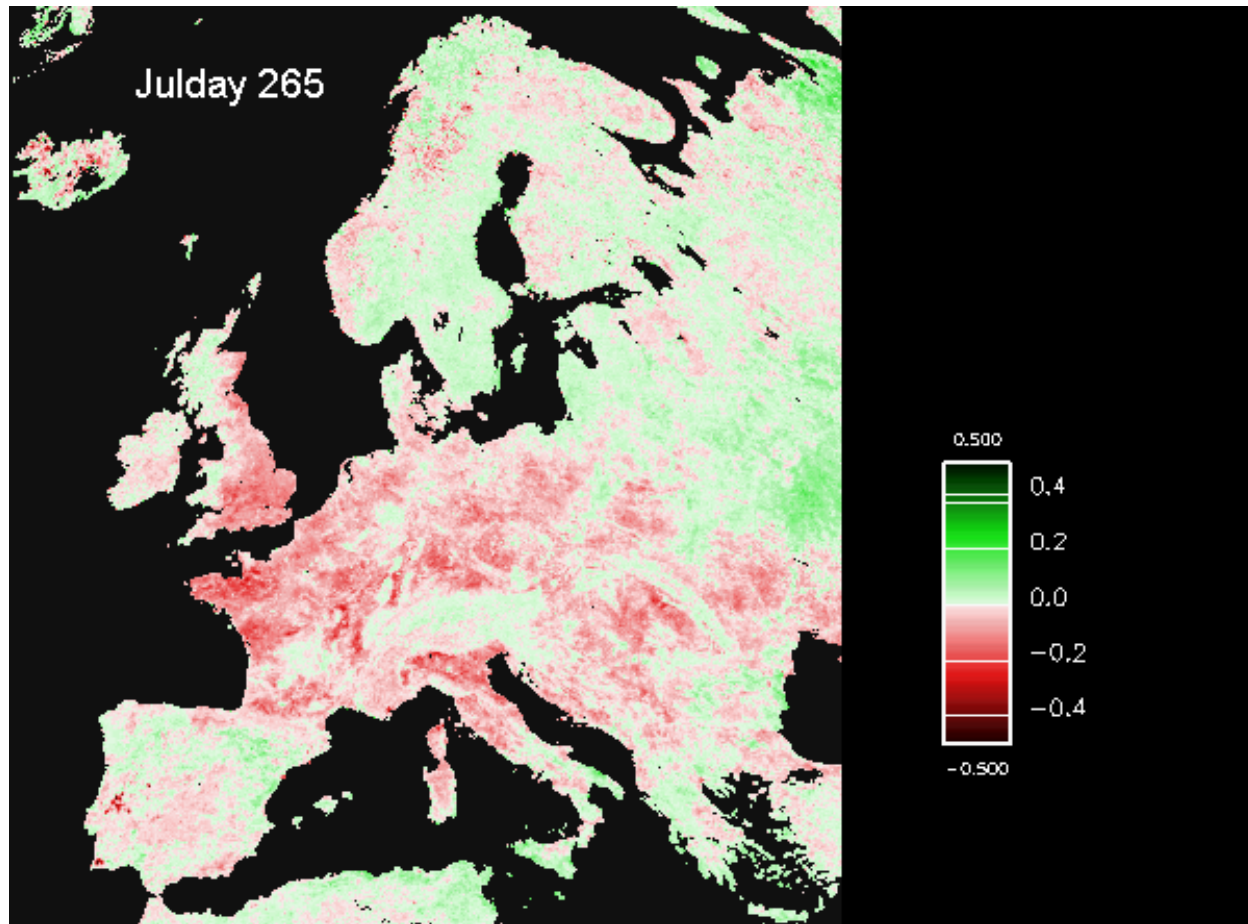
Time [Yr AD]

2000

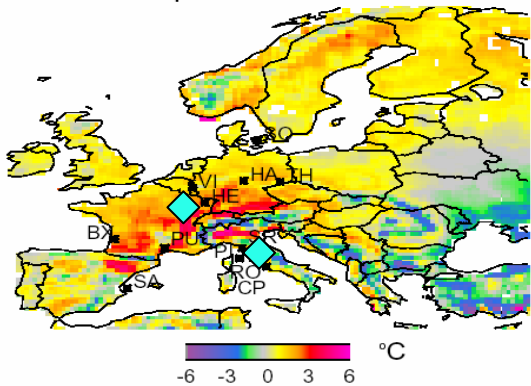
Années

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

FAPAR anomaly 2003 from MODIS (unitless)



Reichstein et al., 2006

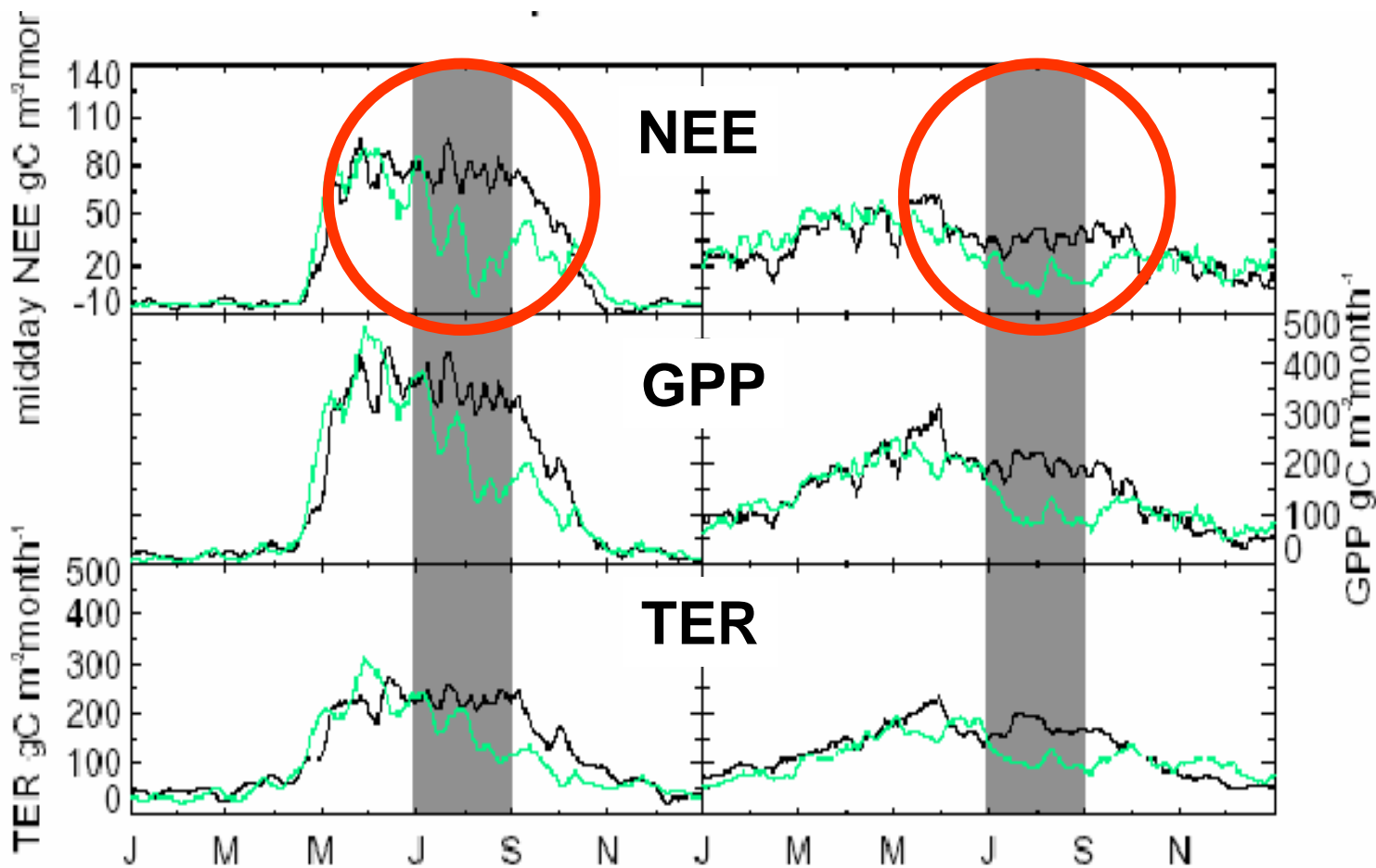


Mesures de flux (forêts)

