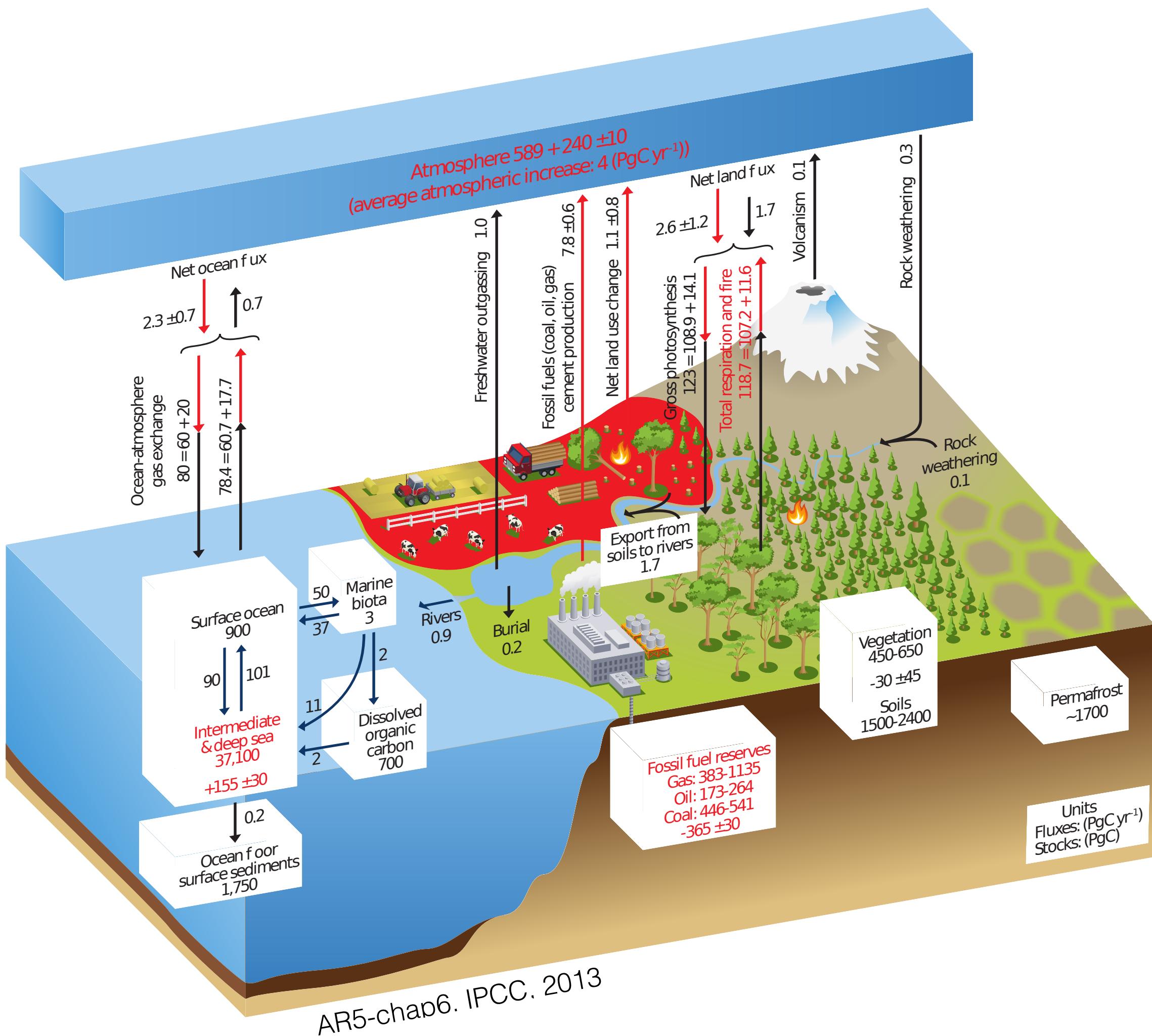


# Comparaison des rétroactions climat-carbone dues à la biosphère terrestre entre les deux ESMs français

C. Magand, P. Cadule, J-L. Dufresne, R. Séférian  
IPSL/LSCE/CNRM

# Le cycle du carbone



55 % des émissions de CO<sub>2</sub> sont absorbés par les puits :

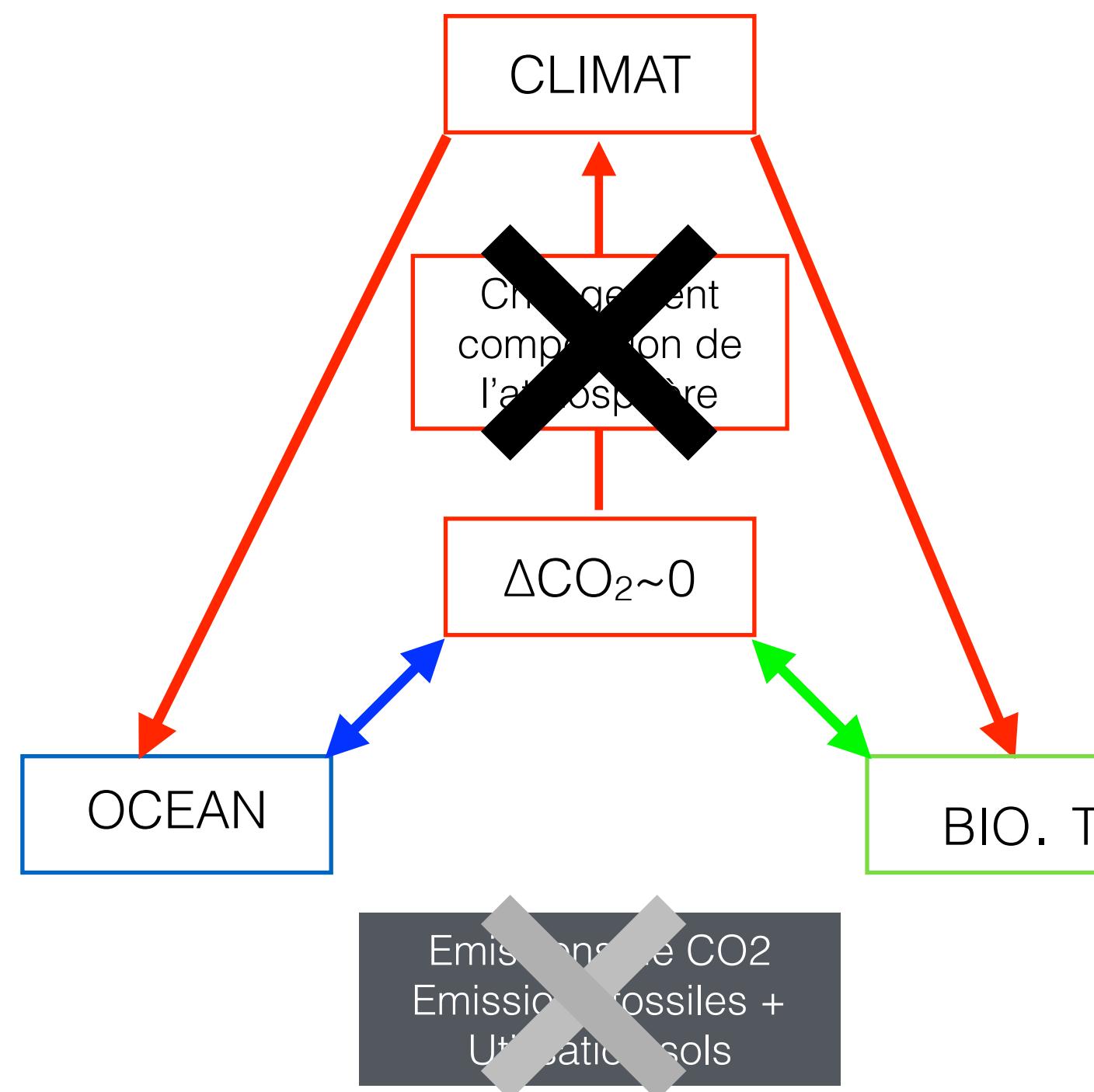
- 29 % par la biosphère terrestre
- 26 % par les océans

=> limitant le réchauffement climatique

Efficacité des puits varie notamment en fonction de la température

=> Rétroaction climat-carbone

## ConTRoL



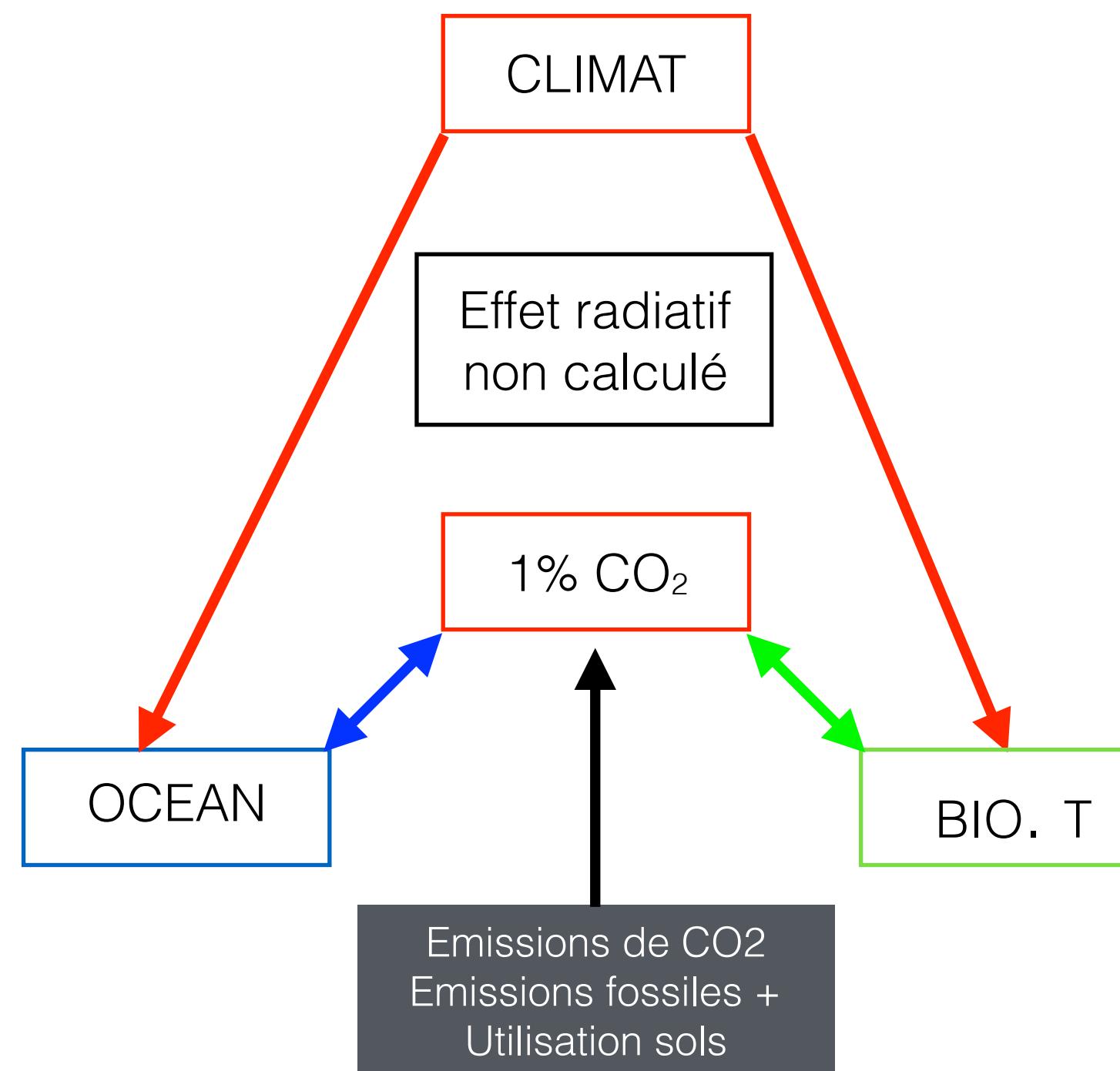
Pas de perturbation

Effet biogéochimique

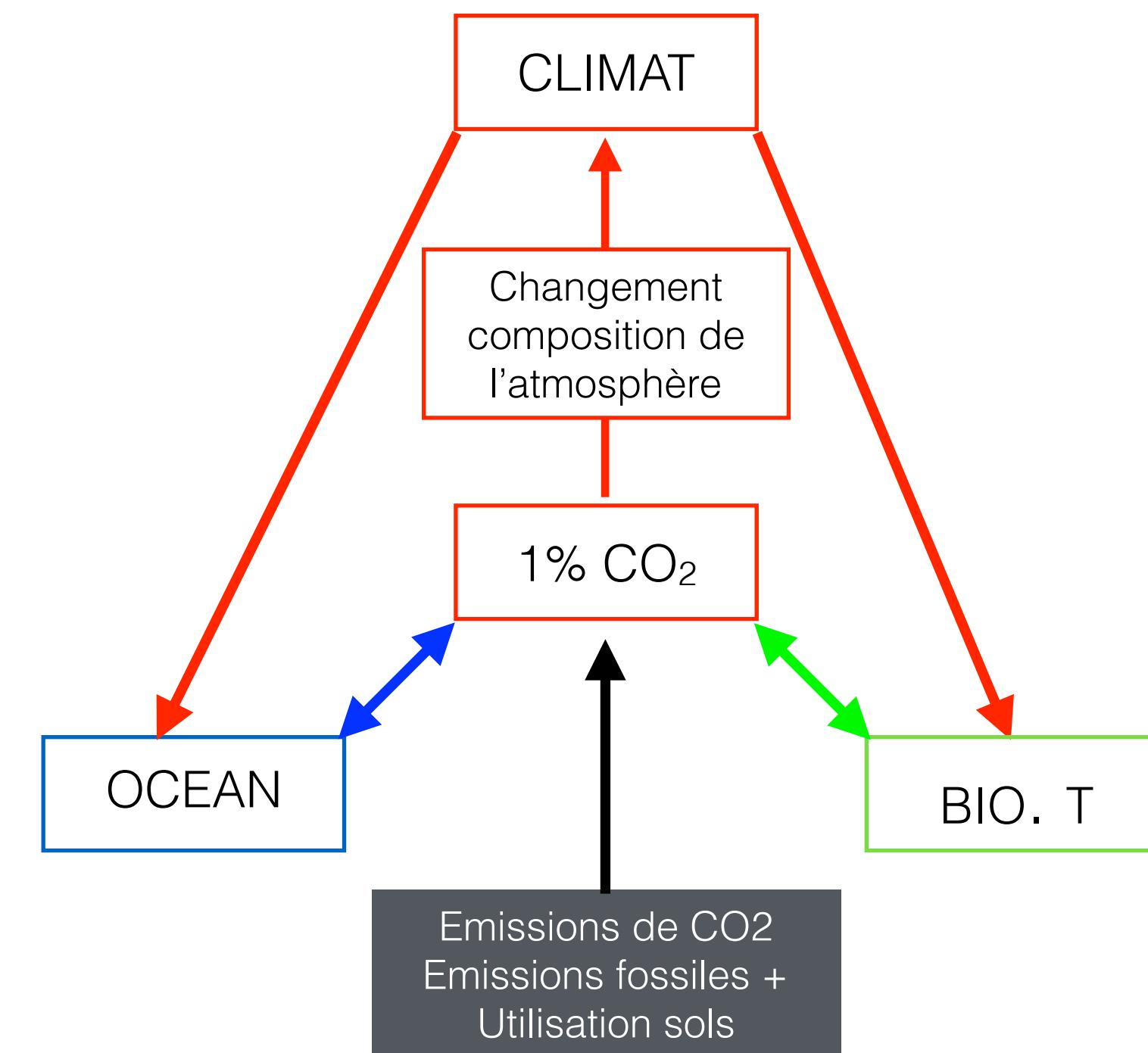
Effet biogéochimique + climatique

Réponse des puits de carbone à  
l'augmentation du CO<sub>2</sub>Réponse des puits de carbone  
au changement climatique $\beta$  $\gamma$ 