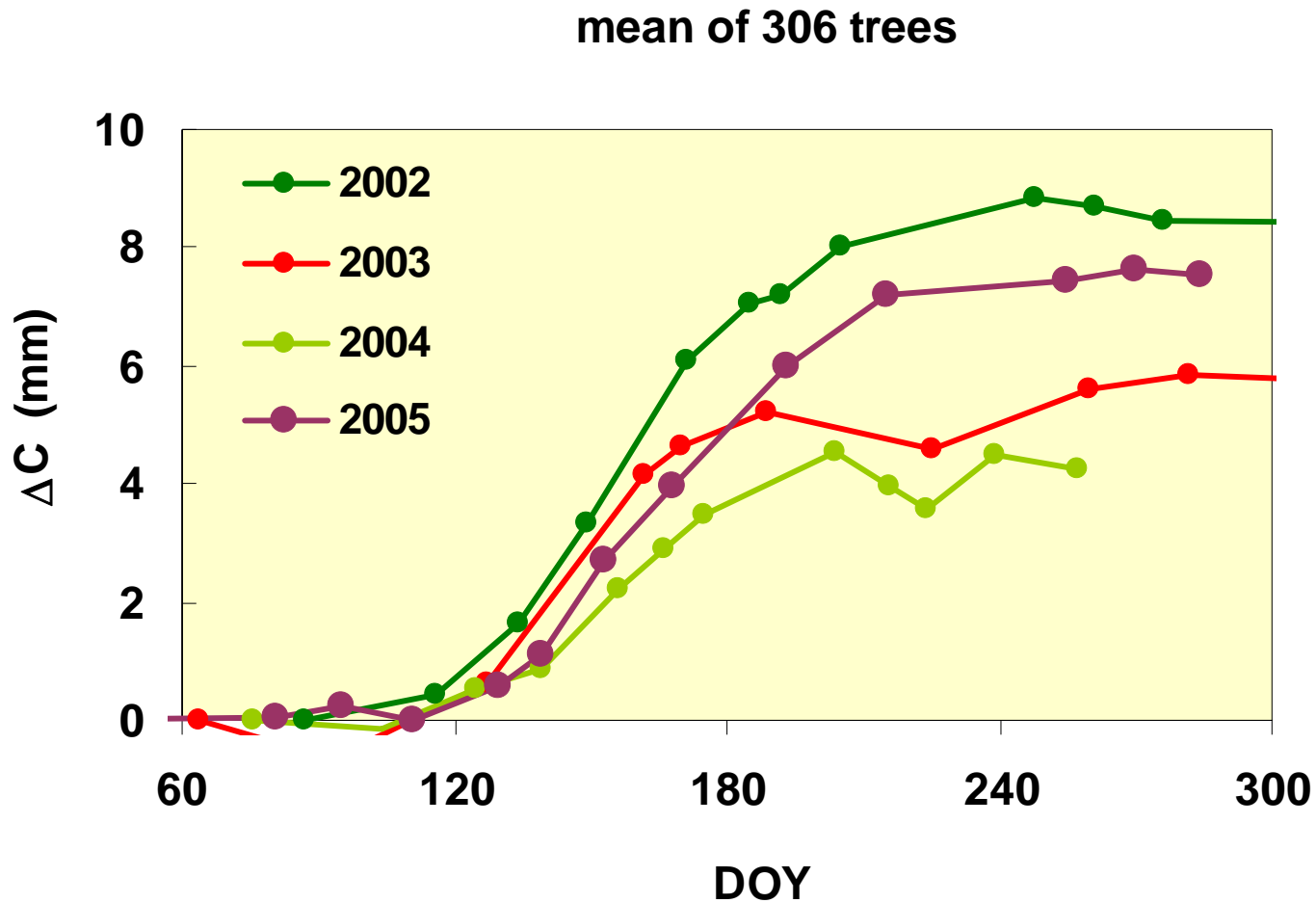
Hesse
Forêt de hêtre, Nancy

SanRossore
Forêt de pin, Italie

2002
2003

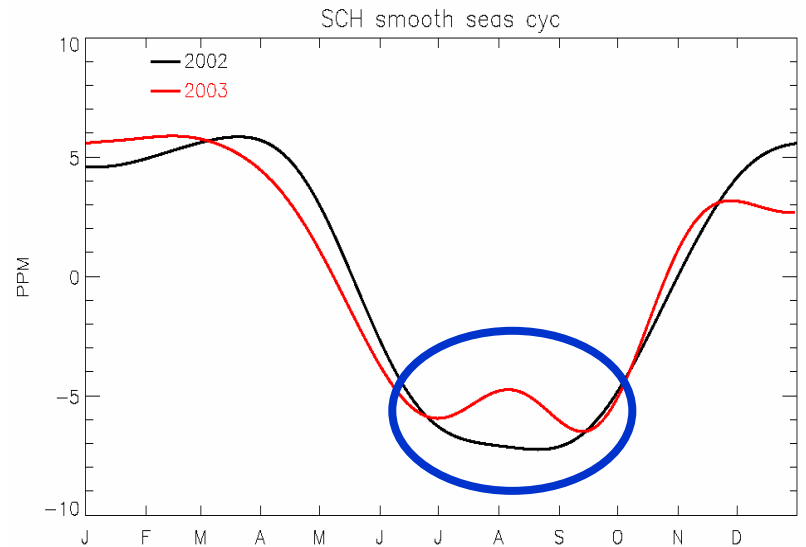
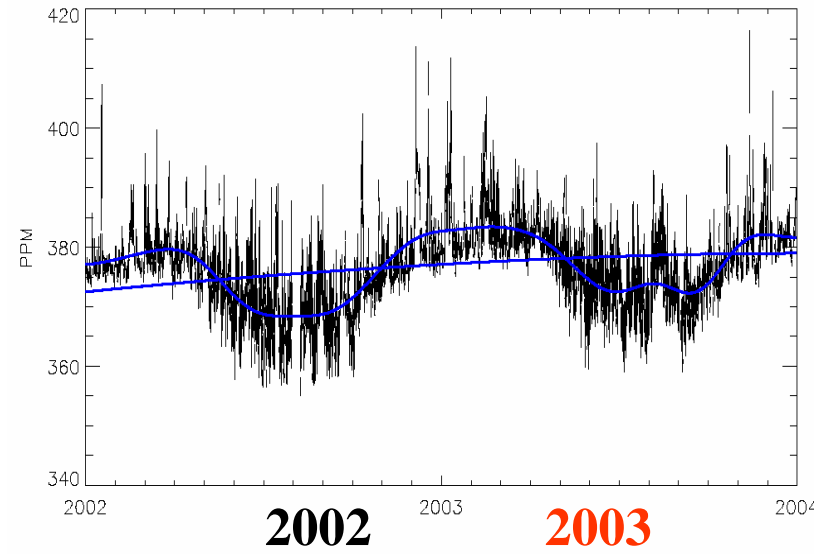
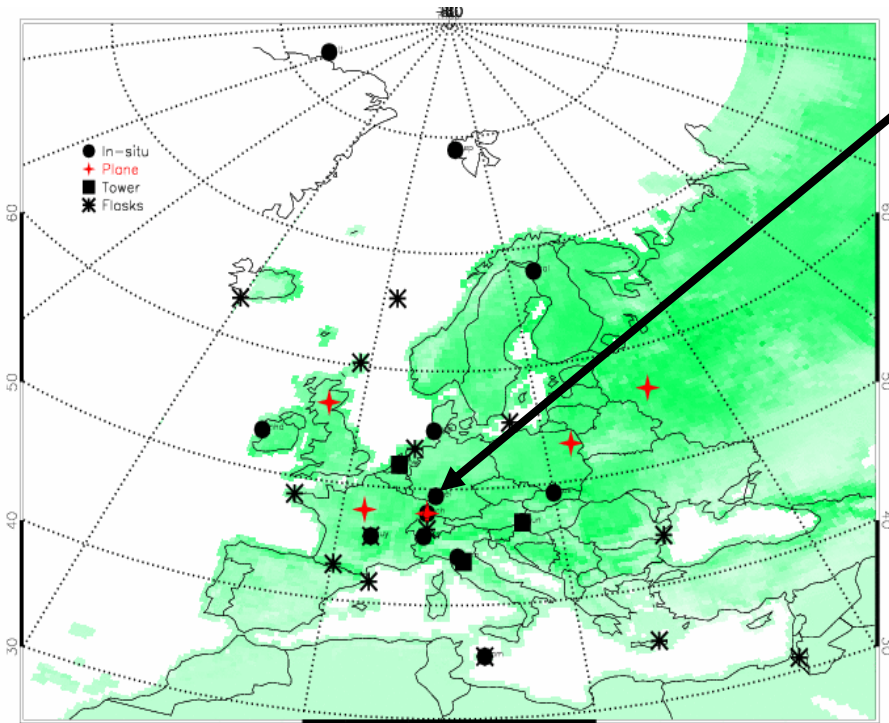


Effet différé de la sécheresse 2003 sur l'accroissement de la taille des troncs (Jeune forêt de Hêtre: Hesse, Nancy)

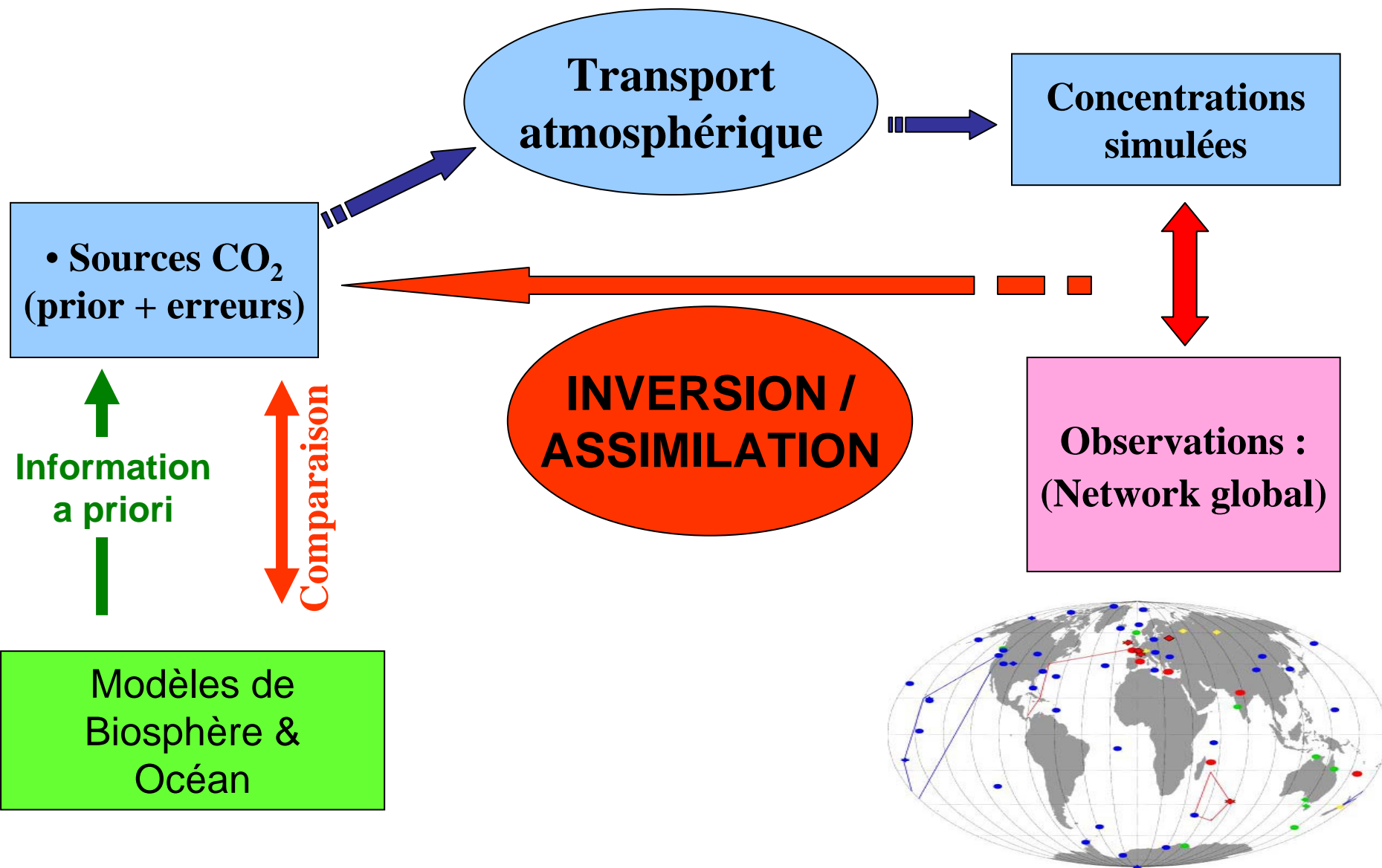


Le signal atmosphérique

Schauinsland, 1200 m (Allemagne)

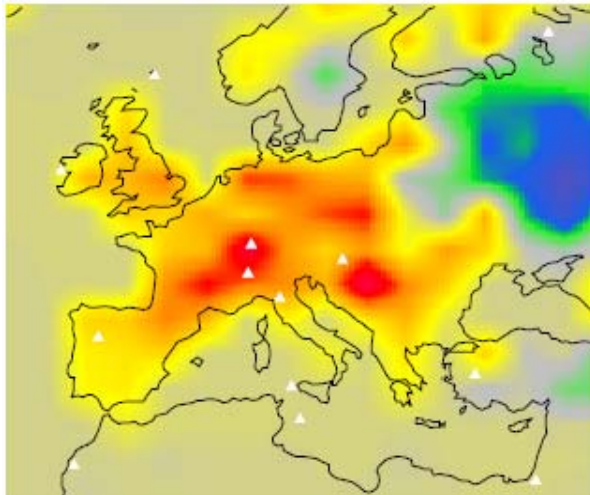


Principe d'une inversion atmosphérique..