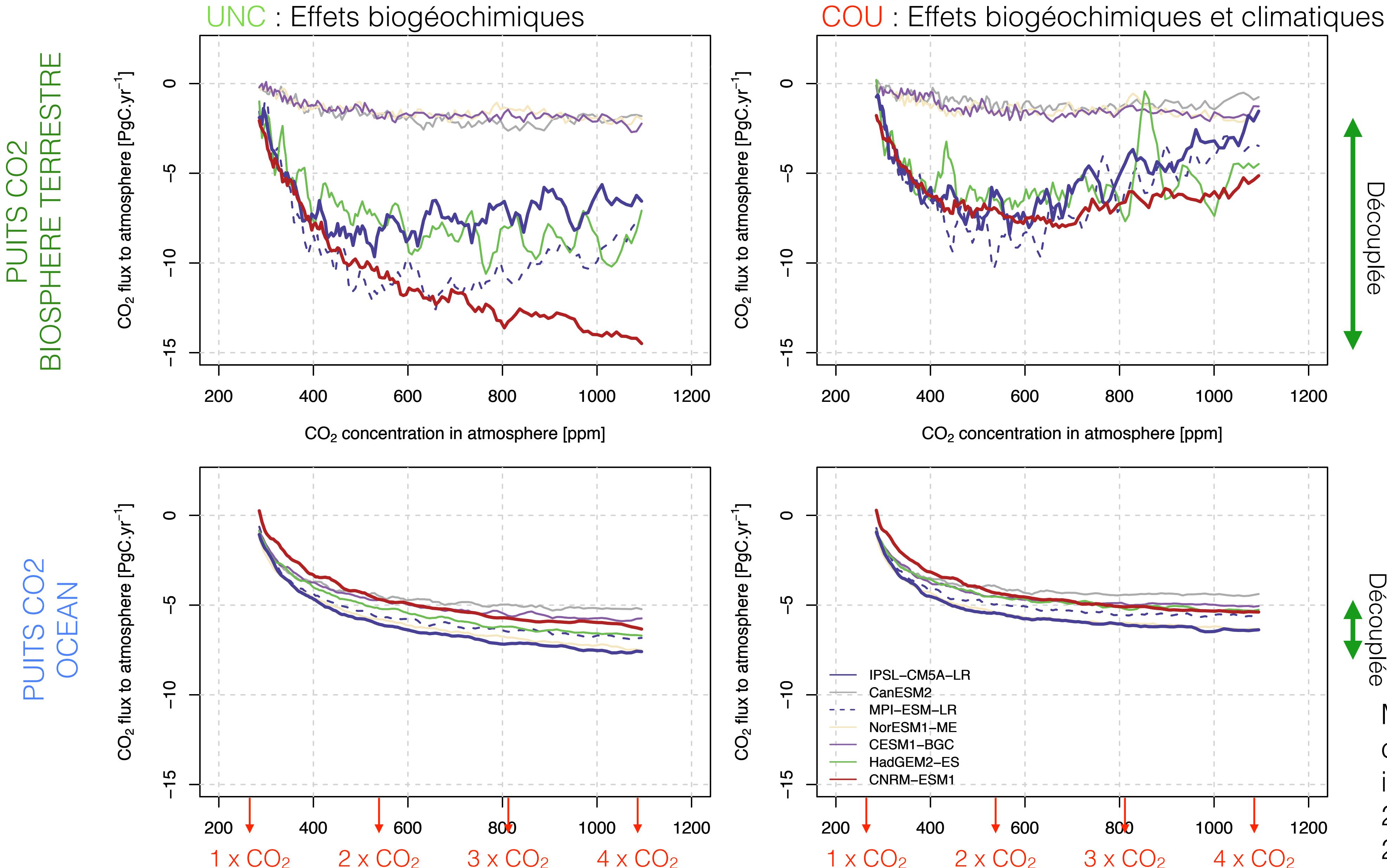
## UNCoupled



## COUpled

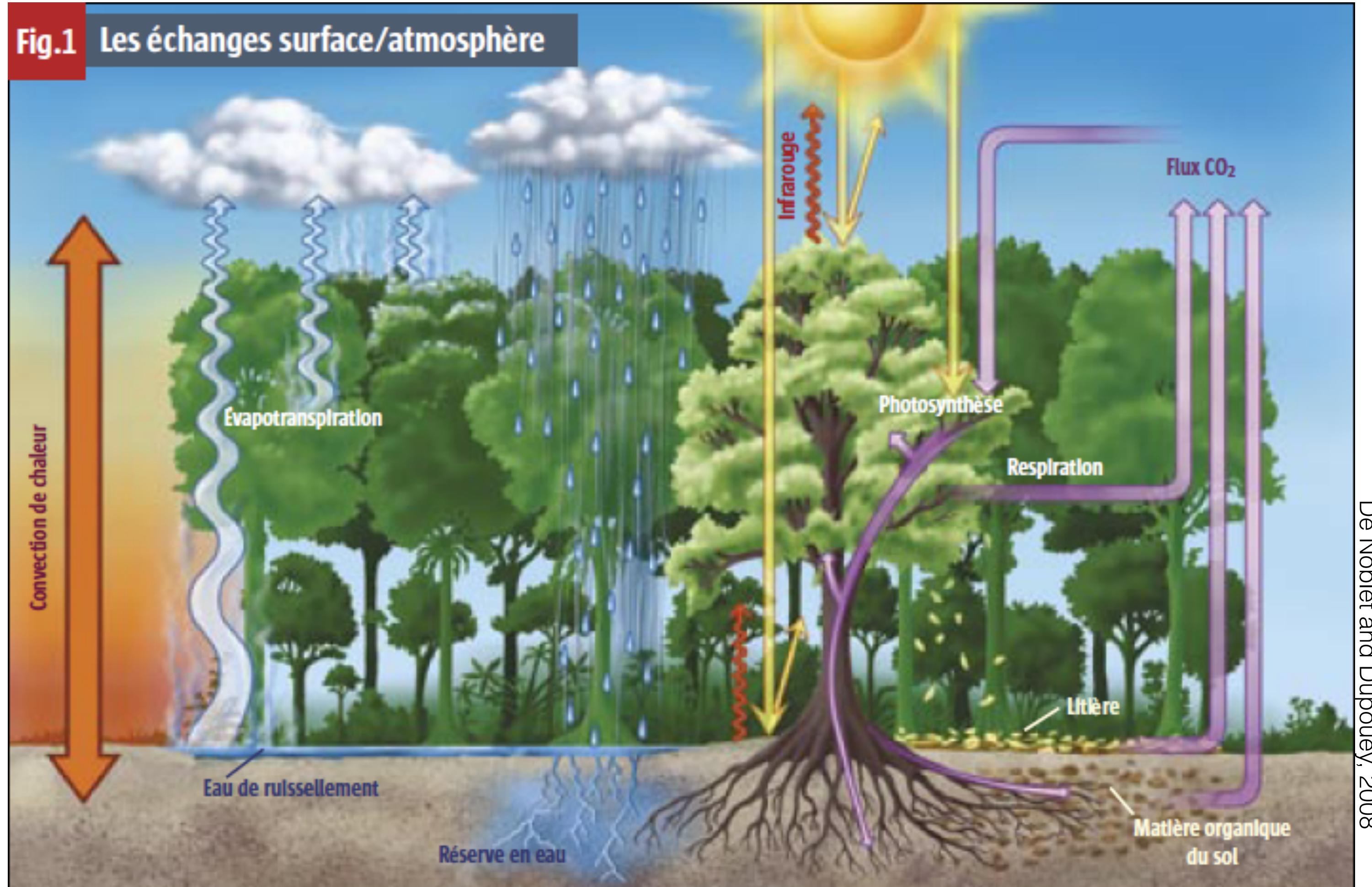


# Réponse des puits de carbone au CO<sub>2</sub> et à la température



La dispersion de réponse entre les modèles est plus importantes pour la biosphère terrestre.

Modélisation du cycle du carbone terrestre => incertitudes (e.g IPCC, 2013 ; Friedlingstein et al, 2014)



### Stocks de carbone

- Végétation : feuilles, branches, tronc
- Sol, litière

### Processus modélisés

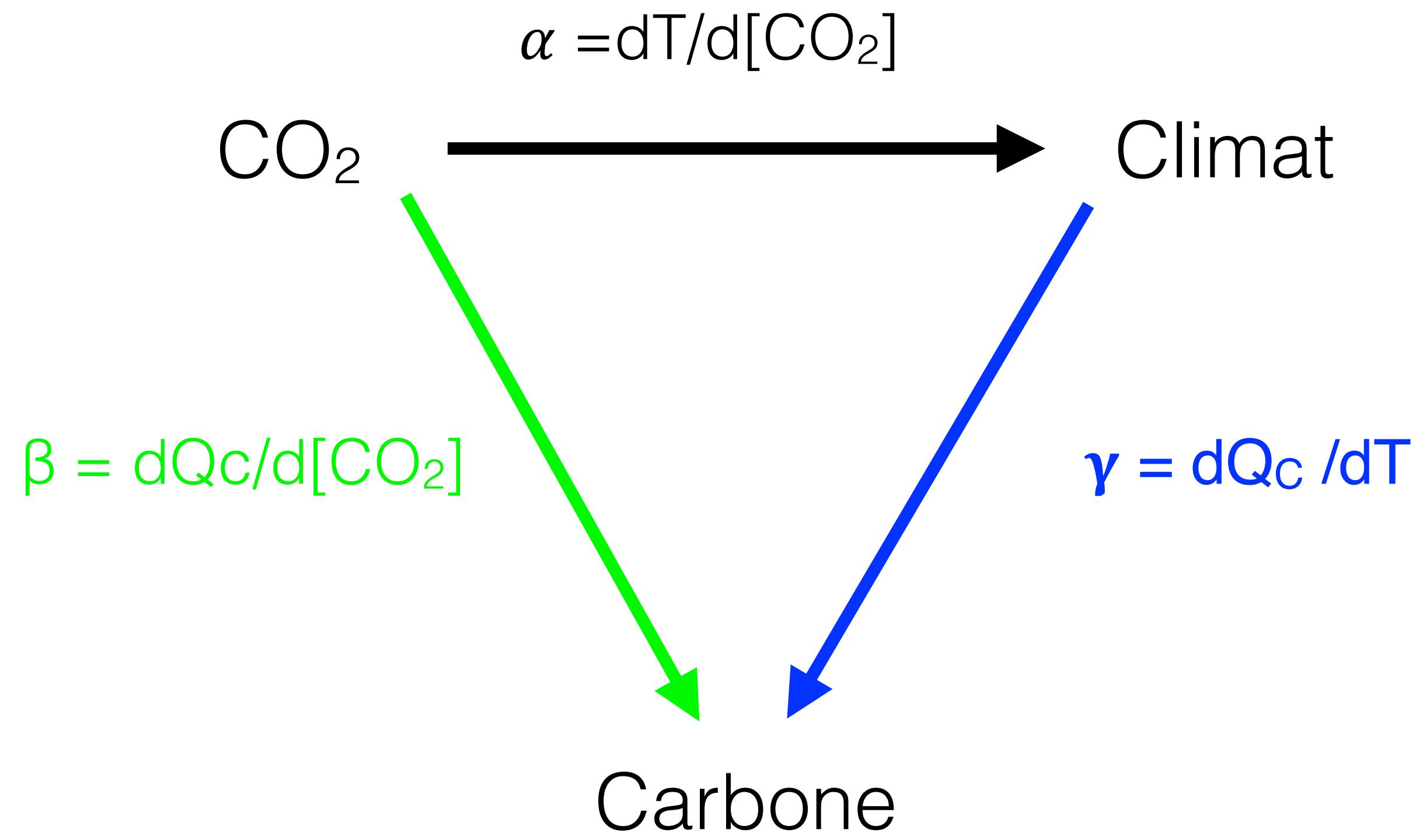
- Photosynthèse
- Respiration autotrophique
- Respiration hétérotrophique

=> Evaluation et comparaison de la sensibilité de ces processus aux conditions environnementales

**CNRM-ESM1** : Résolution spatiale horizontale ( $1.4^\circ \times 1.4^\circ$ ) océan ( $1^\circ$  to  $1/3^\circ$  close to the equator), 31 vertical atmospheric levels and 42 oceanic depth levels ; ARPEGE-Climat v6.1 (Volodire *et al.*, 2013) ; SURFEX v7.3 (Masson *et al.* 2013) ; NEMO v3.2 (Madec, 2008) [PISCES + ORCA1L42] ; GELATO6. (Séférian R., *et al.* 2015)

**IPSL-CM5A-LR** : Résolution spatiale horizontale ( $3.75^\circ \times 1.875^\circ$ ) océan ( $2^\circ$  to  $0.5^\circ$  close to the equator), 39 vertical atmospheric levels and 31 oceanic depth levels ; LMDZ5A (Hourdin *et al.*, 2013) + REPROBUS + INCA for stratospheric and tropospheric chemistry and aerosols ; ORCHIDEE (Krinner *et al.* 2005) ; NEMO v3.2 (Madec, 2008) [PISCES + ORCA2] ; NEMO - LIM2 (Fichefet and Morales Maqueda 1997,1999). (Dufresne J-L., *et al.* 2013)