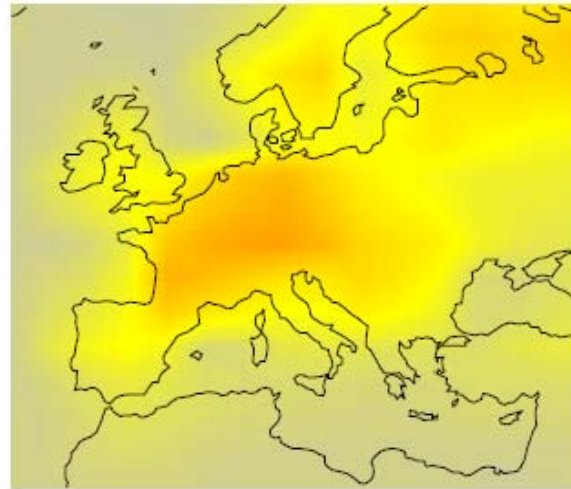


Anomalie de flux : Juin – Juillet - Aout

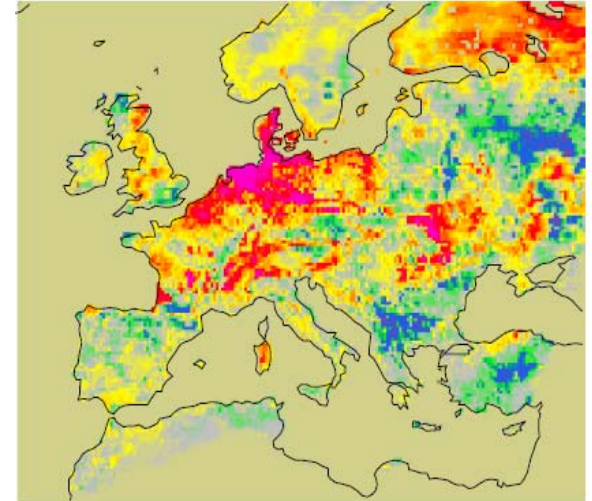
LSCE ref



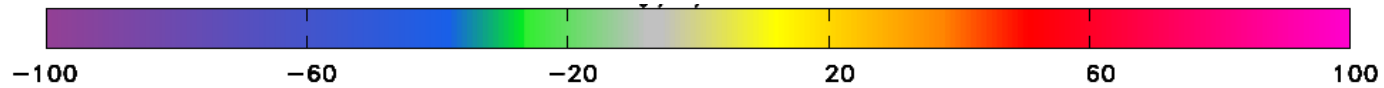
MPI Ref



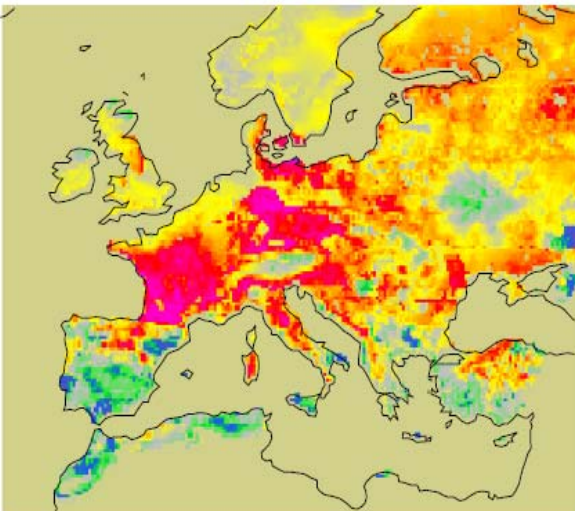
ORCHIDEE



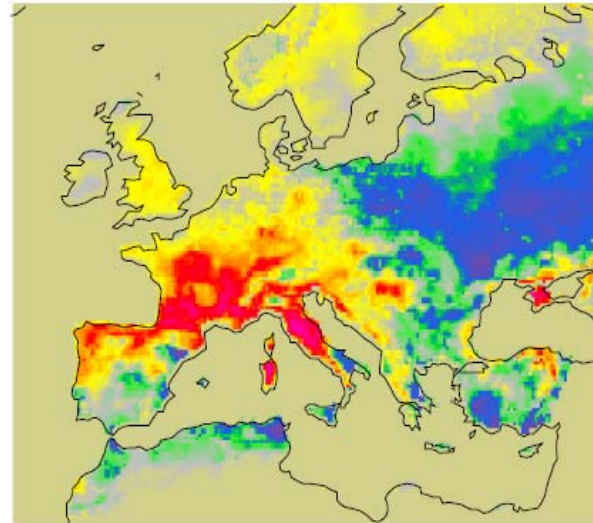
gC/m2/mth



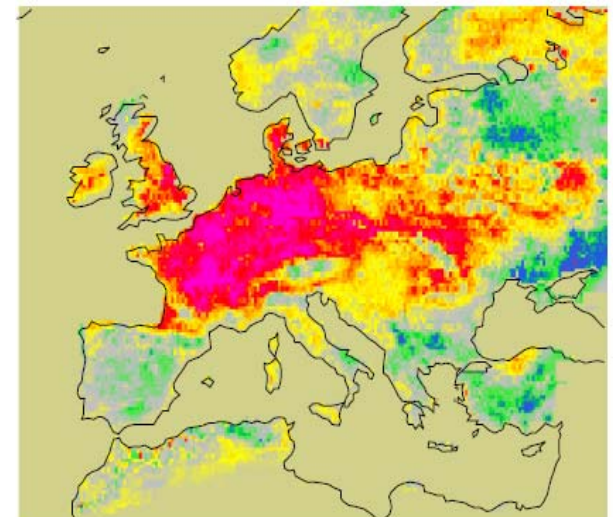
Biome BGC



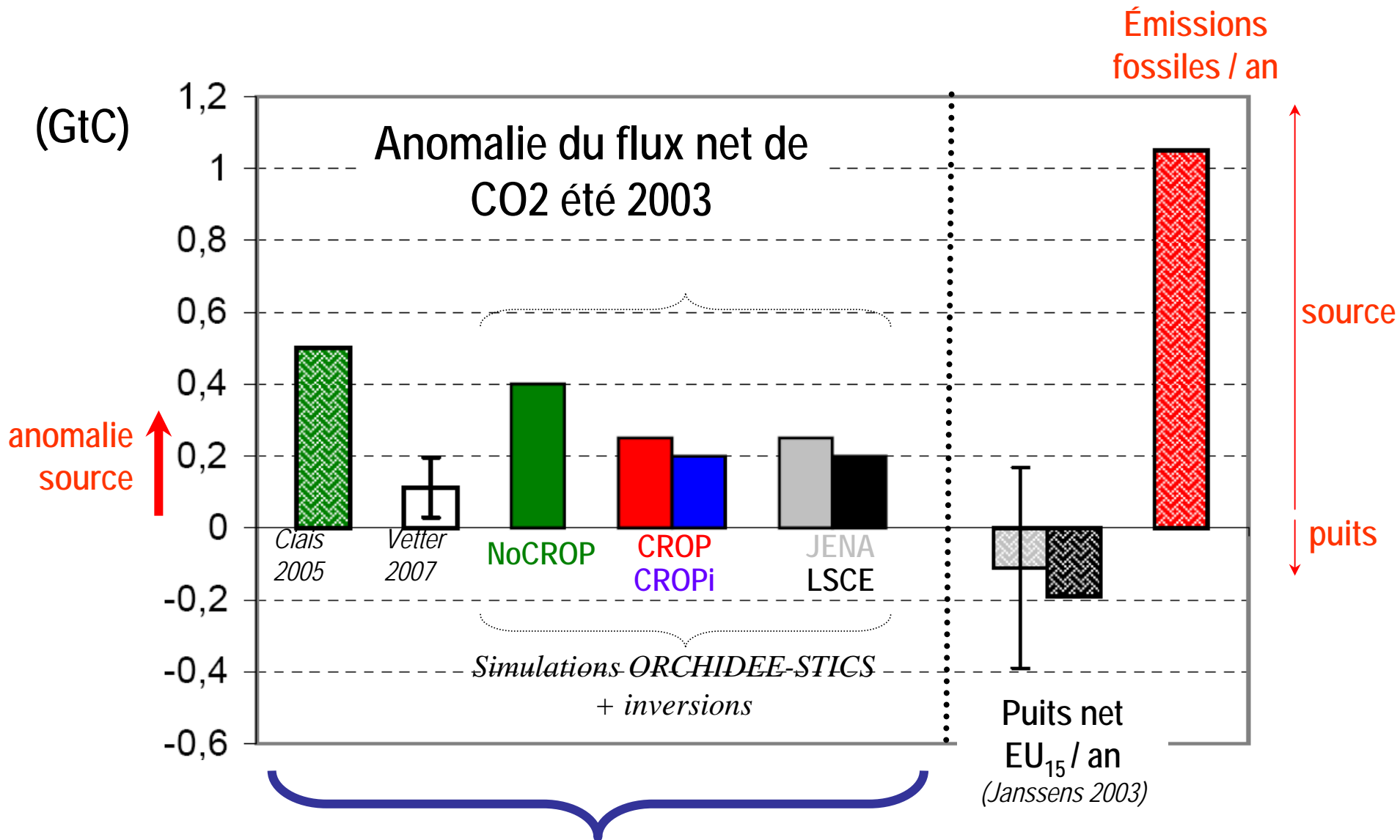
JULES



LPJ



Bilan de Carbone Européen : 2003 vs moyenne !



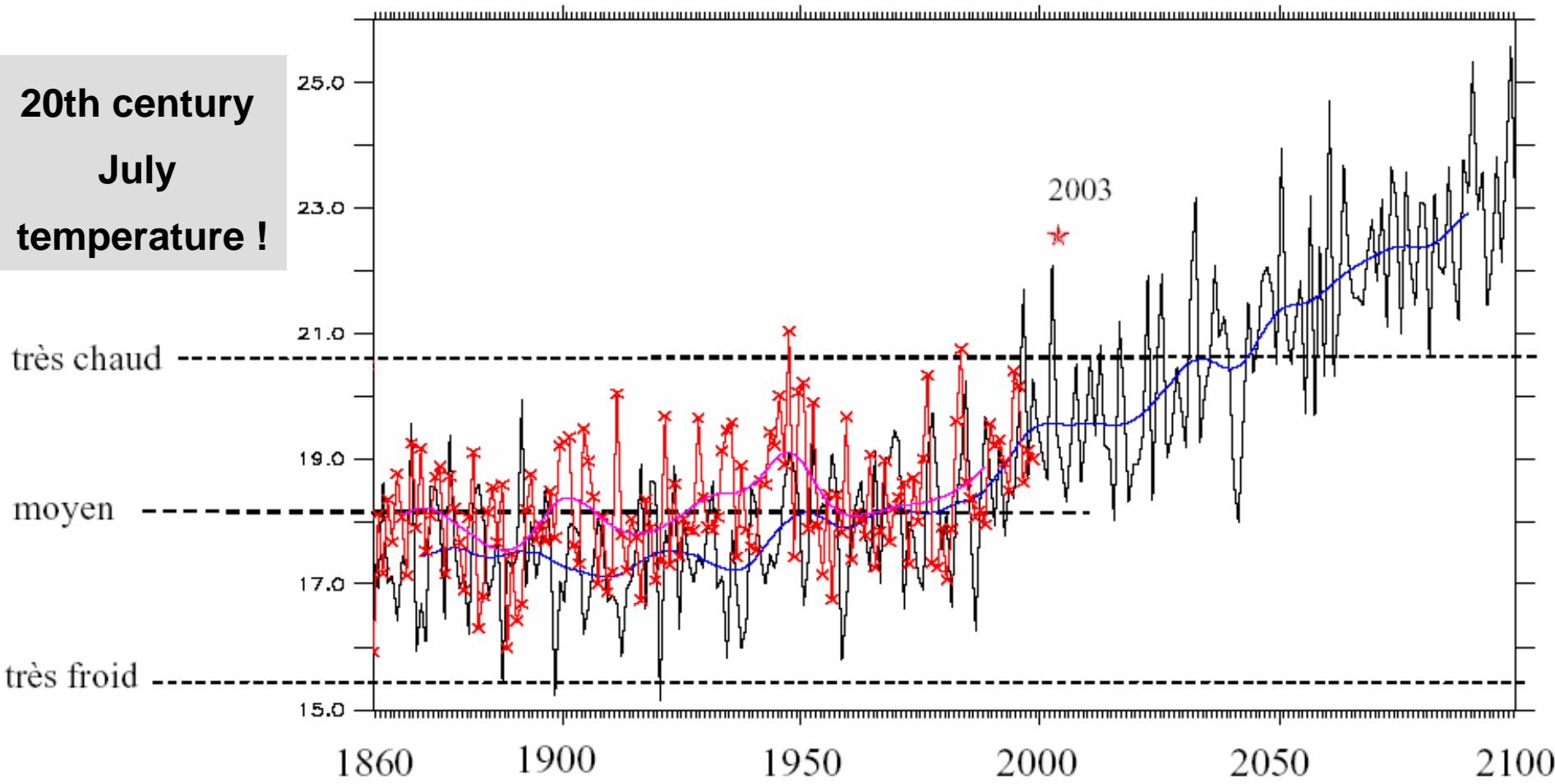
Estimations encore très différentes

Spéculations ?