## Sensibilités du cycle du carbone et du climat à l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique

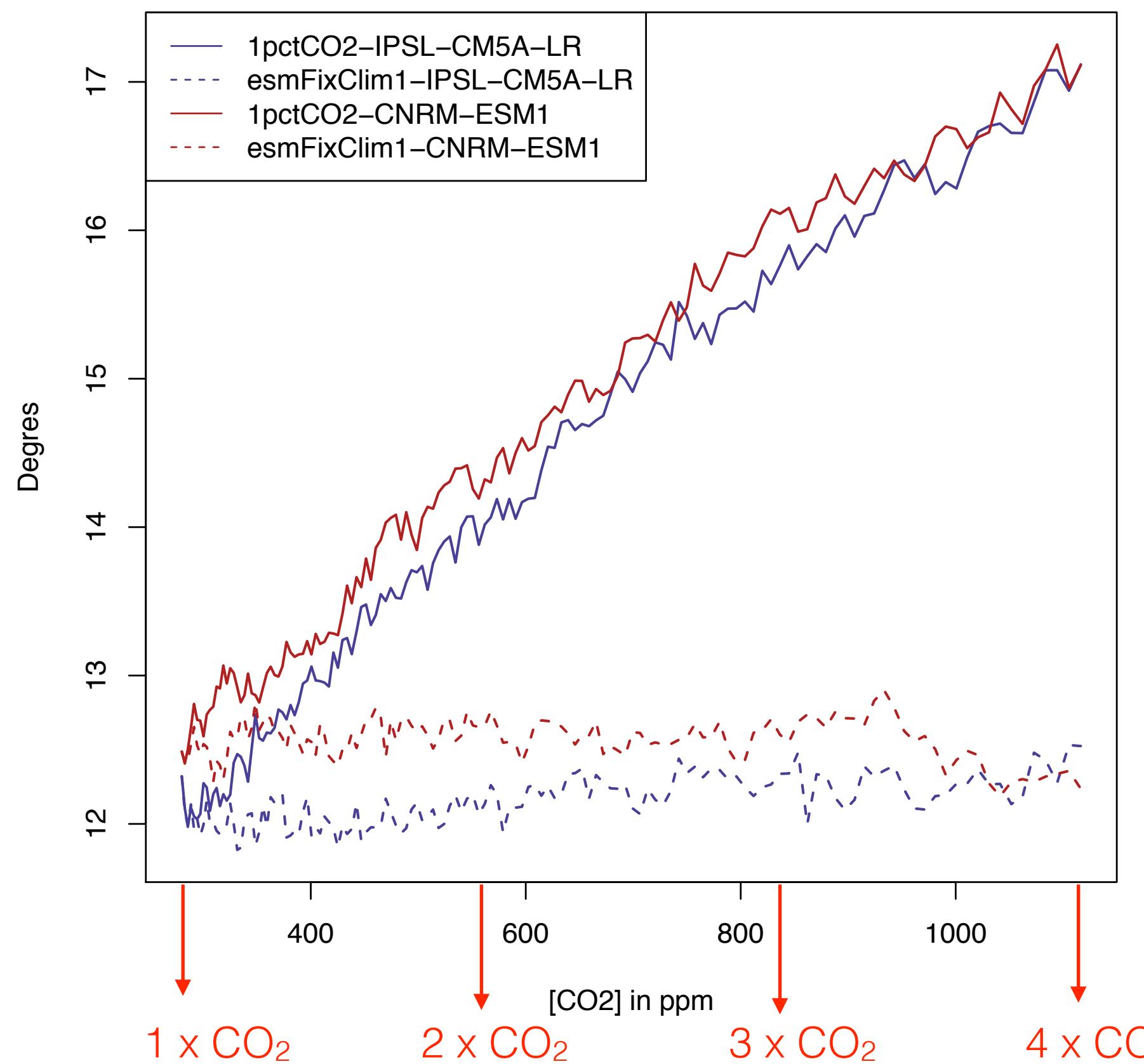
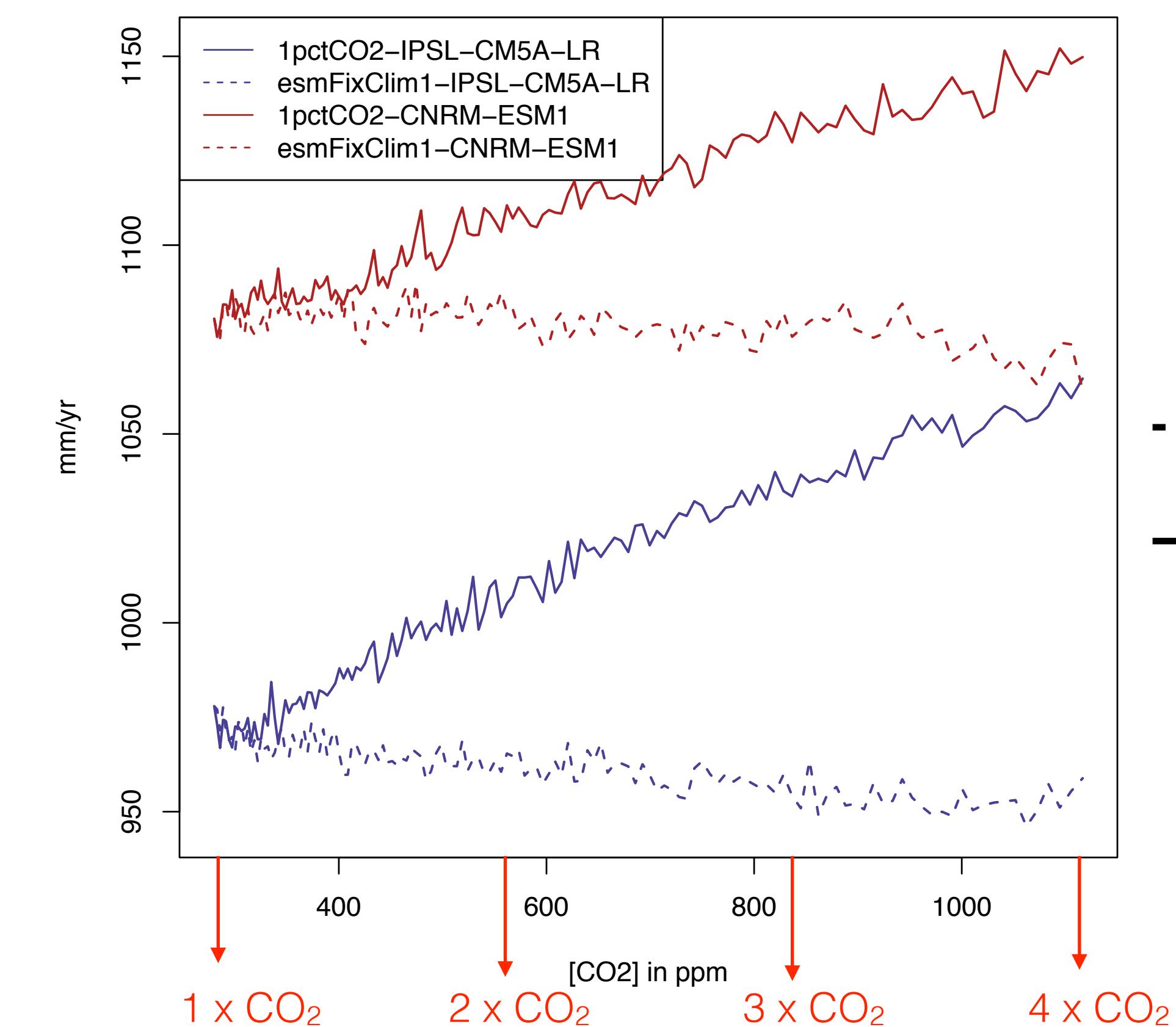


$\alpha$  : Sensibilité du climat à l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique [K.ppm<sup>-1</sup>]

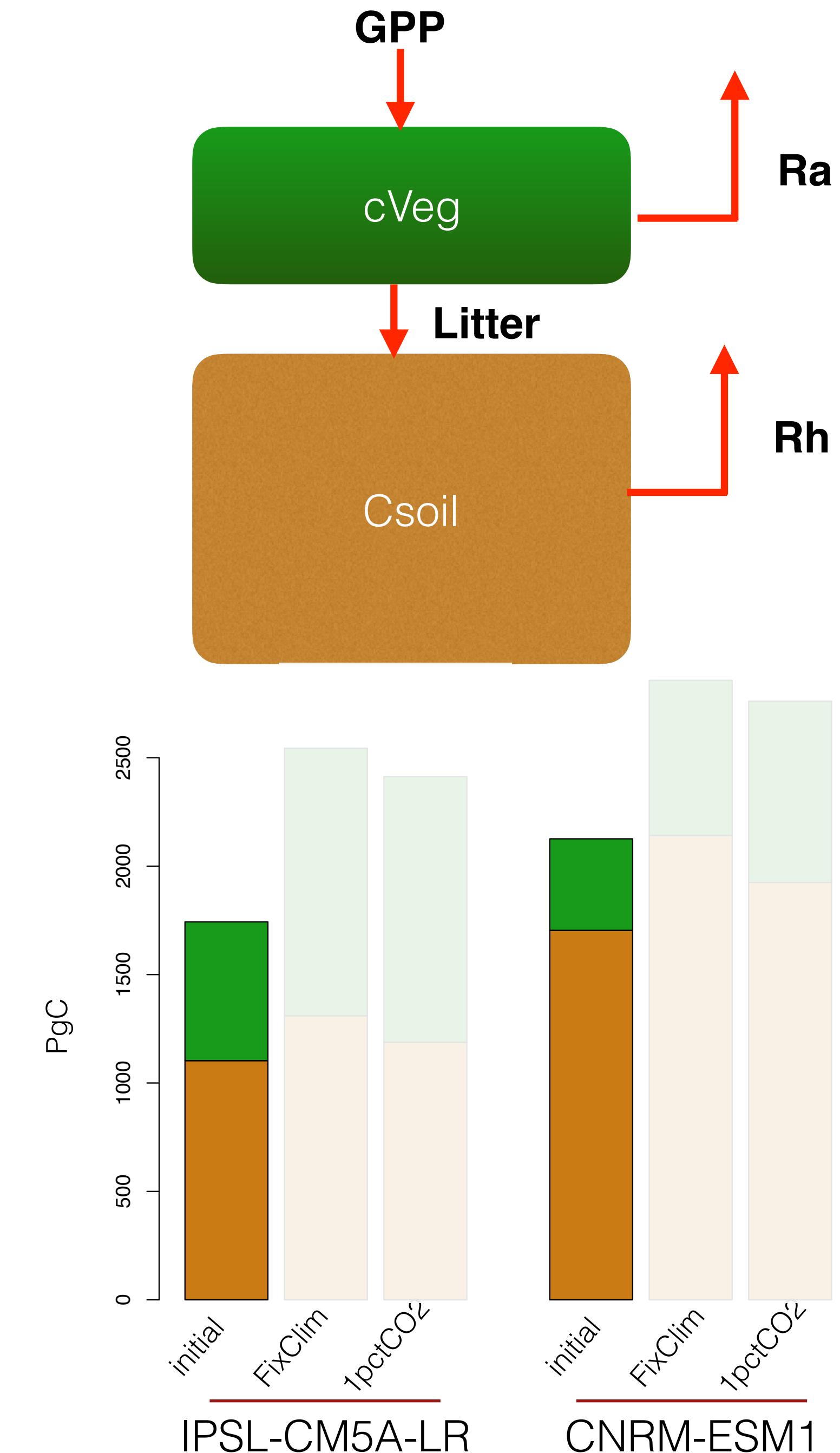
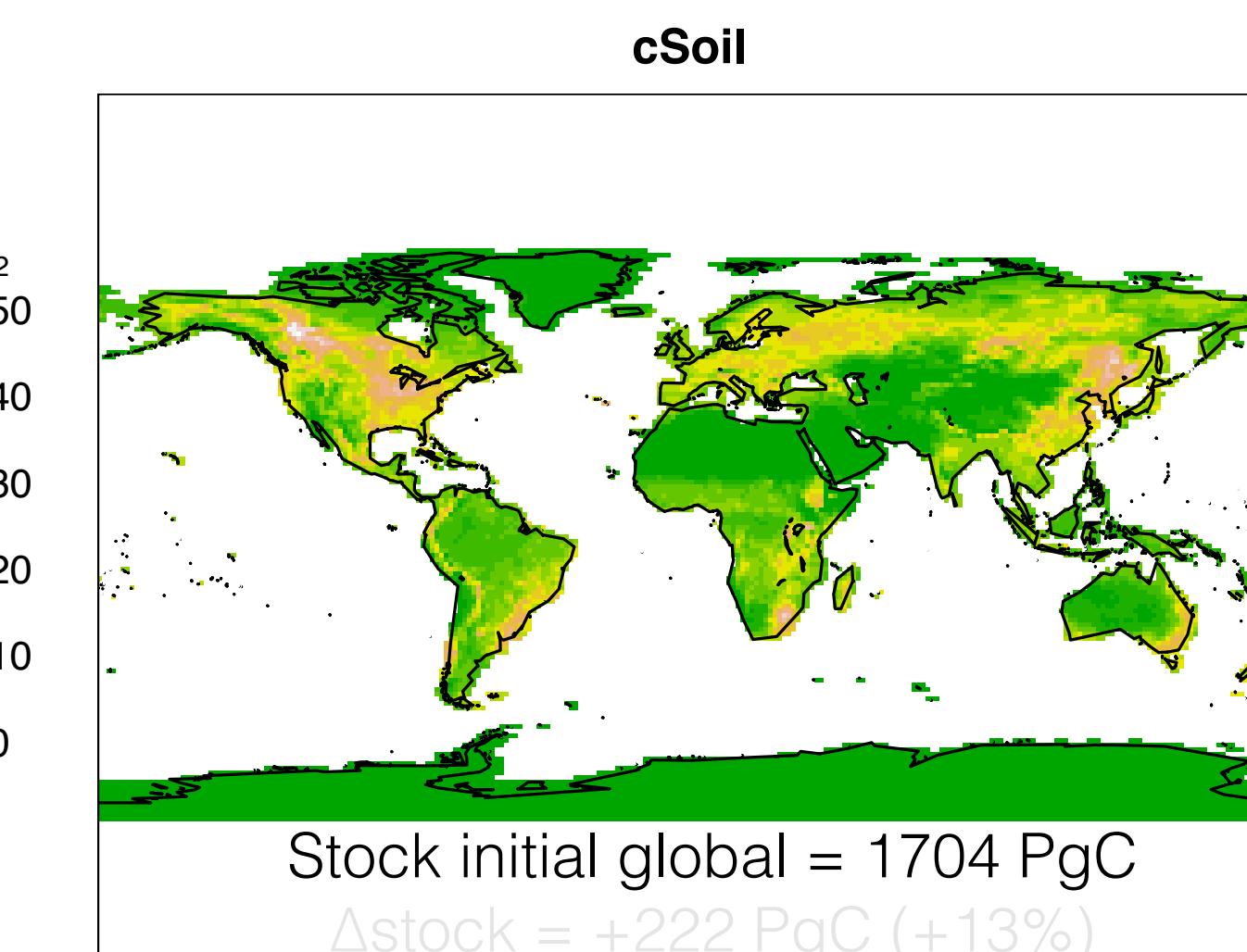
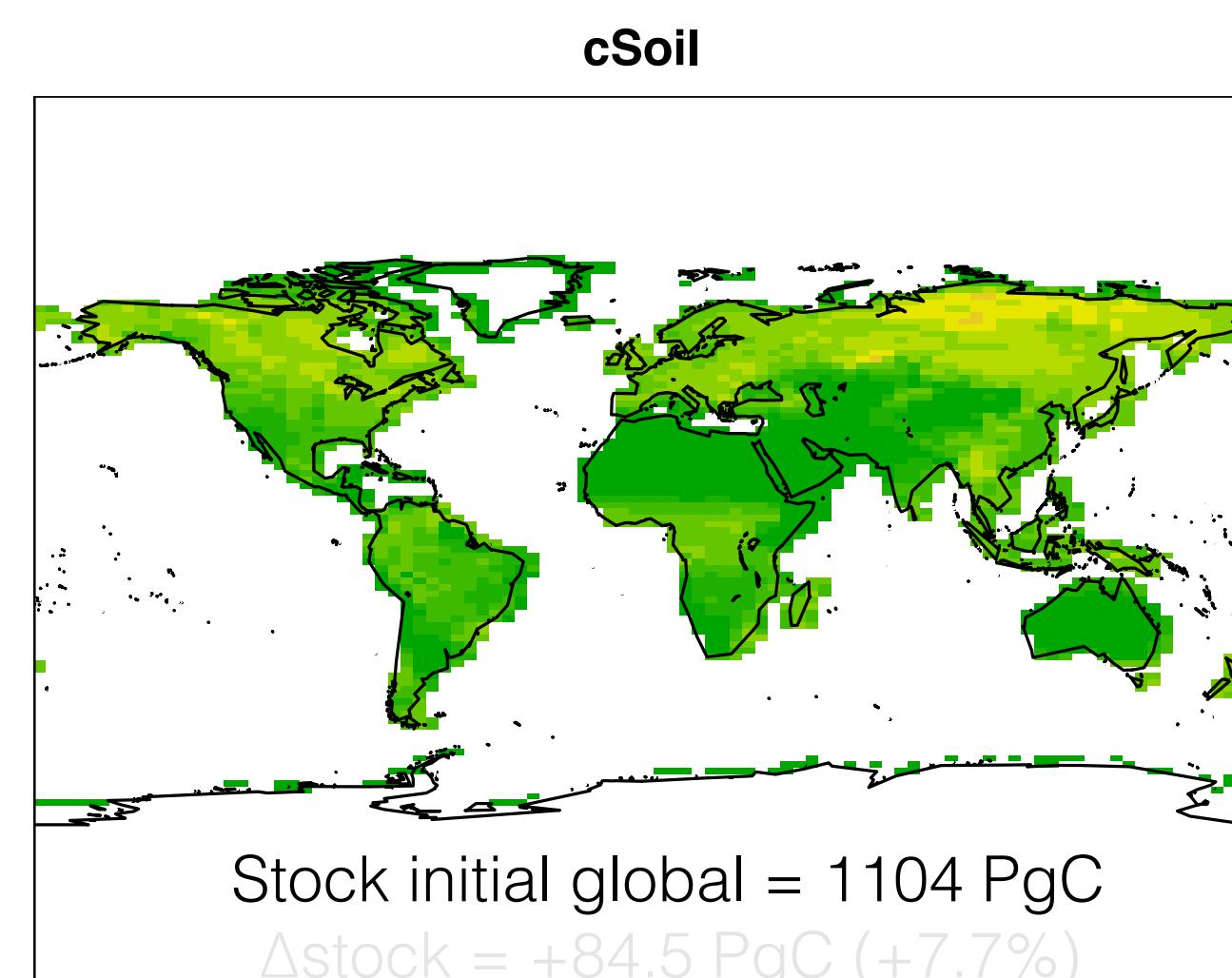
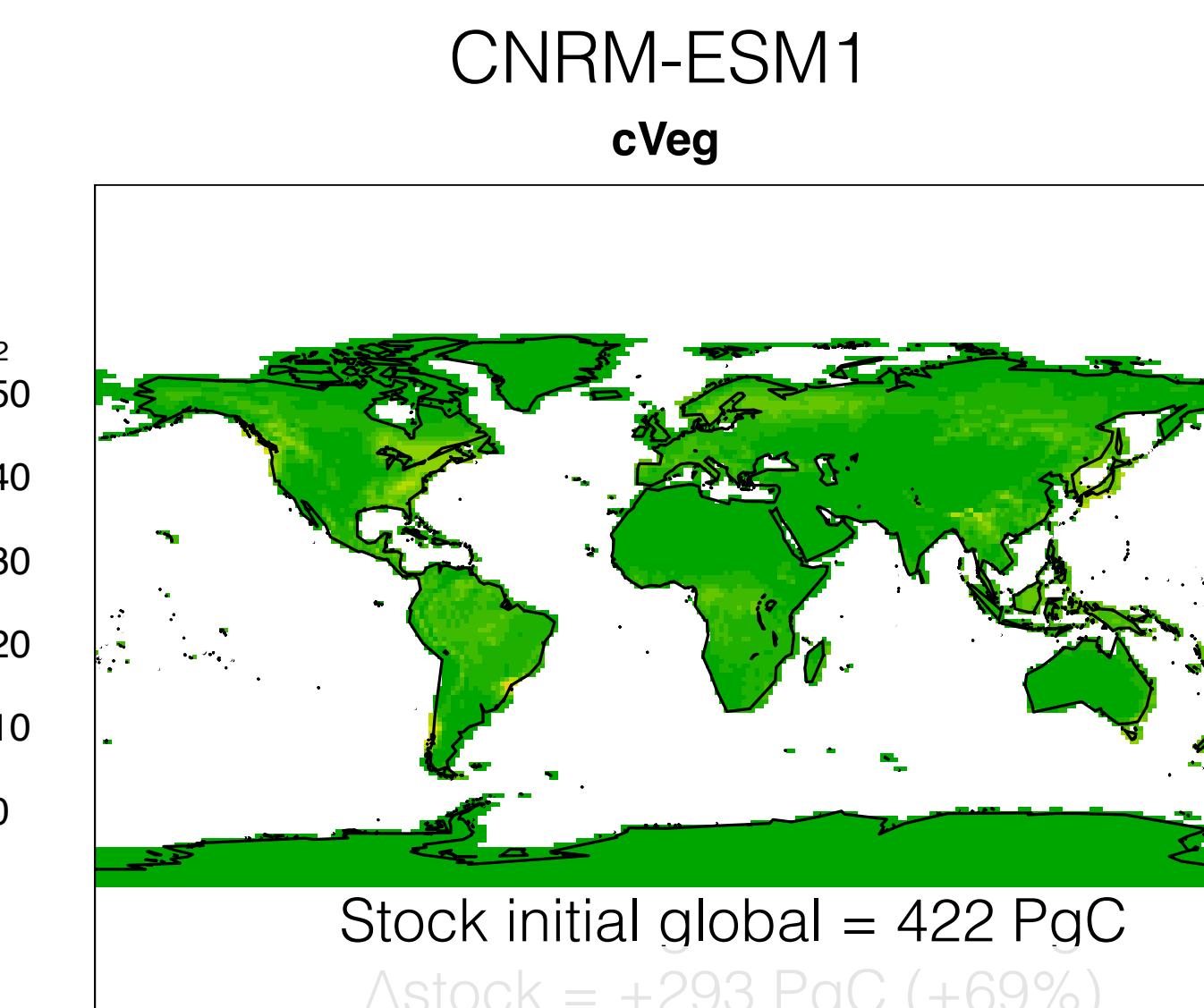
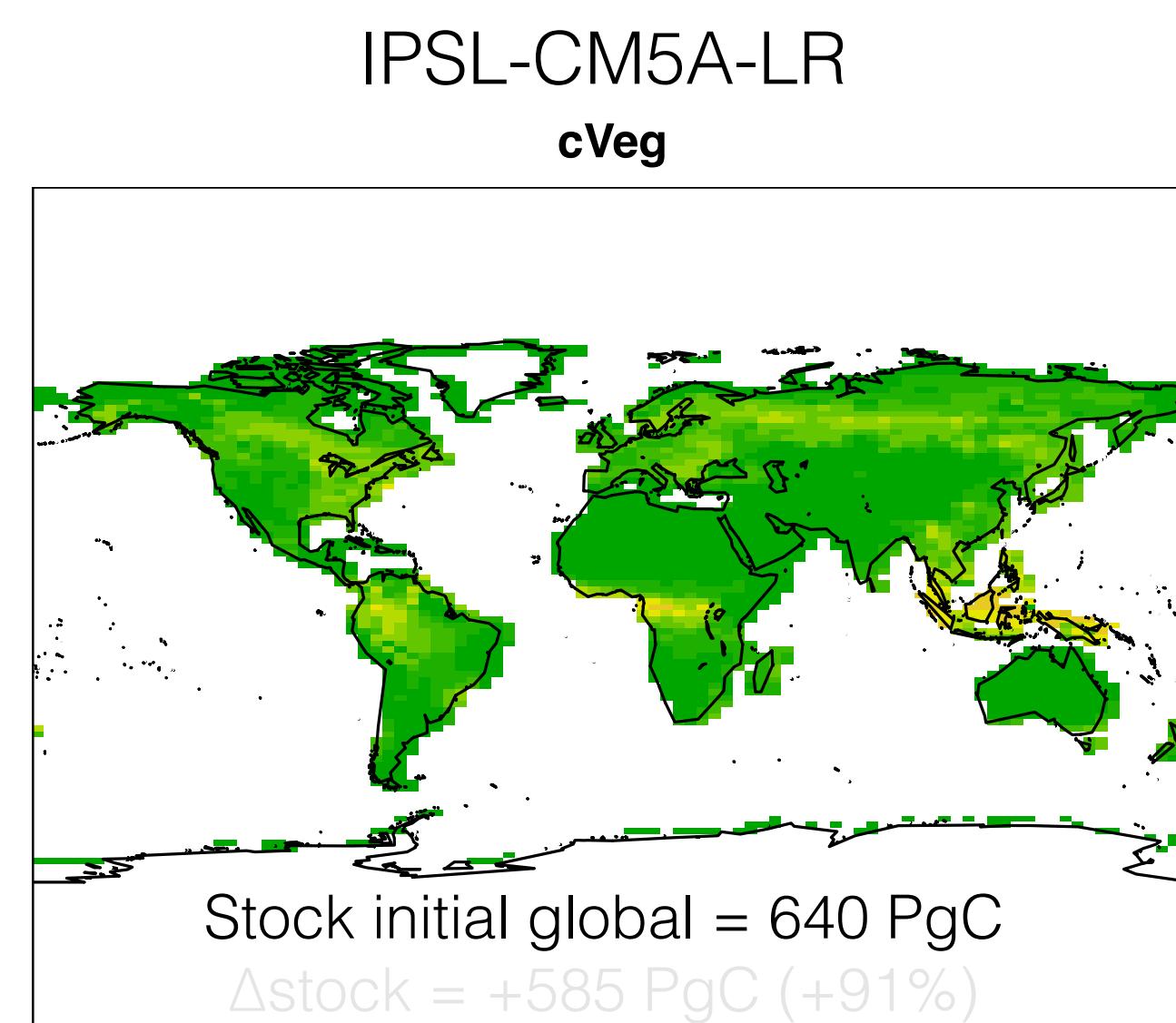
$\beta$  : Sensibilité des puits de carbone (biosphère terrestre et océan) à l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique [PgC.ppm<sup>-1</sup>]

$\gamma$  : Sensibilité des puits de carbone (biosphère terrestre et océan) au changement climatique [PgC.K<sup>-1</sup>]

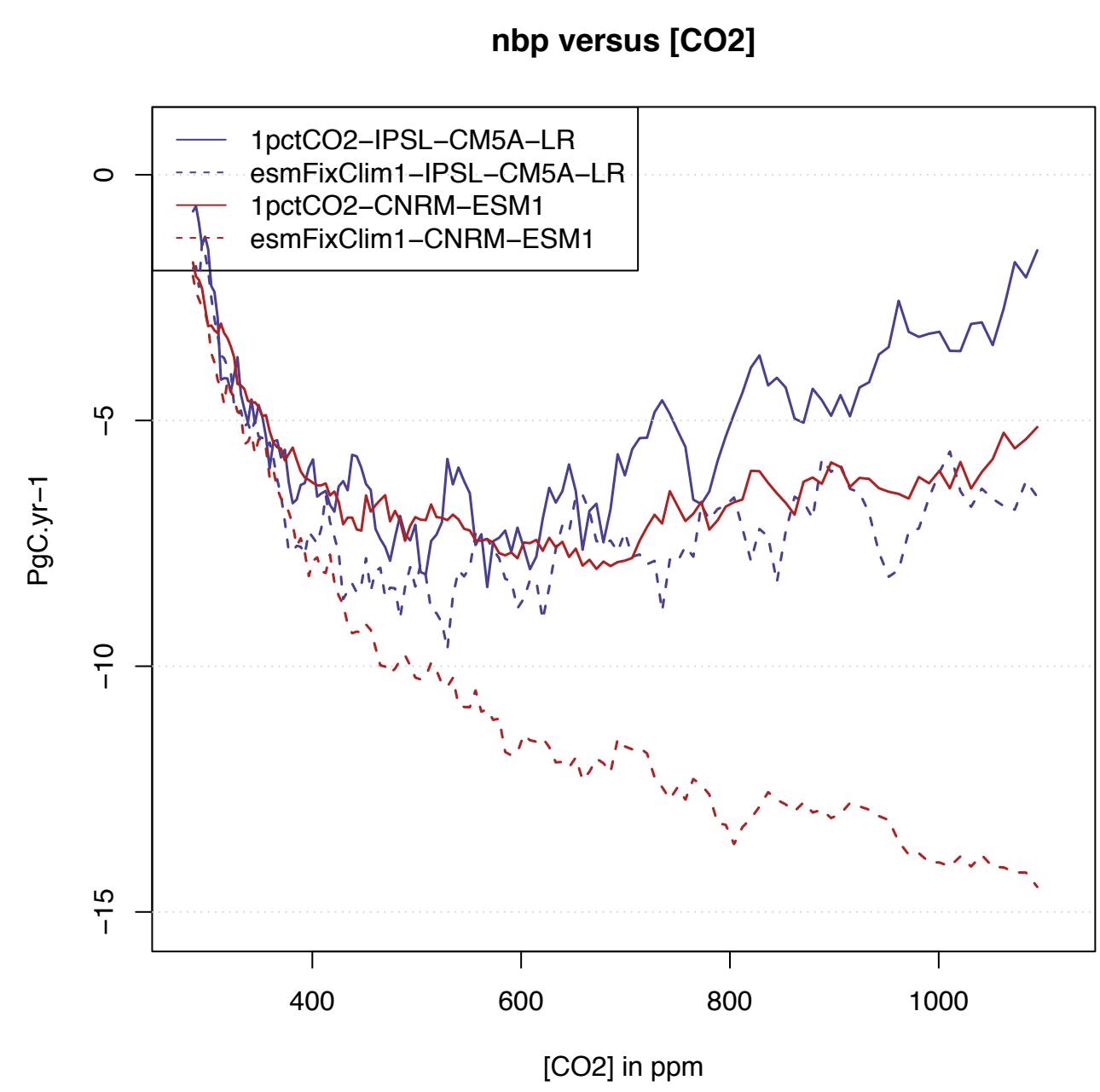
Avec  $dQ_c$  l'évolution des puits de carbone

$\alpha$  :  $dT/dCO_2$  et  $dPr/dCO_2$ tas versus [CO<sub>2</sub>]pr versus [CO<sub>2</sub>]

		UNC	COU
$\Delta T$	IPSL-CM5A-LR	0.31°C	4.9°C
	CNRM-ESM1	-0.13°C	4.6°C
$\Delta P$	IPSL-CM5A-LR	-2 %	9,2 %
	CNRM-ESM1	-1 %	6,6 %