- Dans le future, les impacts négatif des extrêmes 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)

20th century
July
temperature !



Model

Model mean
over 50 year

Observations
20^{ème} siècle

Réservoir de carbone estimés !

Il reste d'énormes quantités de carbone fossile
L'addition de carbone fossile dans les réservoirs
océan+atmosphère+bio n'est pas réversible en moins de 10^5 ans

Atmosphère 800 PgC (2004)

Biomasse
~500 PgC

N. Gas
~260 PgC

Pétrole
~270 PgC

sols
~1,500 PgC

charbon
5,000 to 8,000 PgC

Réservoirs de carbone

Unconventional Fossil Fuels
15,000 to 40,000 PgC

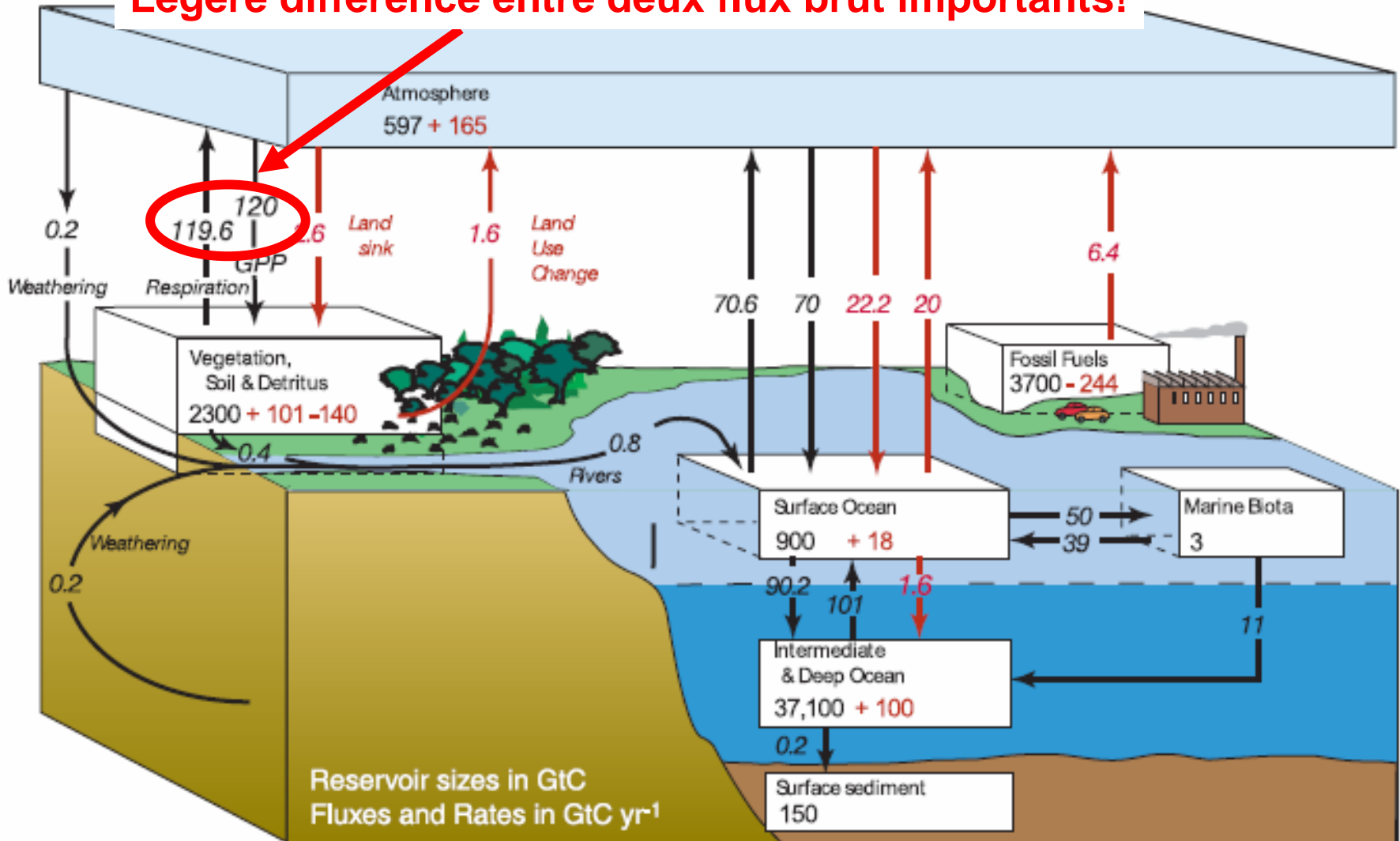
Spécificités du projet CaboFrance

- Projet **“Intégré”** relatif au cycle du carbone biosphérique
- Regroupe **3 axes scientifiques complémentaires**:
 - Approche expérimentales: mesures ecophysiologiques sur sites
 - Modélisation “directe” mécaniste
 - Approches “inverse” et mesures satellites
- Regroupe **une grande partie de la communauté Française**
 - 12 laboratoires
 - CNRS / INRA / Meteo-France / CEA

Matériel additionnel

Cycle global du carbone

Légère différence entre deux flux brut importants!



Analyse des mesures sur sites Etude des évènements extrêmes

Fonctions de réponse
des écosystèmes

Impact
des sécheresses
Successives
(2003 / 2005)

**14 sites ateliers
Français**

Flux de respiration
des sols

Validation
des produits
satellites

Relations
Carbone / croissance
/ sécheresse

➔ **Nouveaux paramétrages pour les modèles**

Simulations numériques « directes »

➤ Simulations 1995-2005 ; Haute resolution

- *Modèles* : ORCHIDEE & ISBA-A-gs
- *Forçage* : SAFRAN (8 km)
- *Utilisation des terres*: CORINE + Météo-France

➔ Extrapoler les résultats sur sites à la France

➤ Simulations 20^{ème} siècle ; Moyenne resolution

- *Modèle* : ORCHIDEE
- *Forçage* : NCEP; ECMWF; CRU/NCEP (50 km)
- *Utilisation des terres*: CORINE + PELCOM+UMD

➔ Replacer anomalies 2003/2005 dans contexte Européen et décennie

Comparaison & Validation

➤ Inversion atmosphériques haute résolution

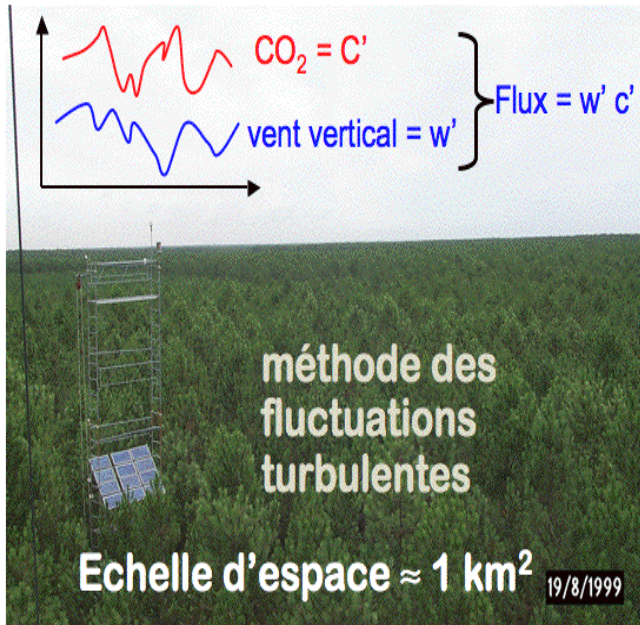
- *Modèles* : LMDz zoomé sur l'Europe ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$)
 - *Mesures CO2* : Plus de 15 sites (mesures continues)
 - *Approche*: Flux journalier par pixel; approche Bayesienne
- ➔ Comparer les anomalies de flux sur de grandes échelles

➤ Produits satellites : LAI & FAPAR

- *Instruments* : Modis, Vegetation, ...
 - *Résolution* : 1-8 Km ; 1 image par semaine
- ➔ Validation de extension spatiale/temporelle
des anomalies simulées