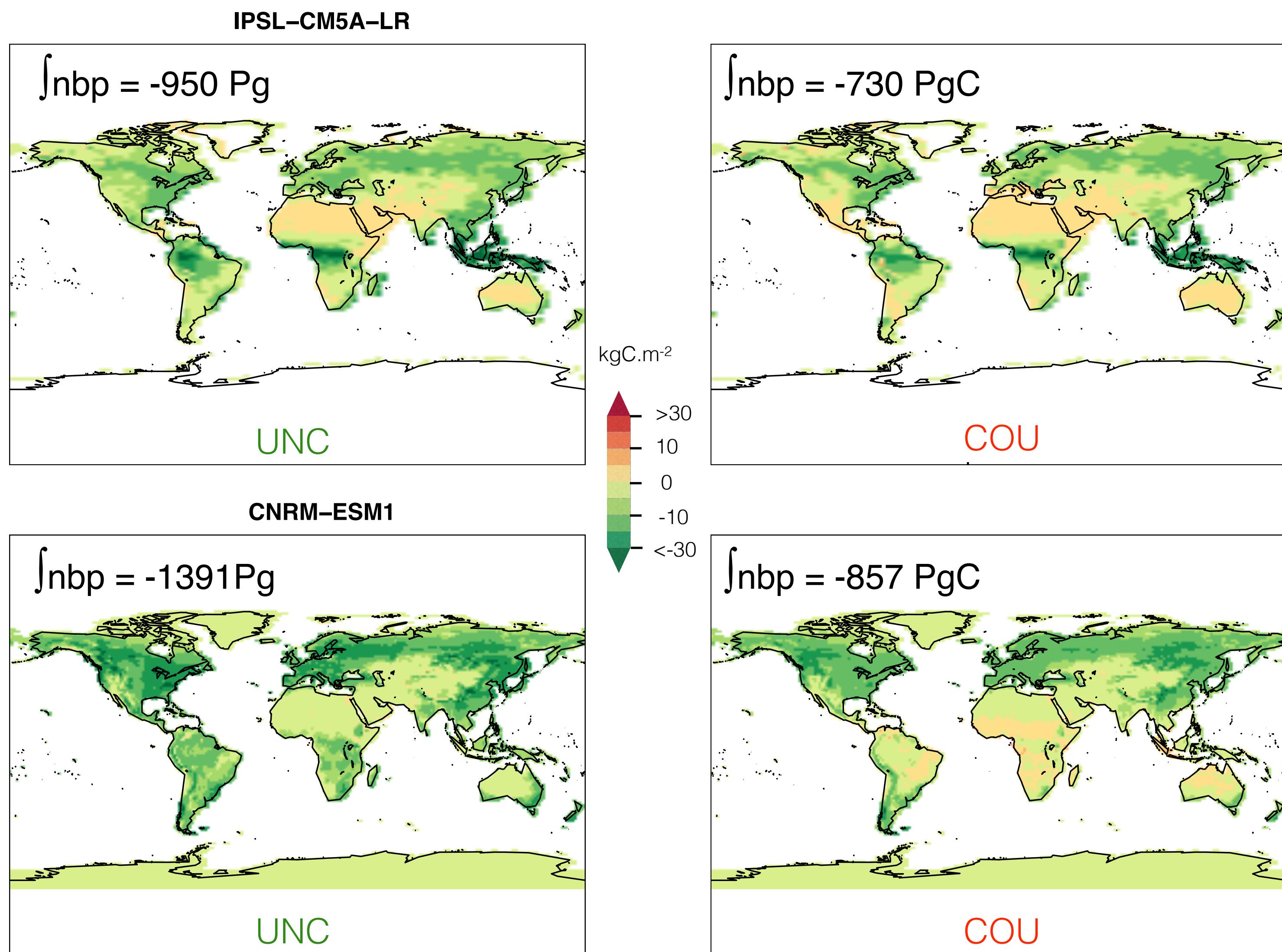


## Différence de distribution spatiale des flux cumulés émis par les modèles

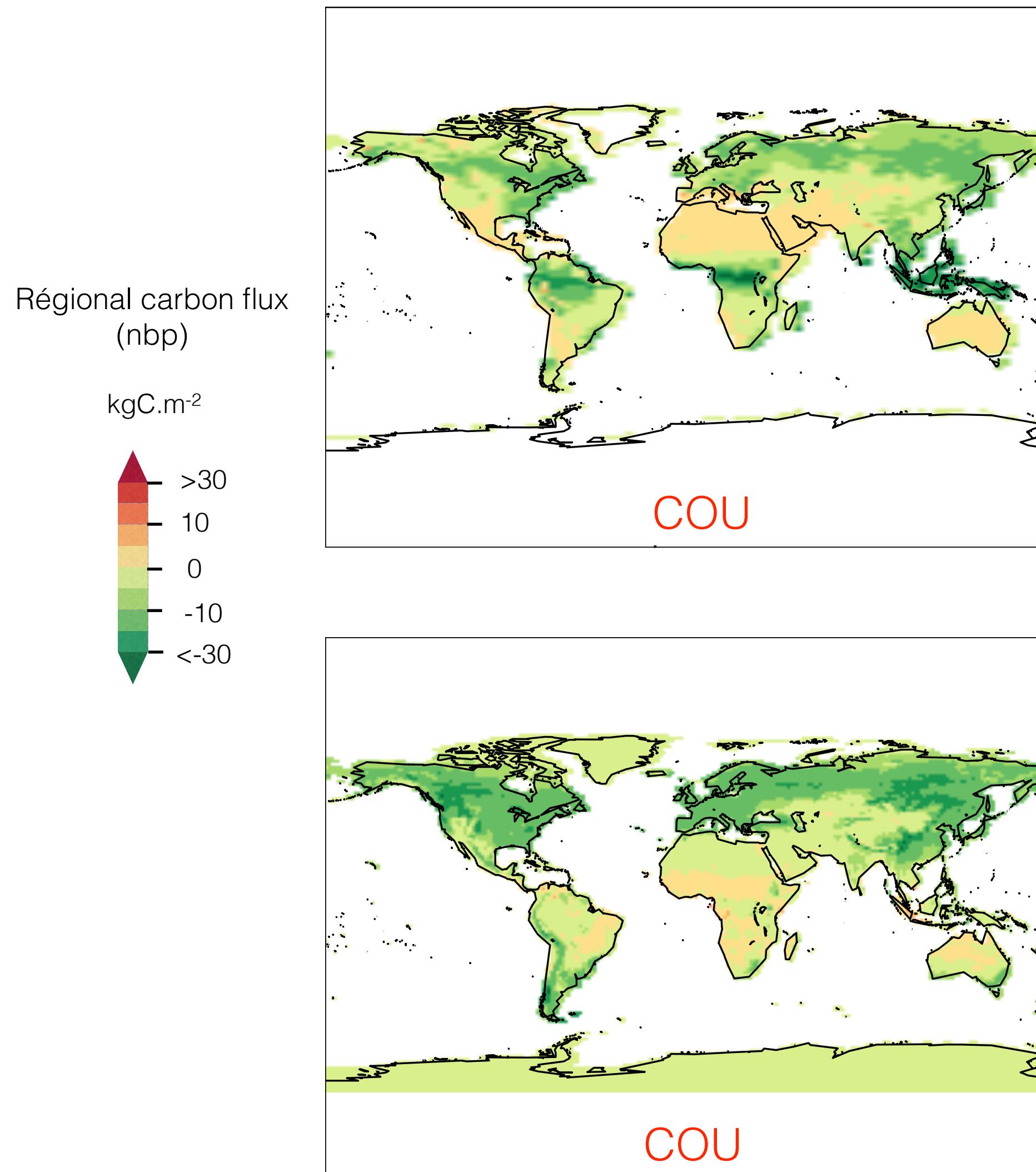


UNC  
COU

IPSL-CM5A-LR  
CNRM-ESM1

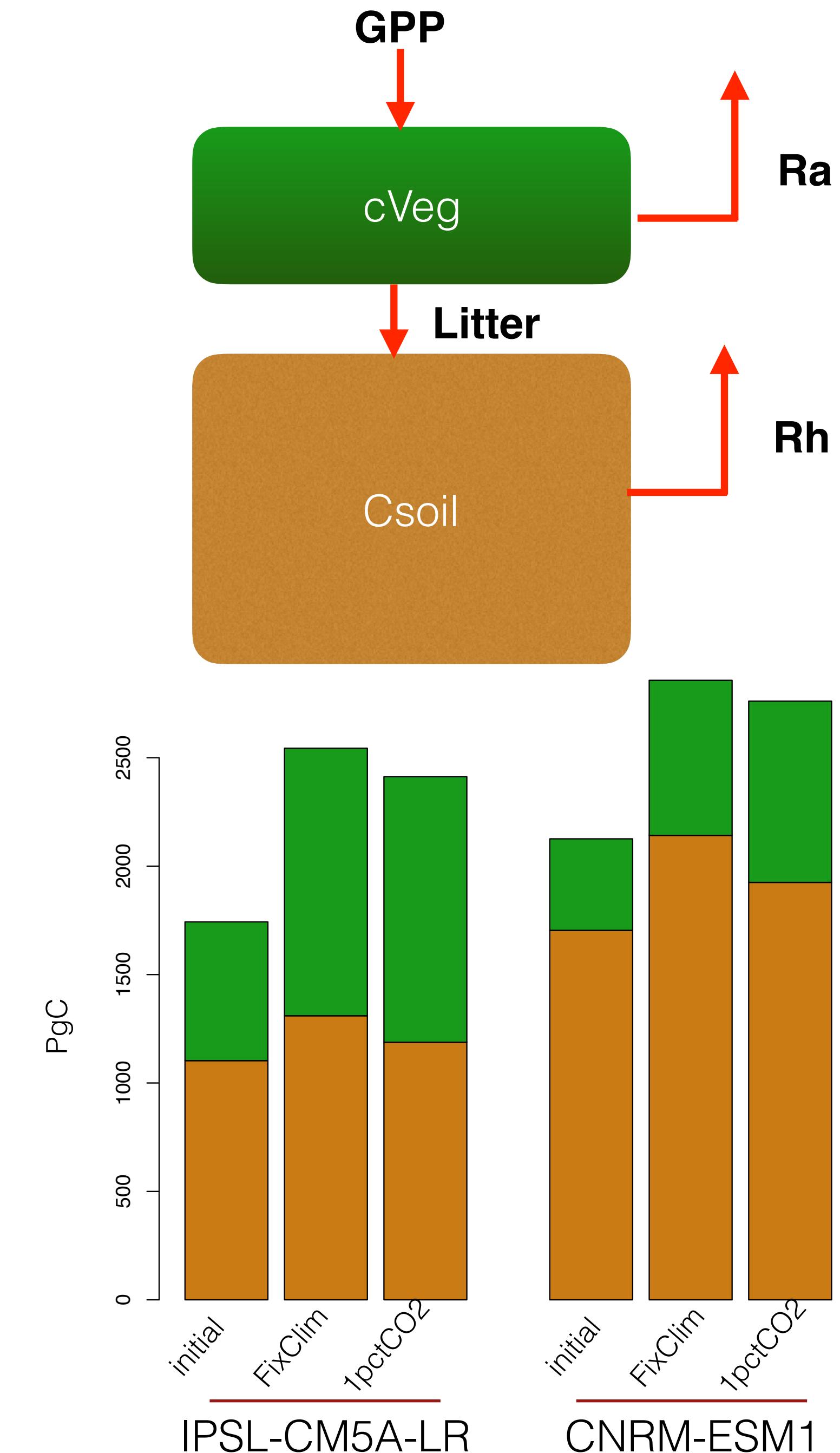
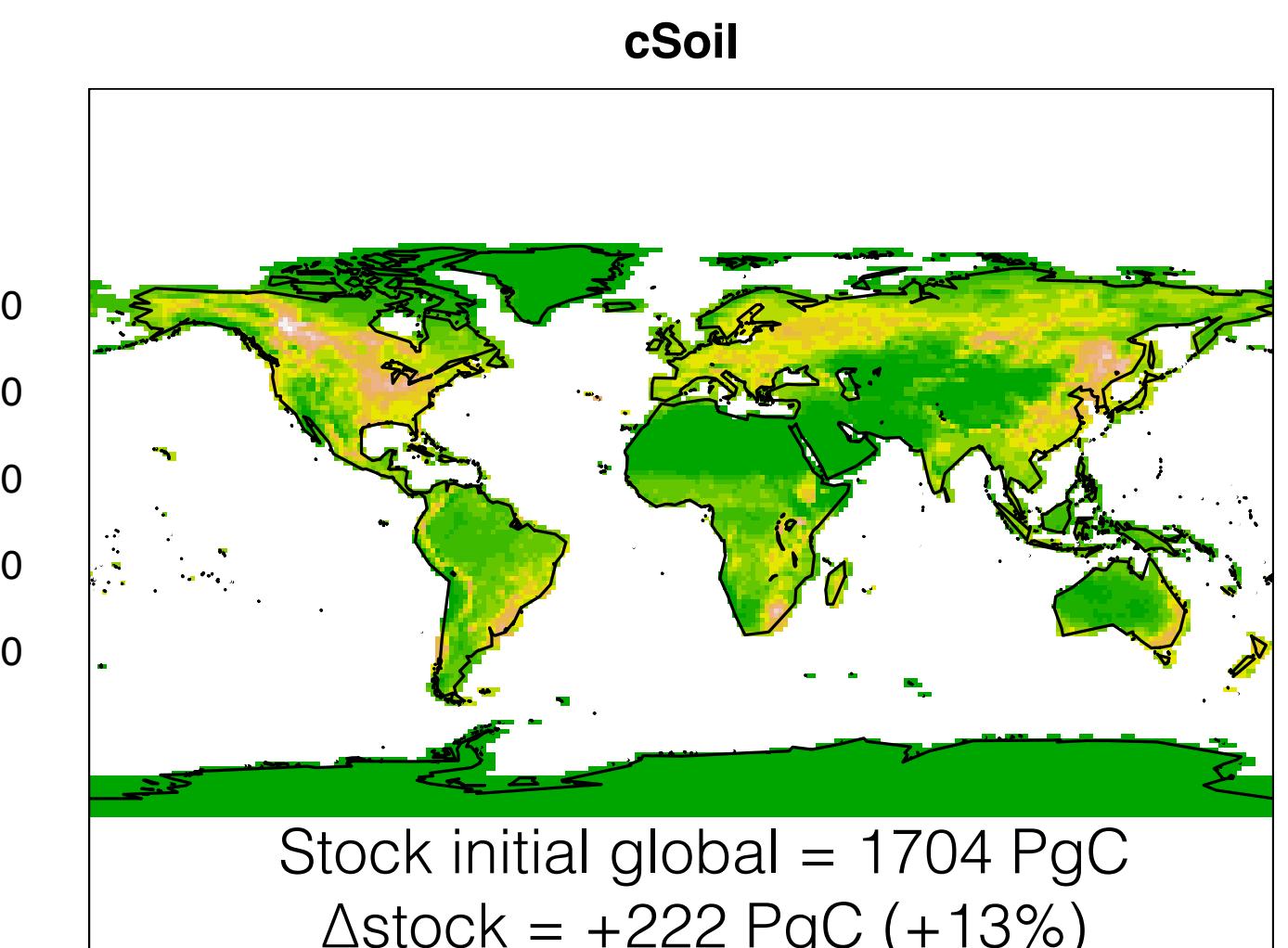
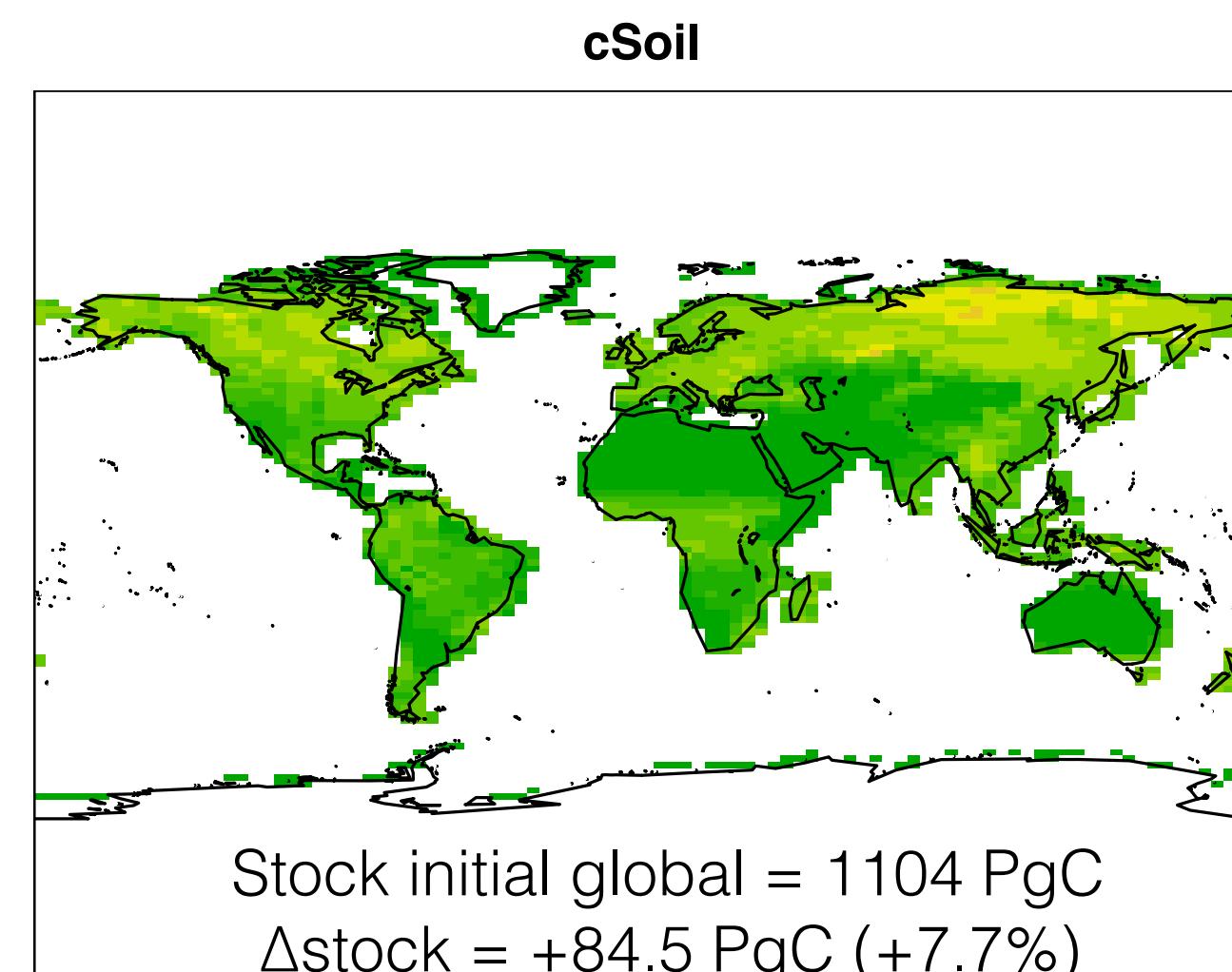
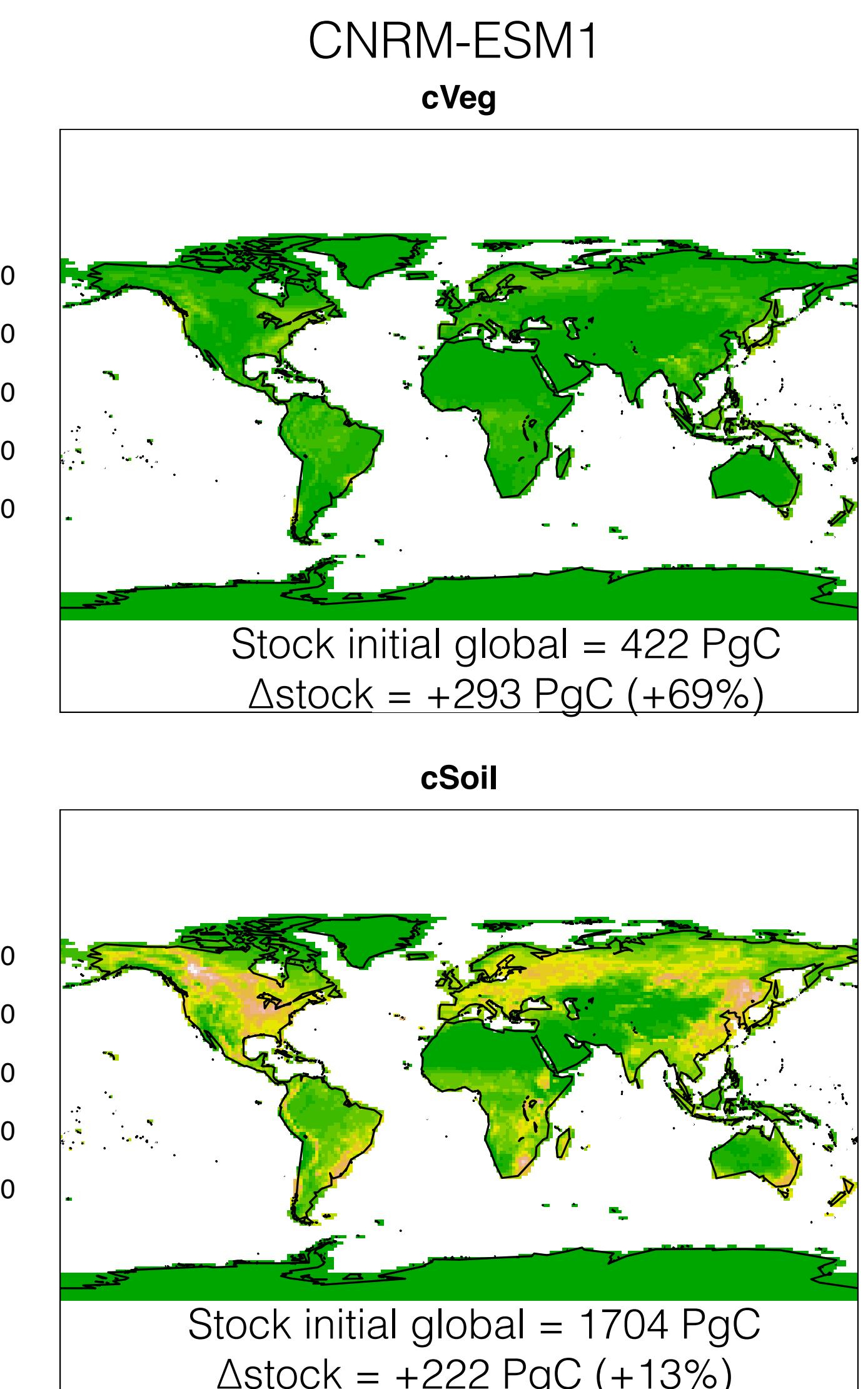
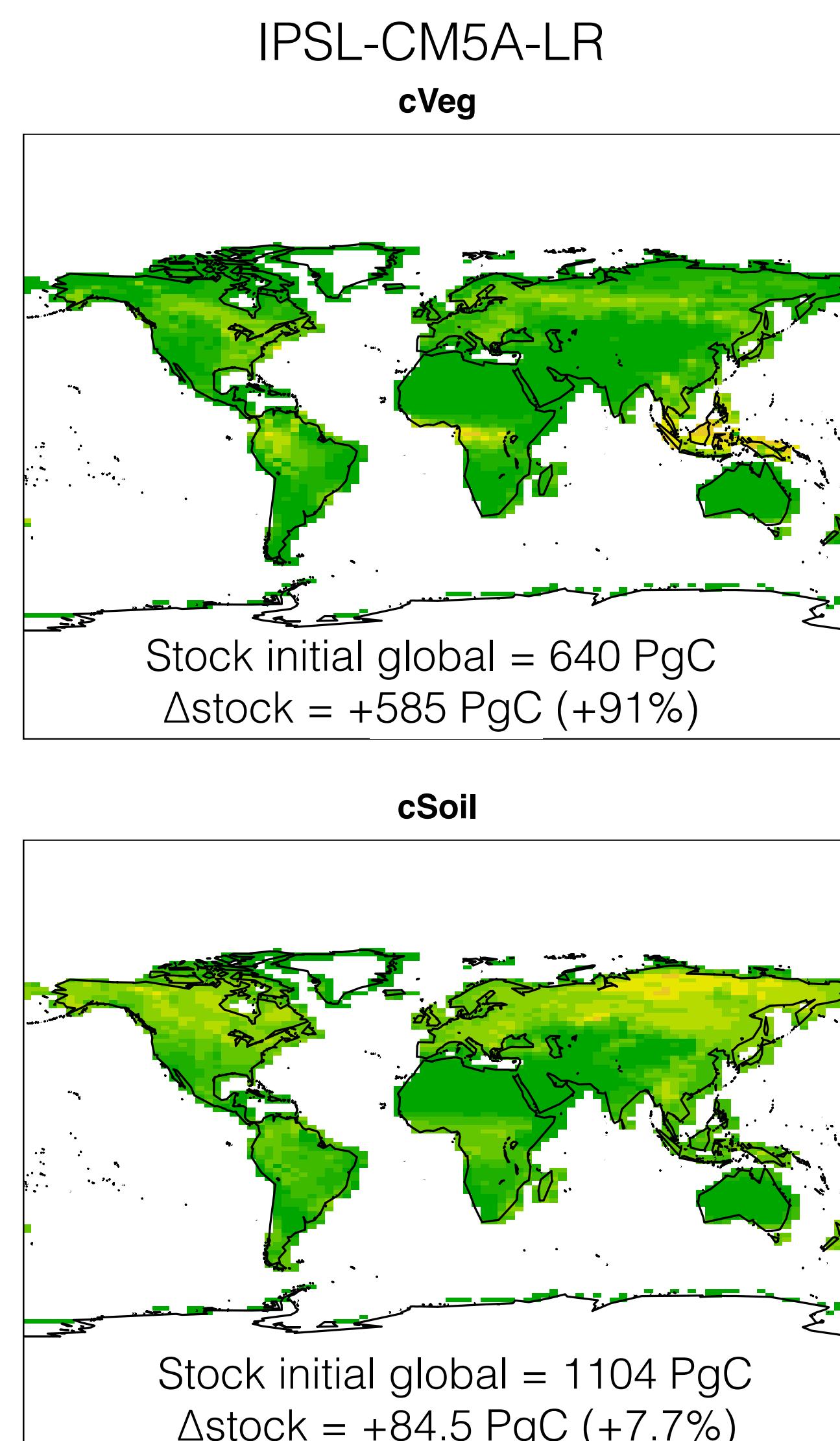