Observations : Différentes échelles

Mesures pour Des écosystèmes



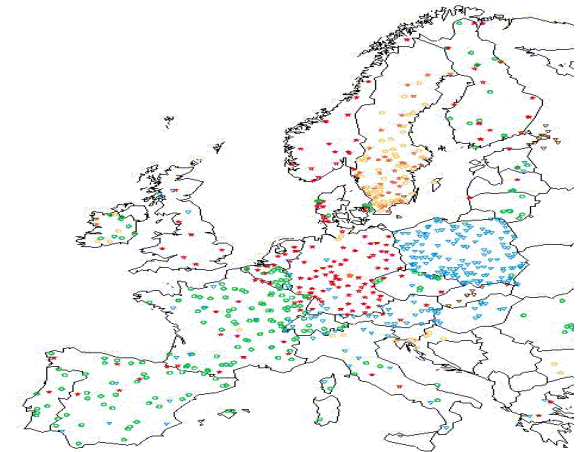
Flux CO_2 , eaux, et
énergie

Inventaires Carbon sol



Texture
Nutriments
Composition
chimique

Inventaires biomasse

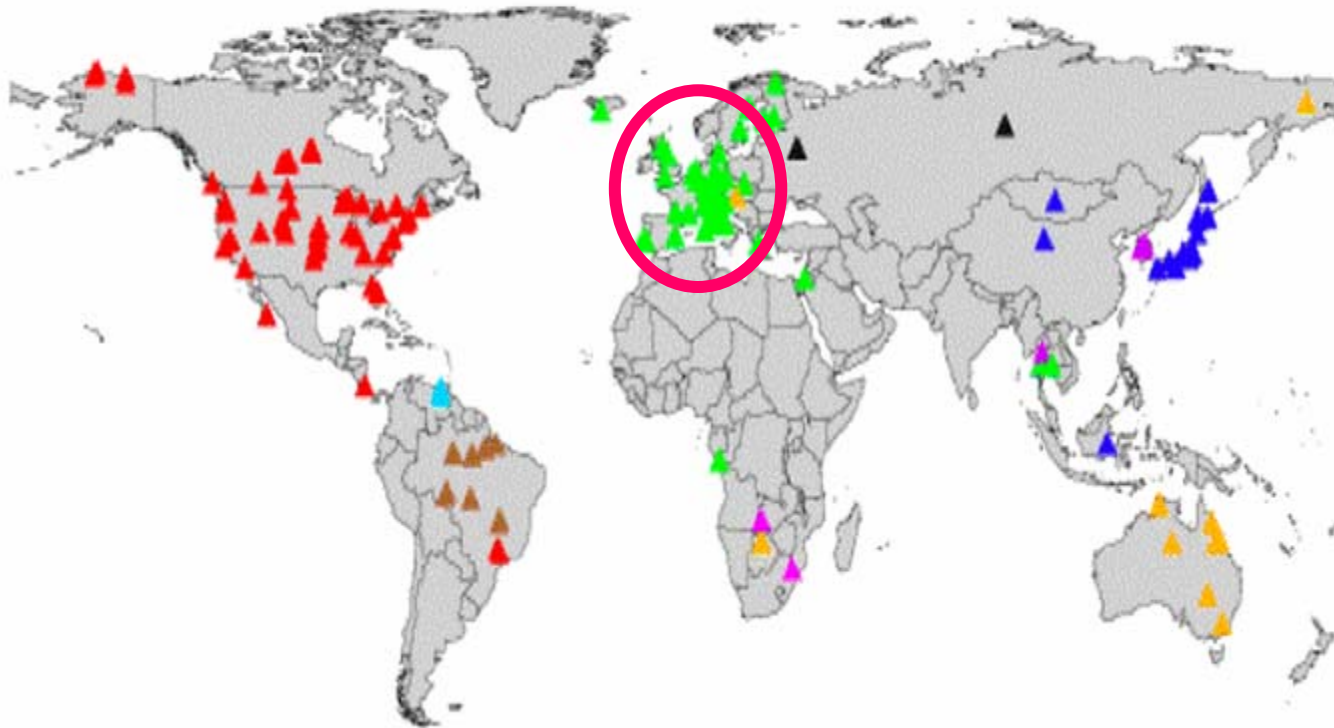


Observations satellites



Above ground process studies using flux measurements

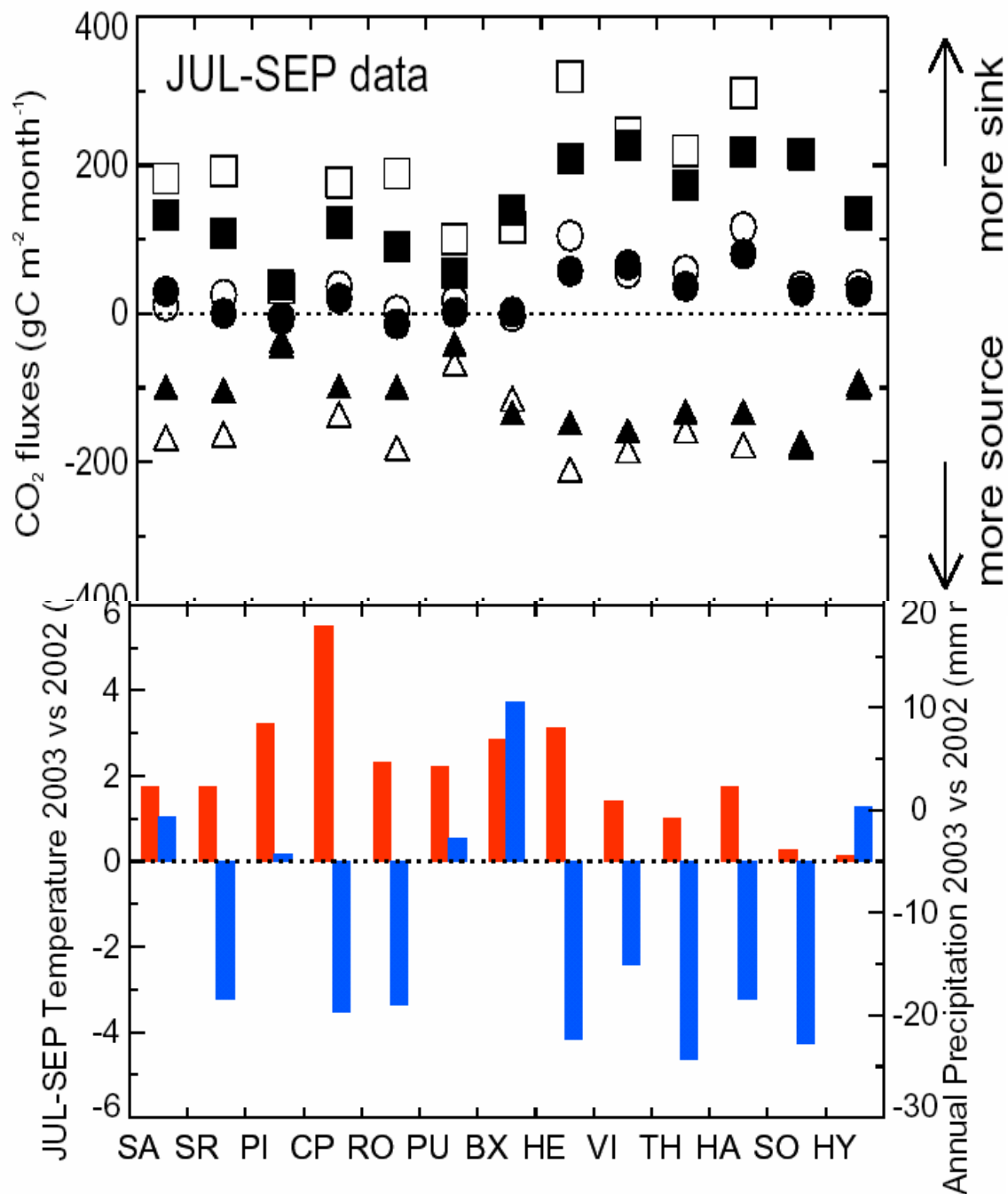
Global network of flux data : FLUXNET



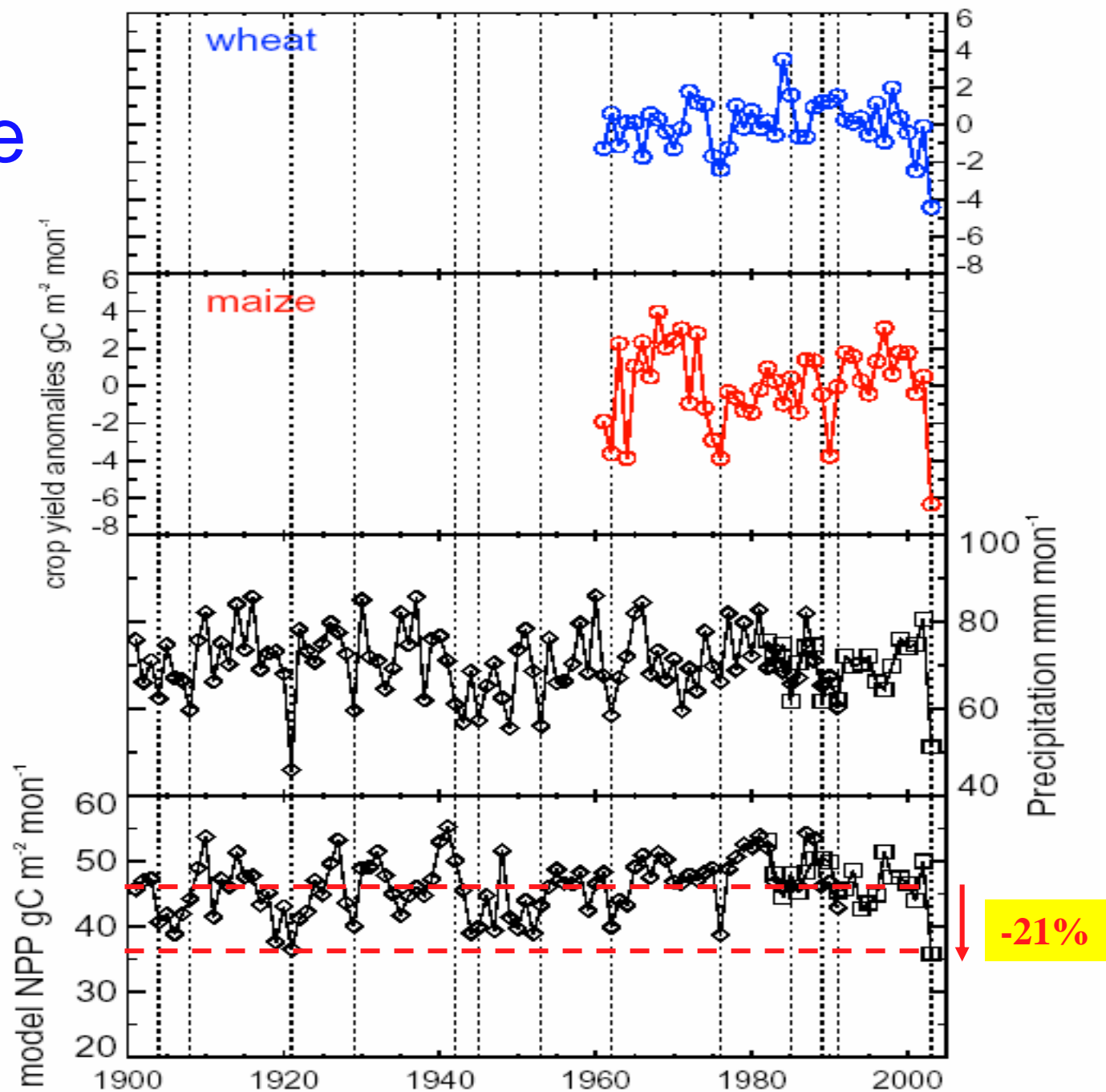
14 sites in France

Flux de
photosynthèse
(carrés) de
respiration
(triangles) et
bilan net (ronds)

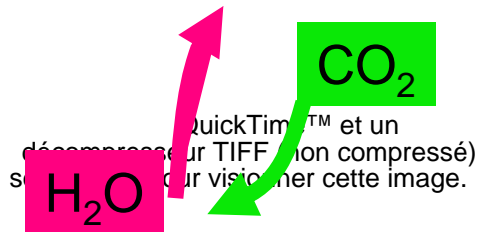
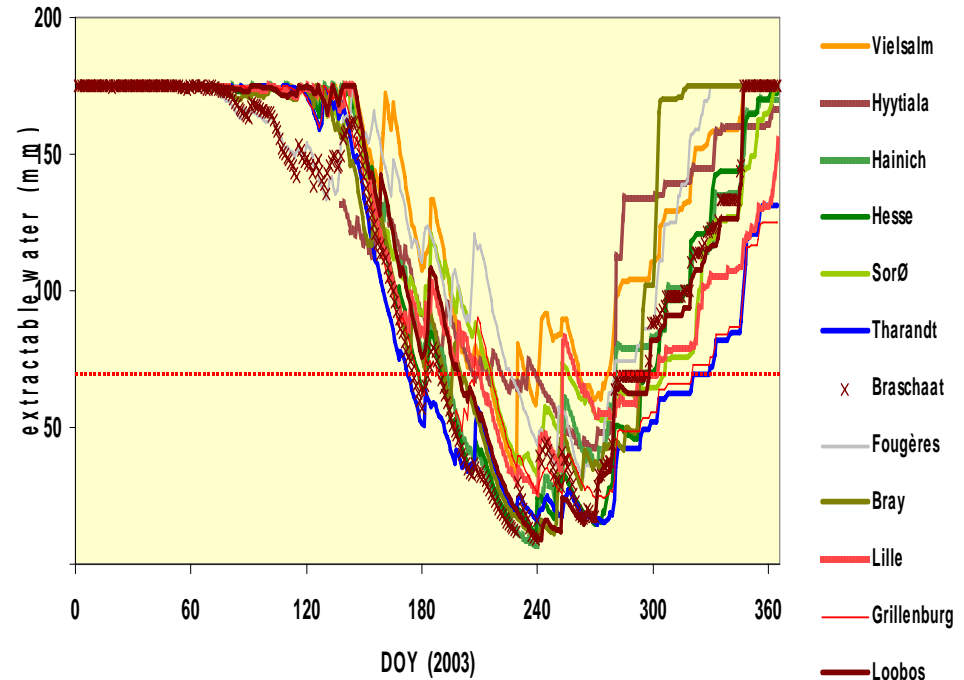
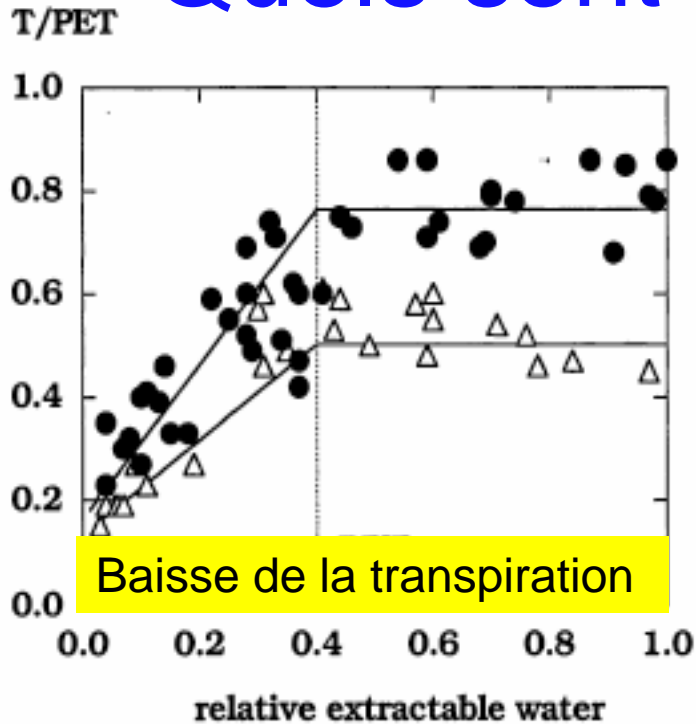
2002: blanc
2003: noir



2003 est une
des plus
forte baisse
de
productivité
des 100
dernières
années



Quels sont les mécanismes ?

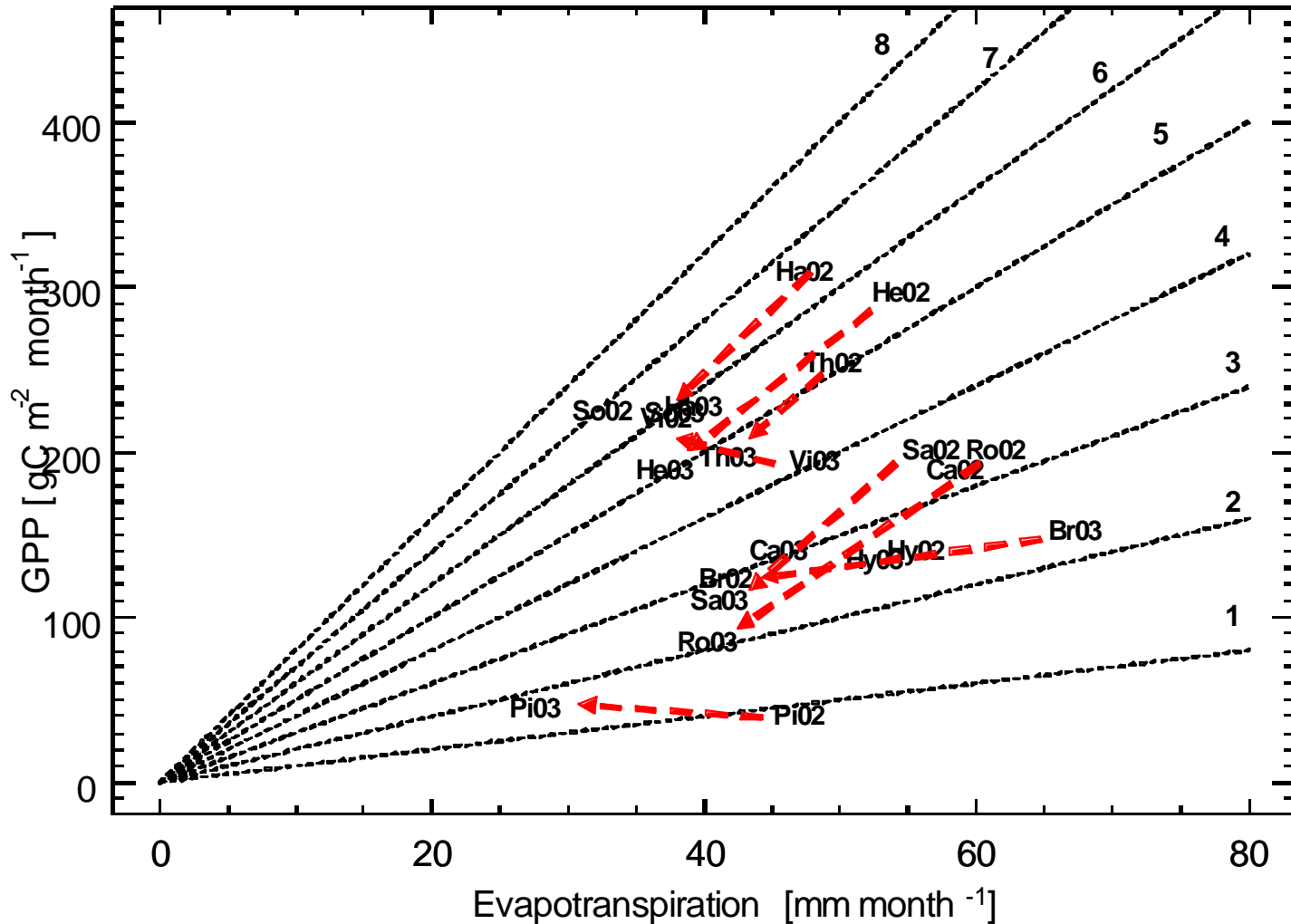


QuickTime™ et un décodeur pour TIFF (non compressé) sont nécessaires pour visionner cette image.

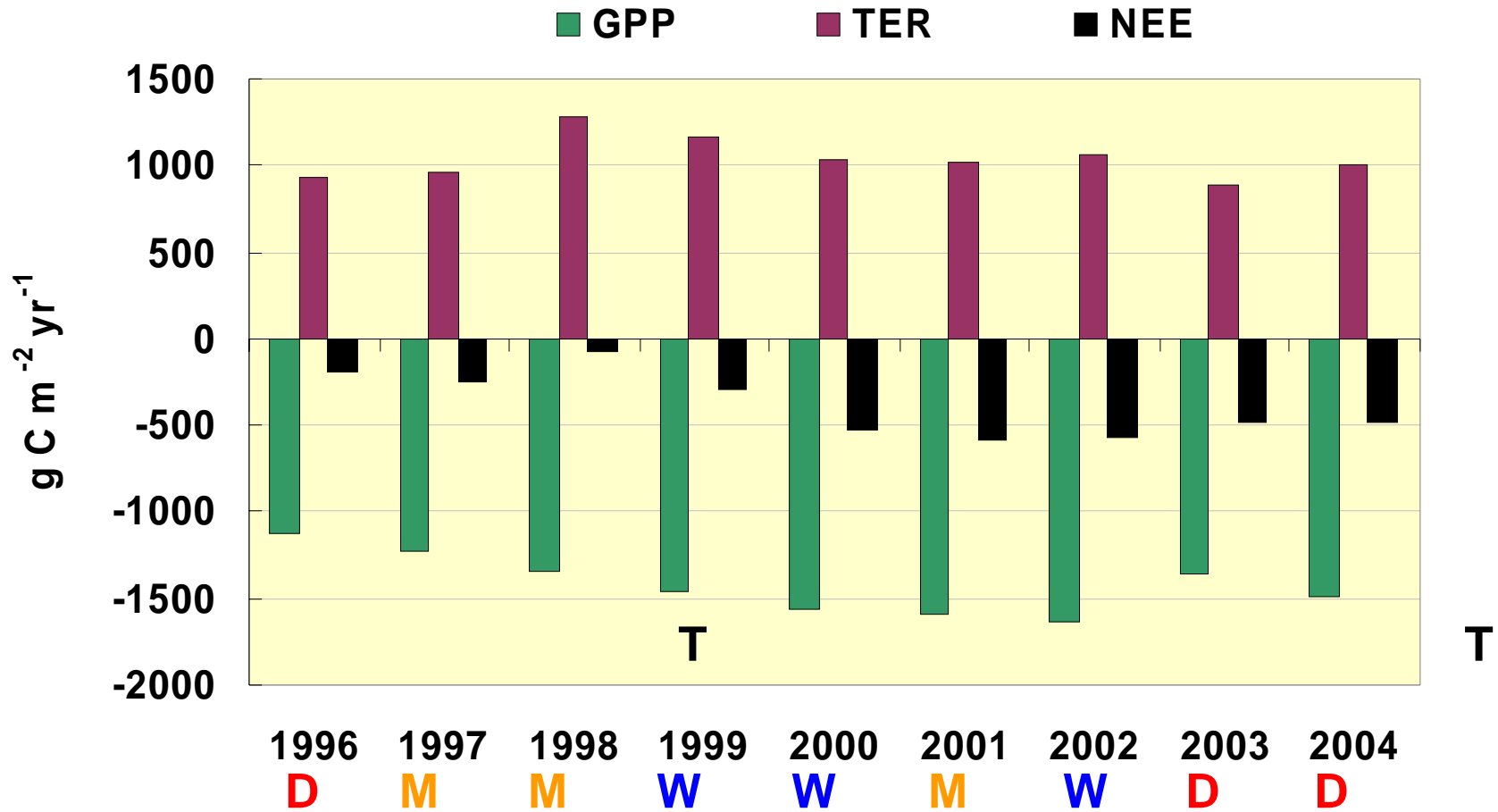
Fermeture des stomates

Baisse de la transpiration pour un assèchement du sol qui dépasse un seuil critique (Eau extractible < 0.4) [Breda et al. 1999](#)

Surprise : peu de variations de l'effici-
ence
d'utilisation de l'eau (gains de CO₂ par
photosynthèse divisé par pertes en eau)

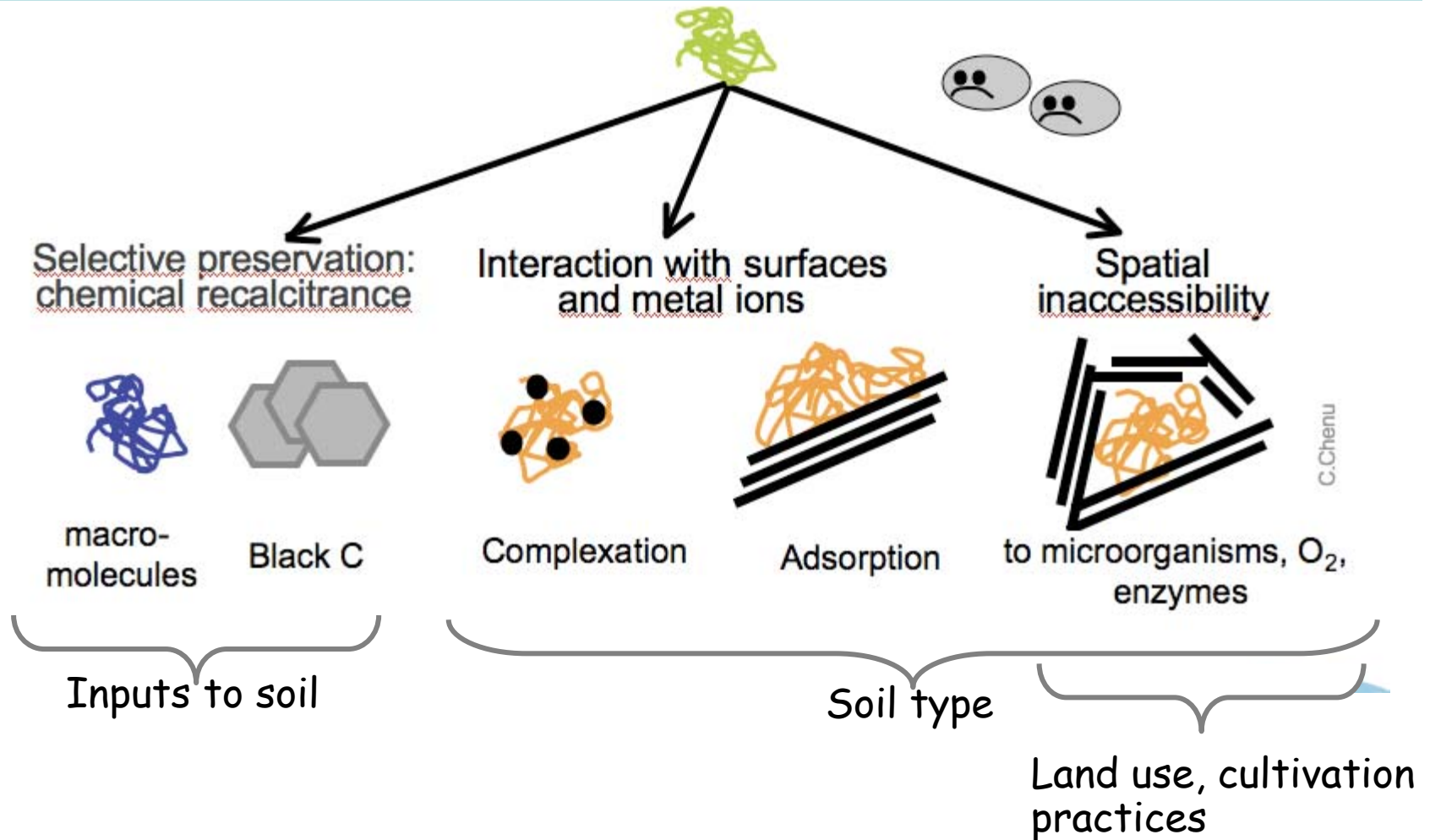


High interannual variability in annual carbon fluxes: beech forest of Hesse (North-Eastern France)



D: dry years **M: medium dry years** **W: wet years** **T: thinning**

Soil organic matter stabilization...