## Différence par région des distributions spatiales des flux cumulés émis par les modèles



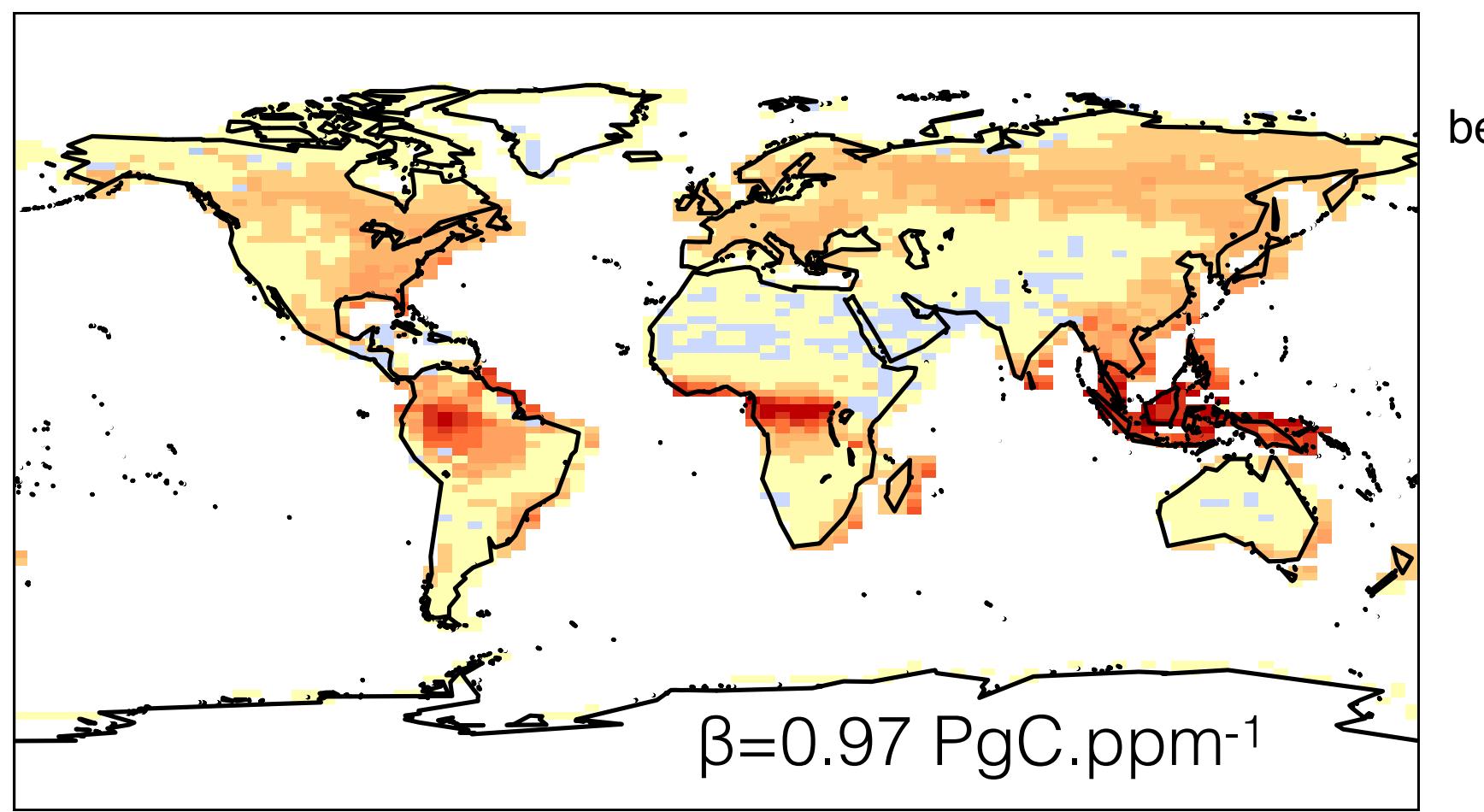
Europe - Eurasie tempérée et boréale : 34 %  
Amérique du sud tropicale,  
Afrique du Sud , Asie Tropicale :  
40%

Europe - Eurasie tempérée et boréale : 54 %  
Amérique du sud tropicale,  
Afrique du Sud , Asie Tropicale :  
8%

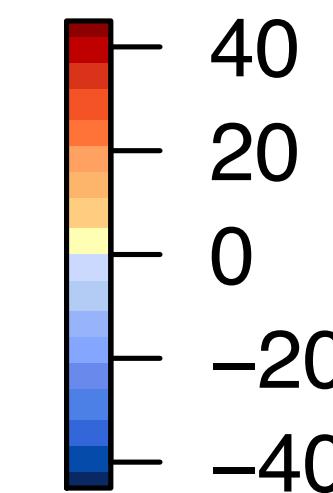


$\beta$  : Sensibilité du puits de carbone à la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique

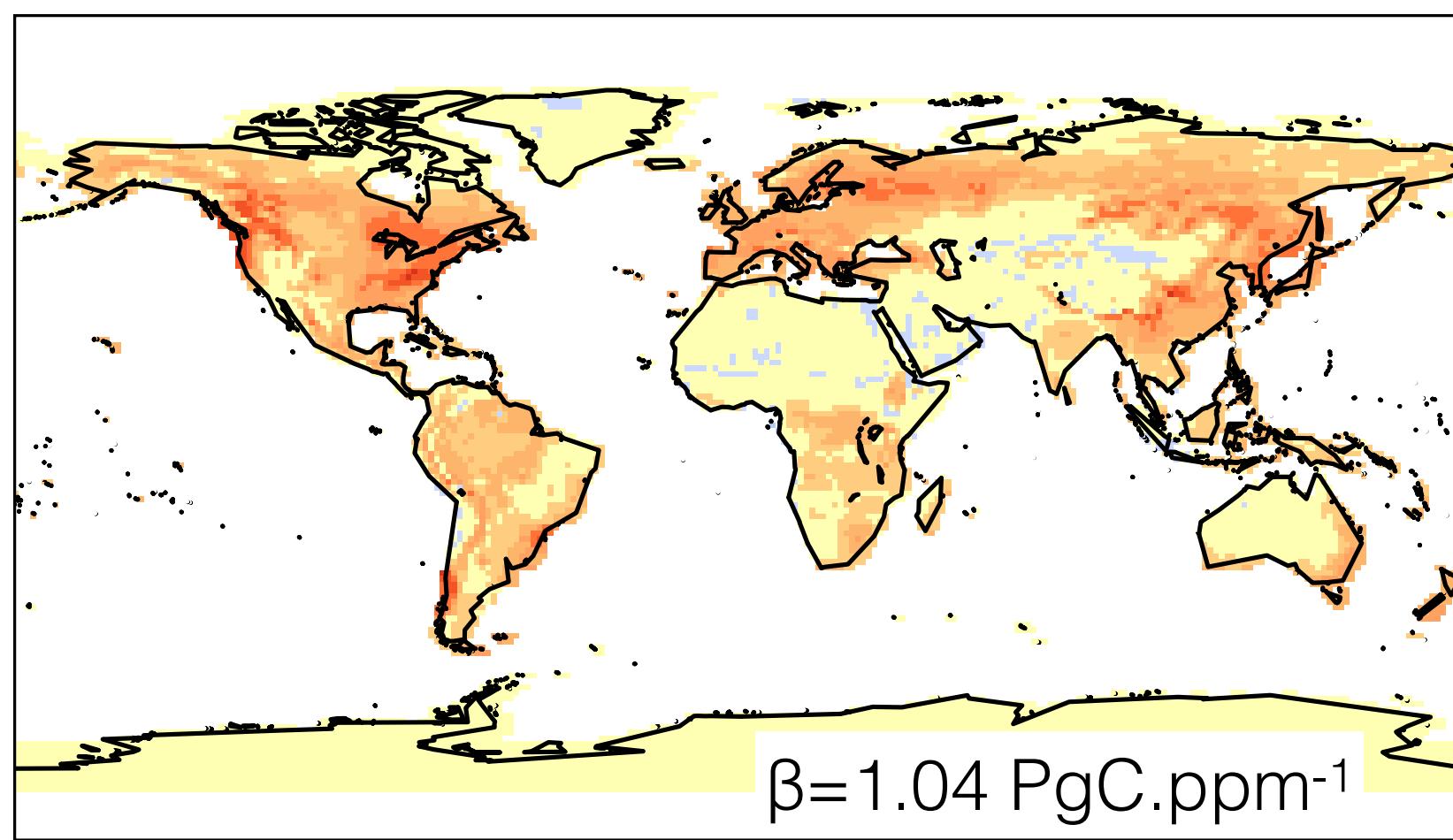
IPSL-CM5A-LR



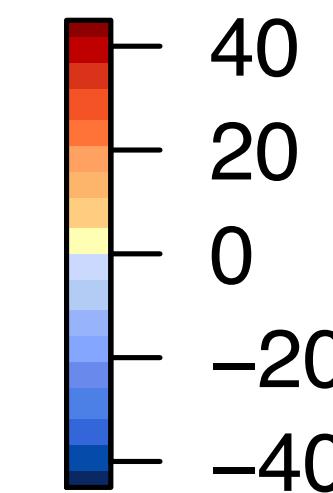
beta [ $10^{-3} \text{ kgC.m}^{-2}.\text{ppm}^{-1}$ ]



CNRM-ESM1

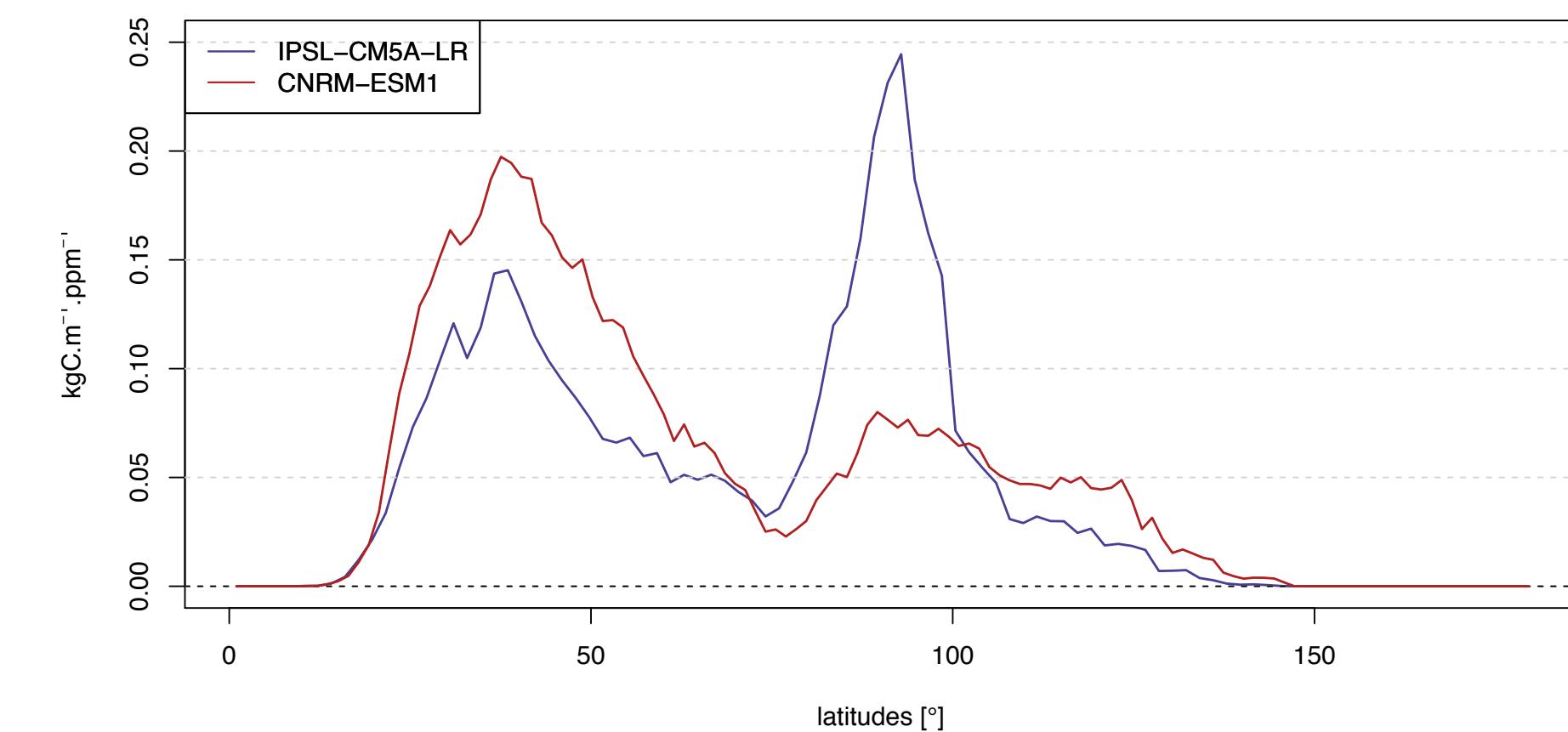
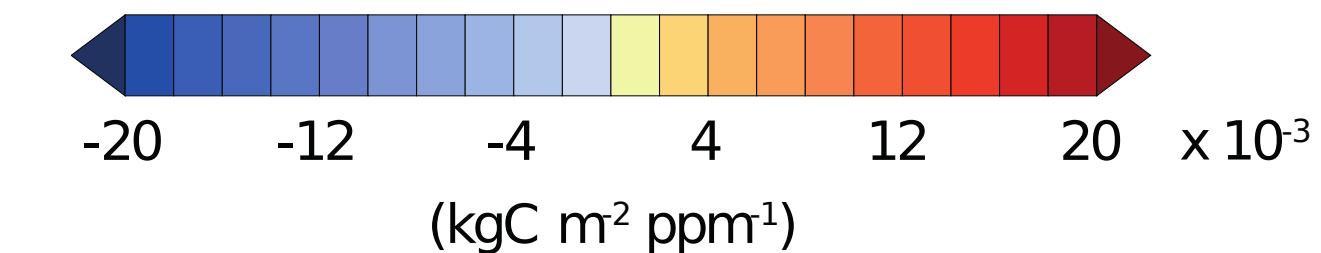
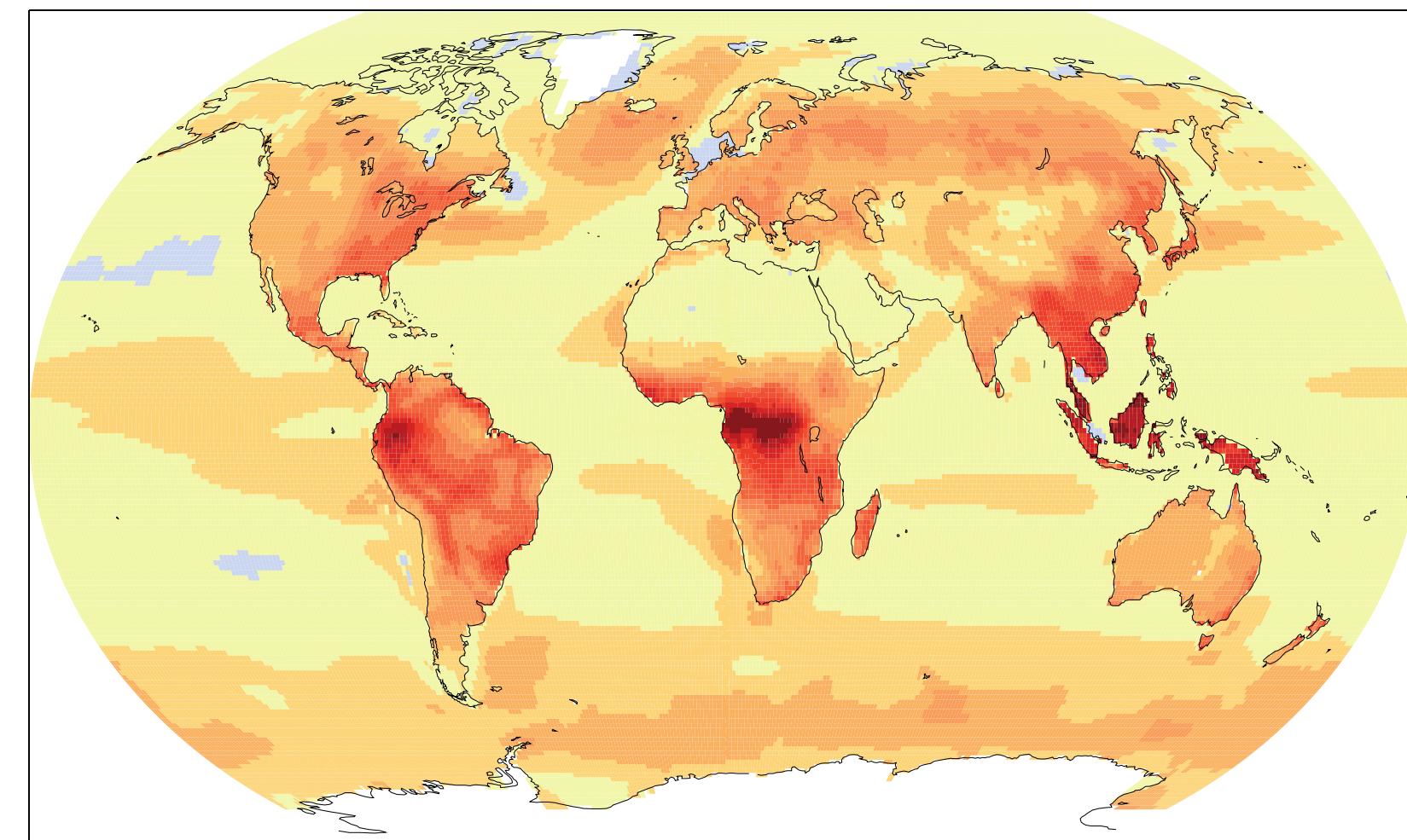


beta [ $10^{-3} \text{ kgC.m}^{-2}.\text{ppm}^{-1}$ ]



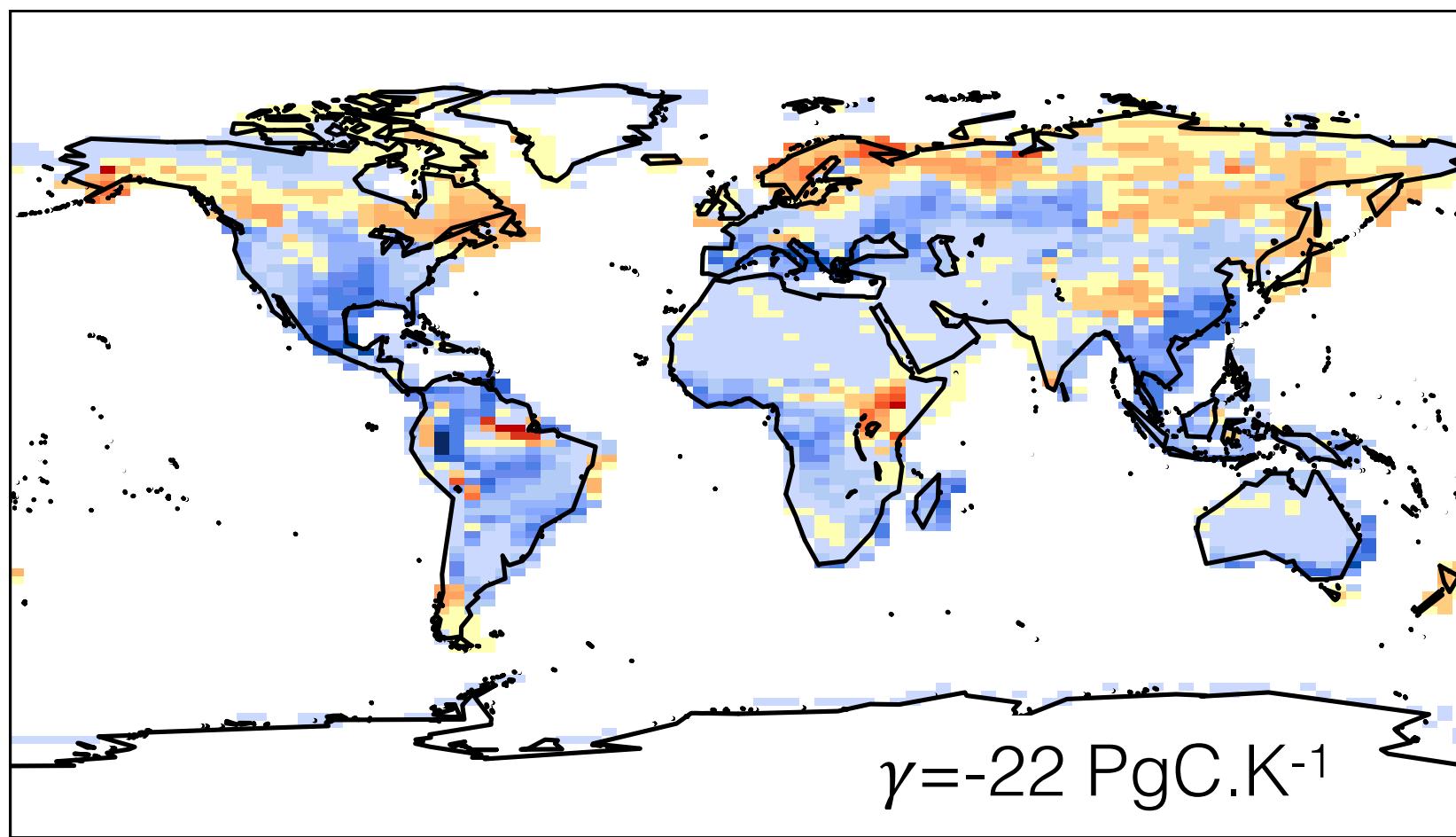
IPCC - AR5

a. Regional carbon-concentration feedback

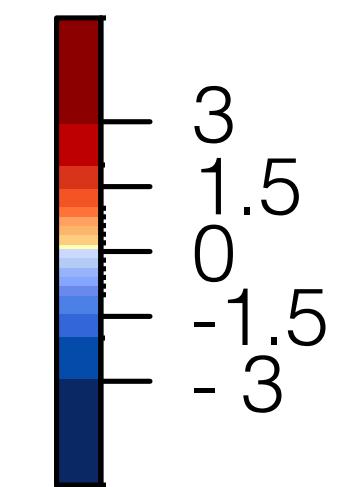


$\gamma$  : Sensibilité climatique du puits du carbone à l'augmentation de température.