- **Questions**

- Importance & interactions & hierarchy of different processes ?
- Land uses & Soil types effects ?

Modélisation du cycle du carbone dans SURFEX

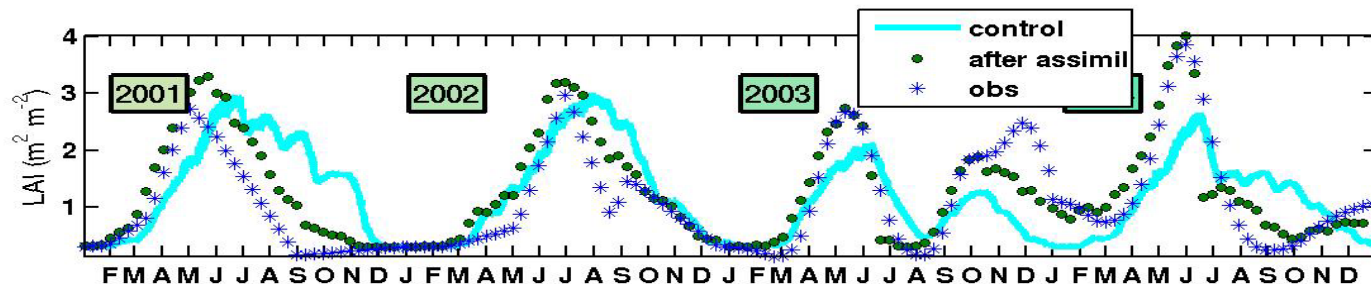
Objectifs

- *Amélioration de la compréhension et de la représentation dans les modèles des cycles de l'énergie, de l'eau et du carbone des surfaces continentales*
 - Modélisation des processus dans un système de transfert sol-végétation-atmosphère
 - Utilisation de la télédétection pour l'initialisation, la prescription de paramètres la validation et l'assimilation dans les modèles.
 - Validation avec des données in situ
- *Domaines d'intérêt*
 - Représentation de la surface dans les modèles météorologiques (du régional au global)
 - Suivi des écosystèmes naturels et cultivés
 - Impact du changement climatique

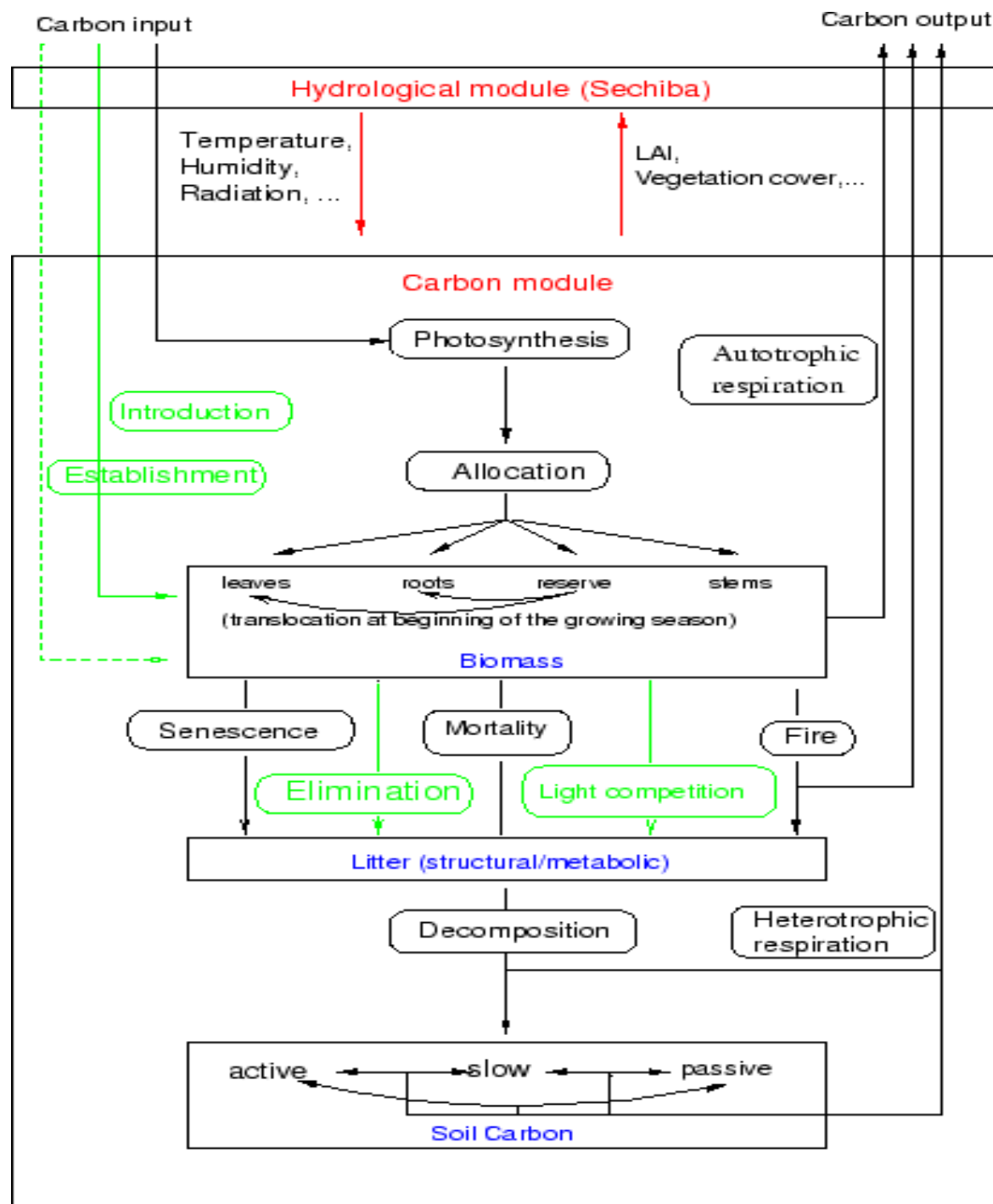
Modélisation du cycle du carbone dans SURFEX

Modélisation du cycle du carbone

- ISBA-A-gs dans SURFEX : meilleure prise en compte de la physiologie des plantes, flux de CO₂, évolution de la biomasse
- Validation à l'échelle régionale en mode forcé et couplé (Mésos-NH)
- Validation à l'échelle globale
- Enrichissement du modèle : cycle du carbone dans le sol, irrigation, levée
- Etudes pilotes d'assimilation du LAI pour le suivi de la végétation (local et régional)

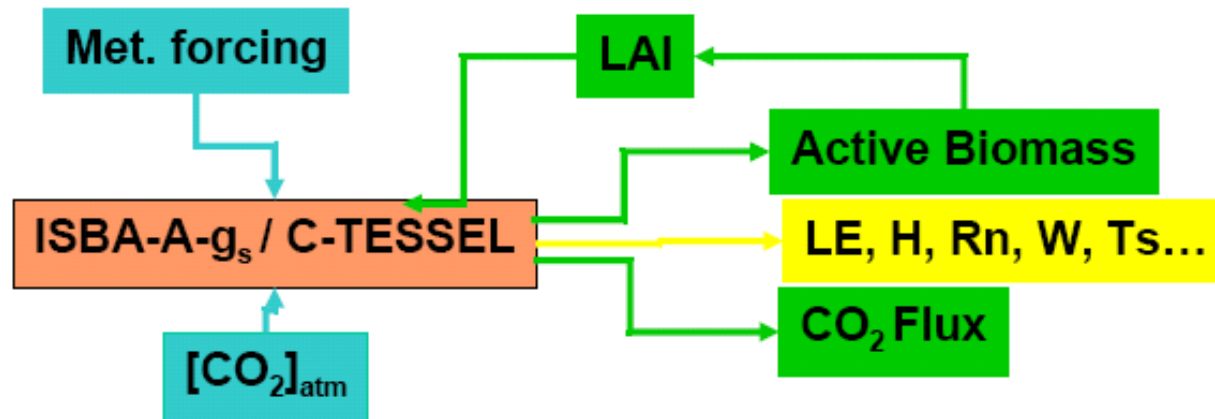


LAI observé, simulé par ISBA-A-gs et assimilé sur le site SMOSREX 2001-2004



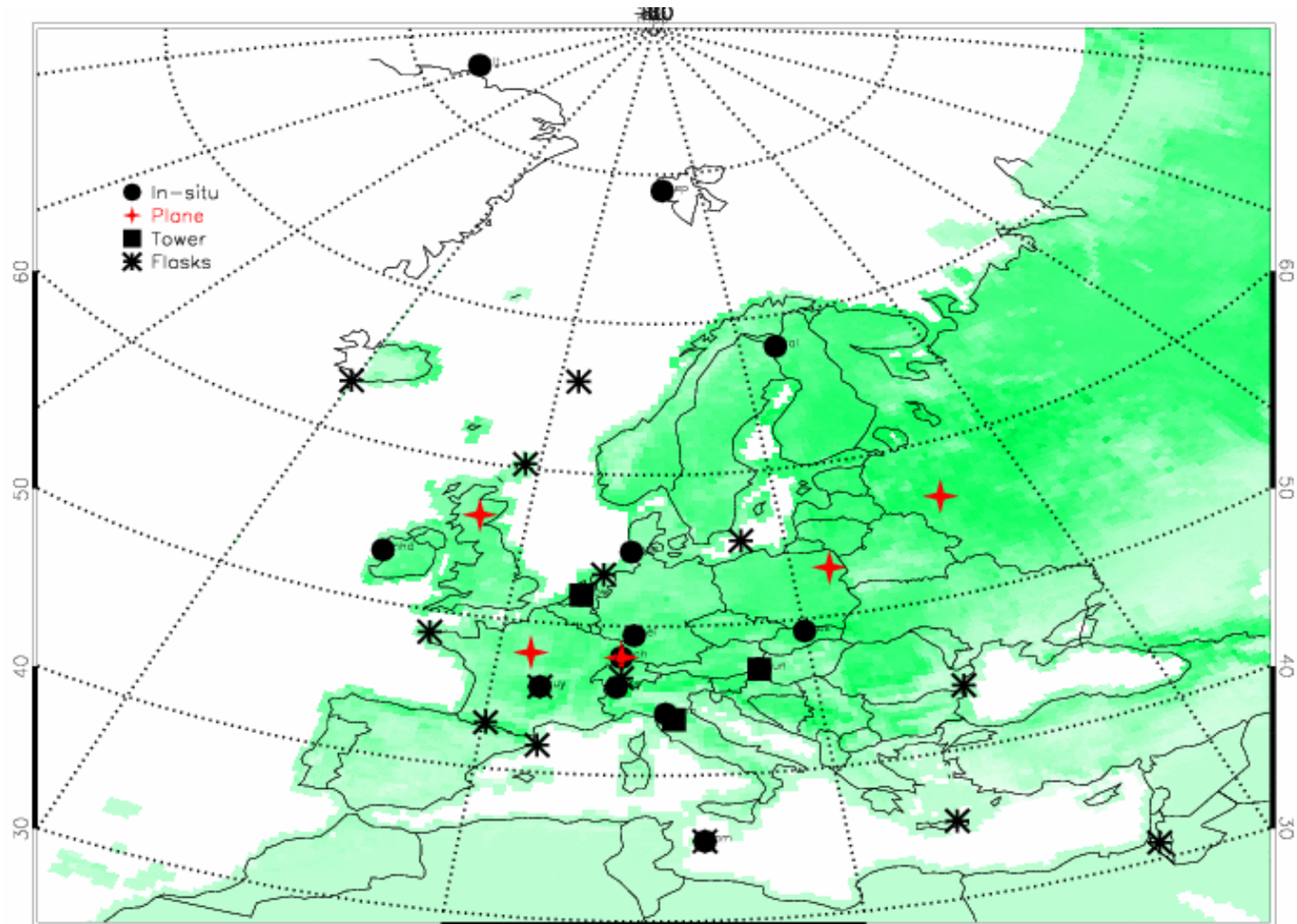
ISBA-A-gs

- Nouvelle version opérationnelle du “SVAT” de Météo-France
- Base de la nouvelle version opérationnelle de ECMWF (C-TESSSEL)

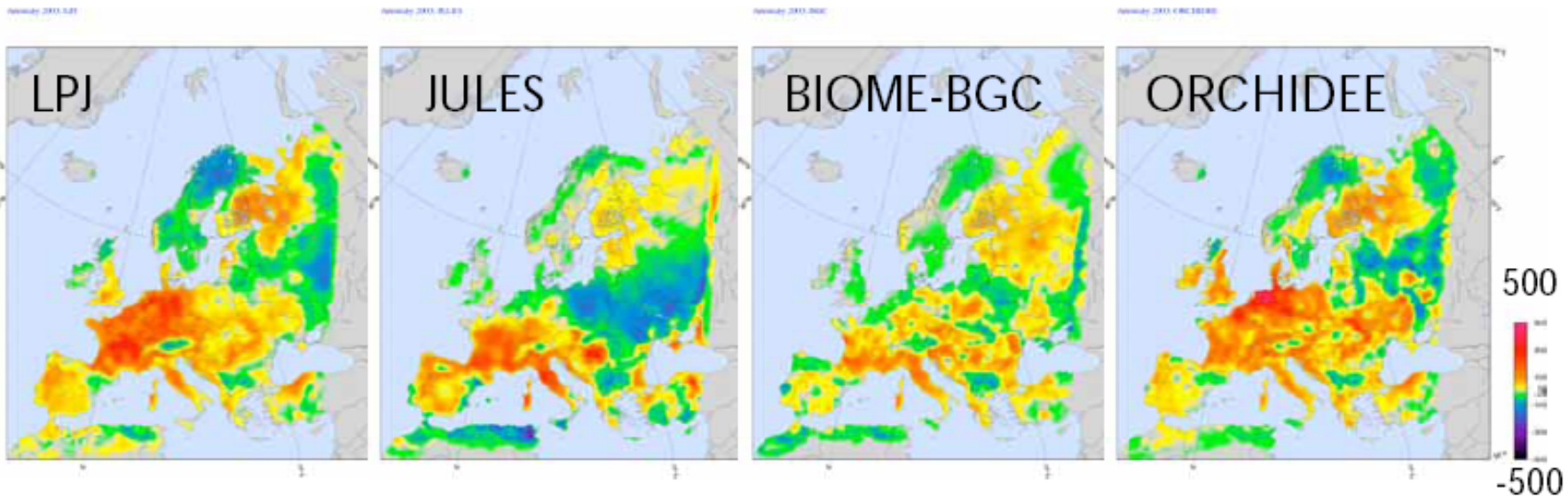
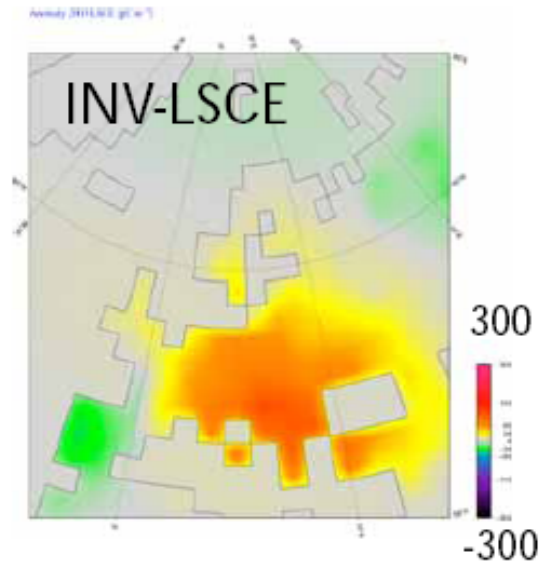
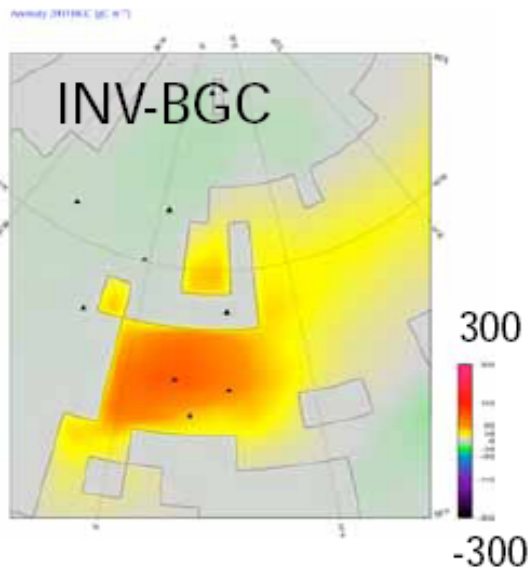


ISBA-A-gs / C-TESSSEL are CO₂-responsive land surface models, new versions of operational schemes used in atmospheric models

Potentiel du réseau Européen

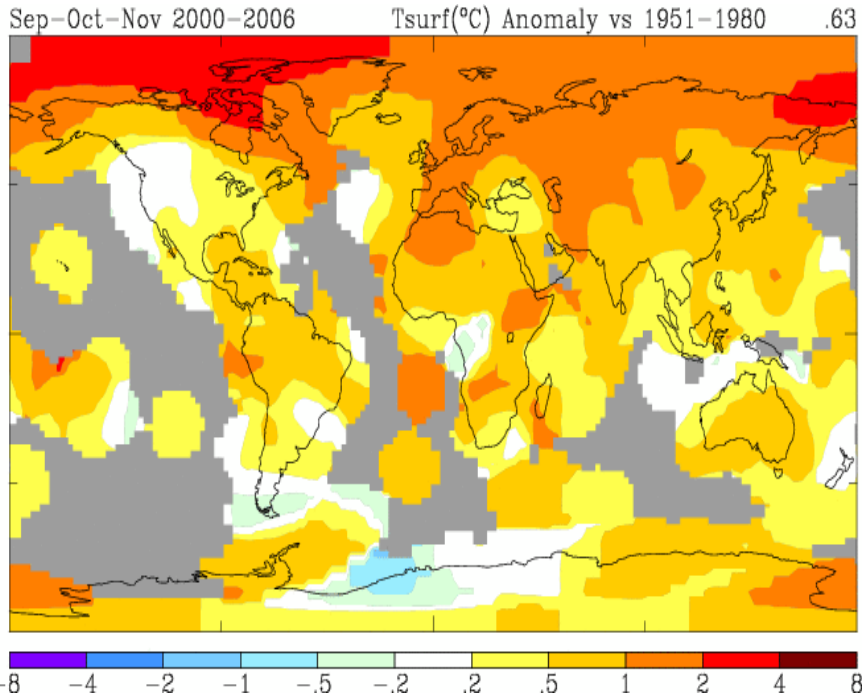


Consistency between top-down and bottom-up spatial patterns (Anomaly of 2003) (gC m^{-2})



Application : Carbon cycle and autumn warming ?

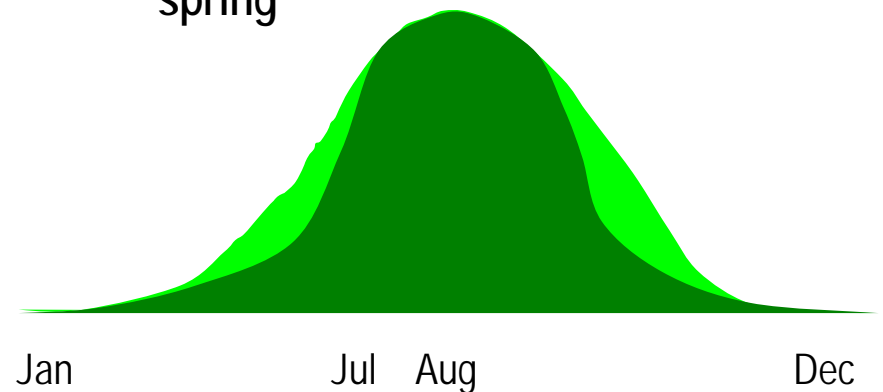
Autumn warming since 1960-80 NASA/GISS



As temperature is rising, the length of the growing season usually increases

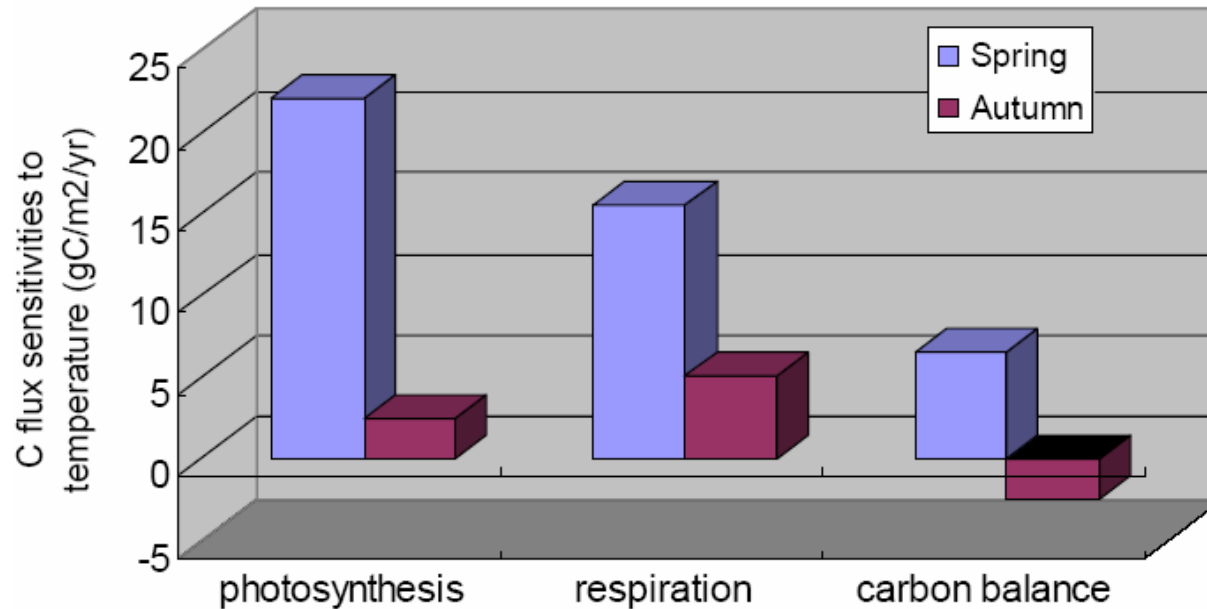
earlier spring

delayed autumn



→ How does the Carbon Uptake Period respond to rising temperature?

Differential response of gross C Fluxes to the warming trend in Northern Hemisphere (>25°N)



Spring: Warm spring accelerate growth **more** than soil decomposition
→ Warming enhances carbon uptake

Autumn: Warm autumn accelerate growth **less** than soil decomposition
→ Warming reduces carbon uptake