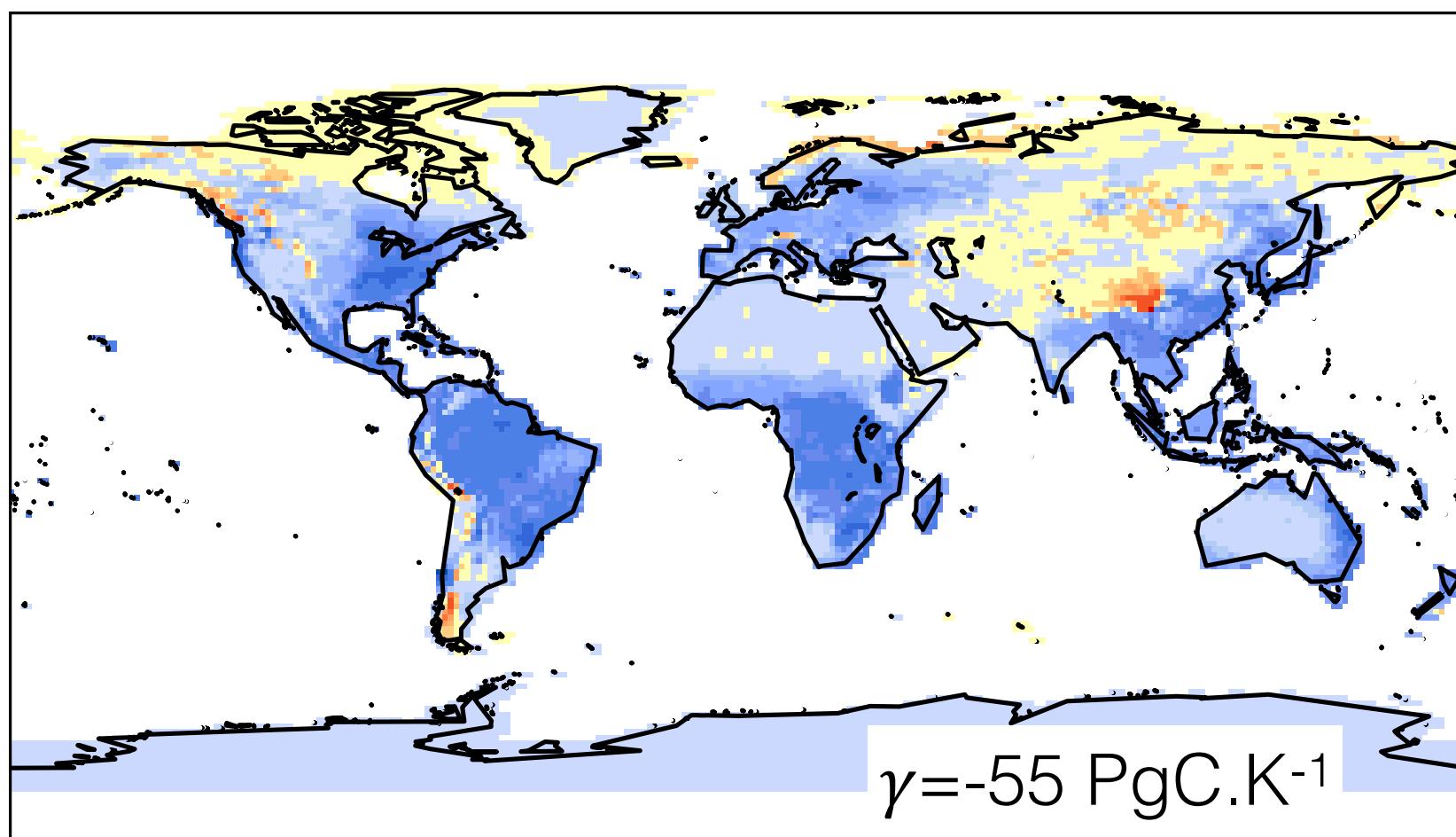
IPSL-CM5A-LR



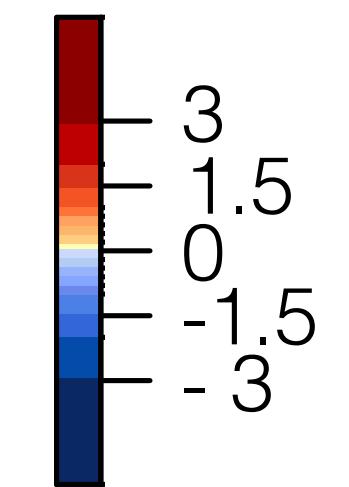
$\gamma [\text{kgC.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$



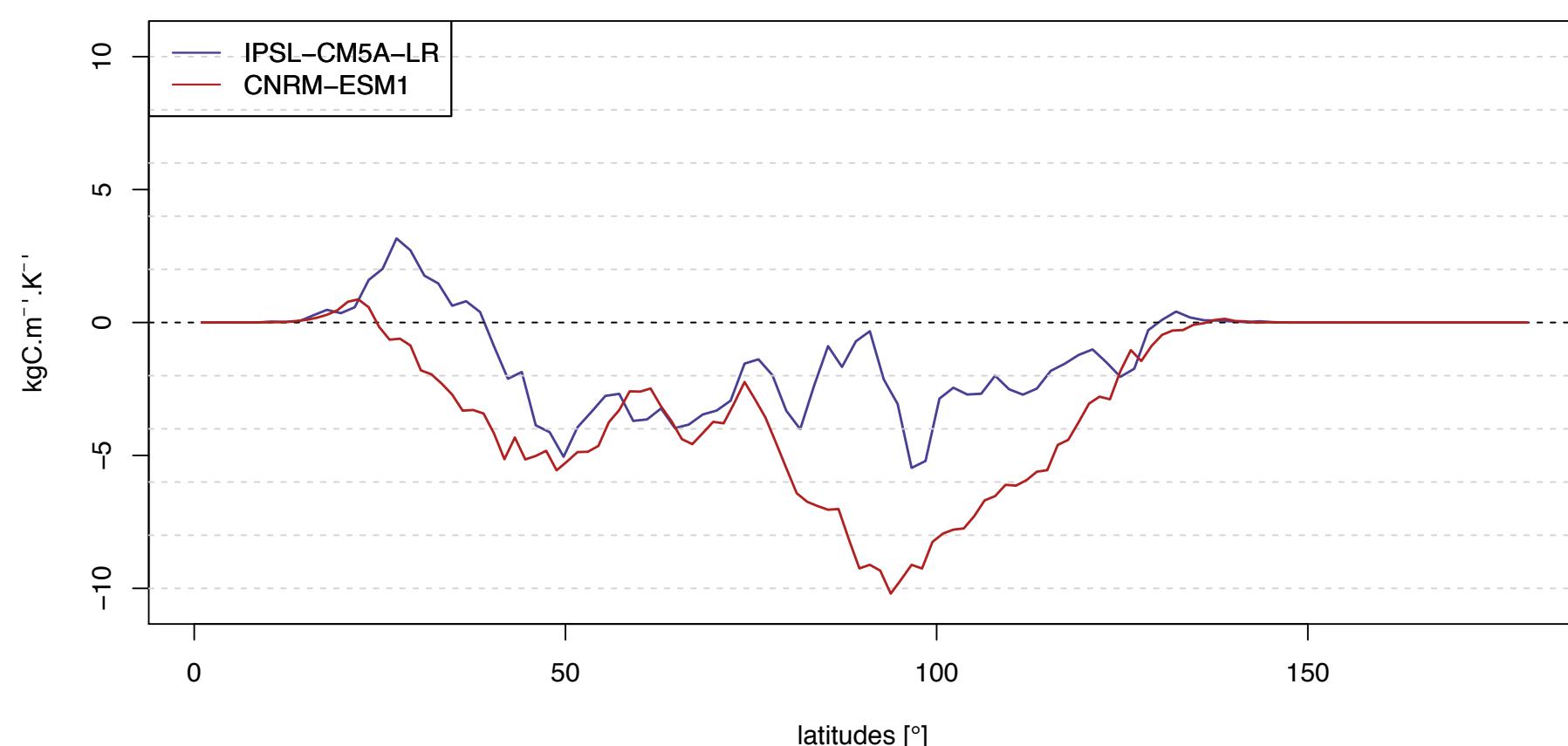
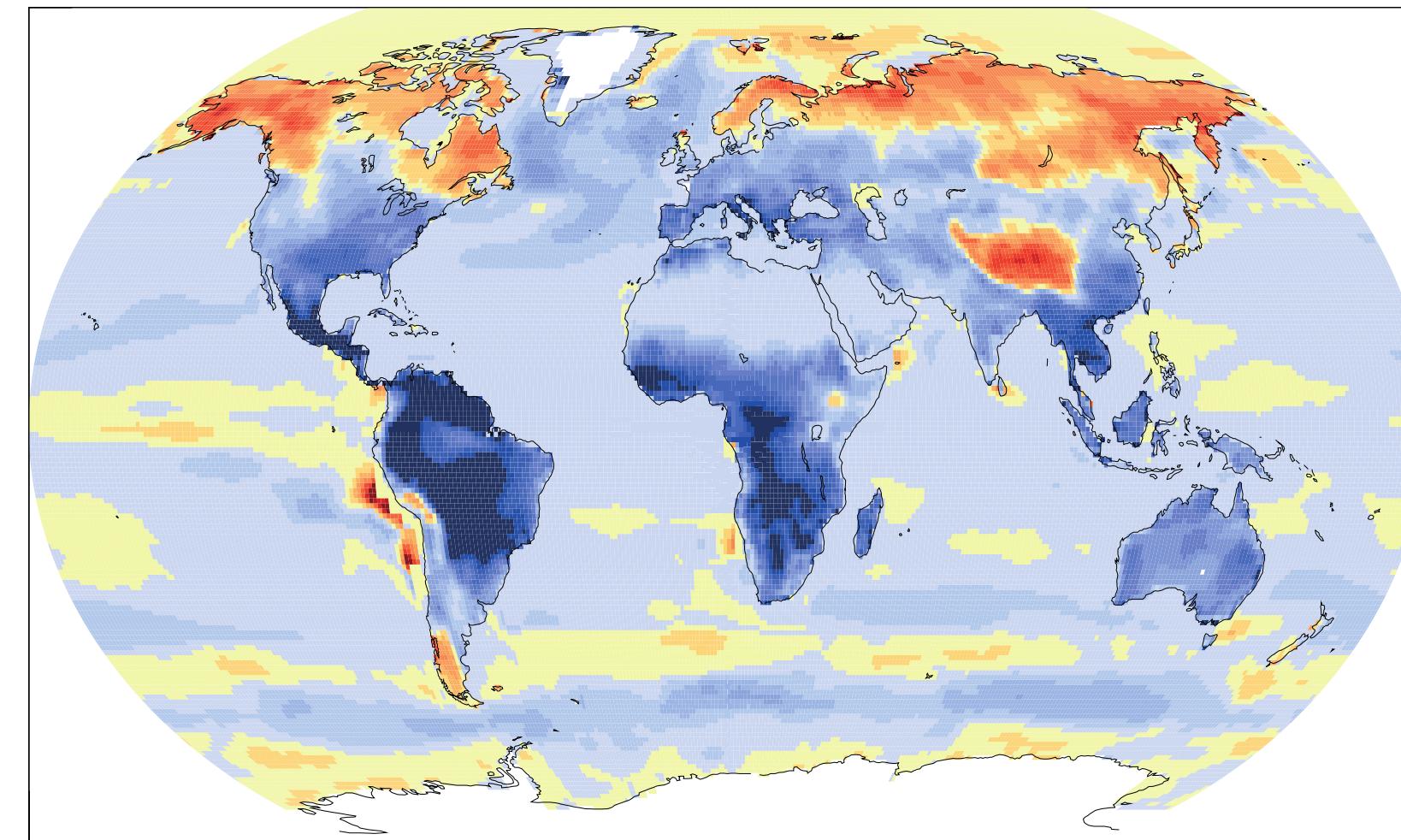
CNRM-ESM1



$\gamma [\text{kgC.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$



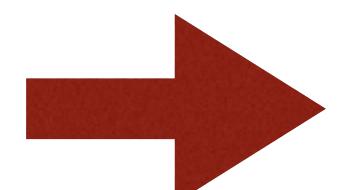
IPCC - AR5  
b. Regional carbon-climate feedback



## Conclusions

- $\alpha$  :
  1. La sensibilité climatique au CO<sub>2</sub> est similaire entre les deux modèles.
  2. Le niveau moyen des précipitations simulées diffère entre les 2 modèles.
  3. Quelques différences spatiales en termes d'augmentation de la température.
- $\beta$  :
  1. Le stock de carbone du CNRM est plus important que celui de l'IPSL. Les stocks de carbone sont répartis de manière différente entre la végétation et le sol entre les deux modèles.
  2. La biosphère terrestre du CNRM-EMS1 absorbe plus de CO<sub>2</sub> que le modèle de l'IPSL. Le comportement des tropiques est très différent.

=> Une sensibilité globale du carbone à l'augmentation de CO<sub>2</sub> similaire mais de forte disparités spatiales très fortes, en particulier aux tropiques.
- $\gamma$  : La sensibilité des puits à l'augmentation de température du modèle CNRM est deux fois plus importante que celle de l'IPSL-CM5A-LR.



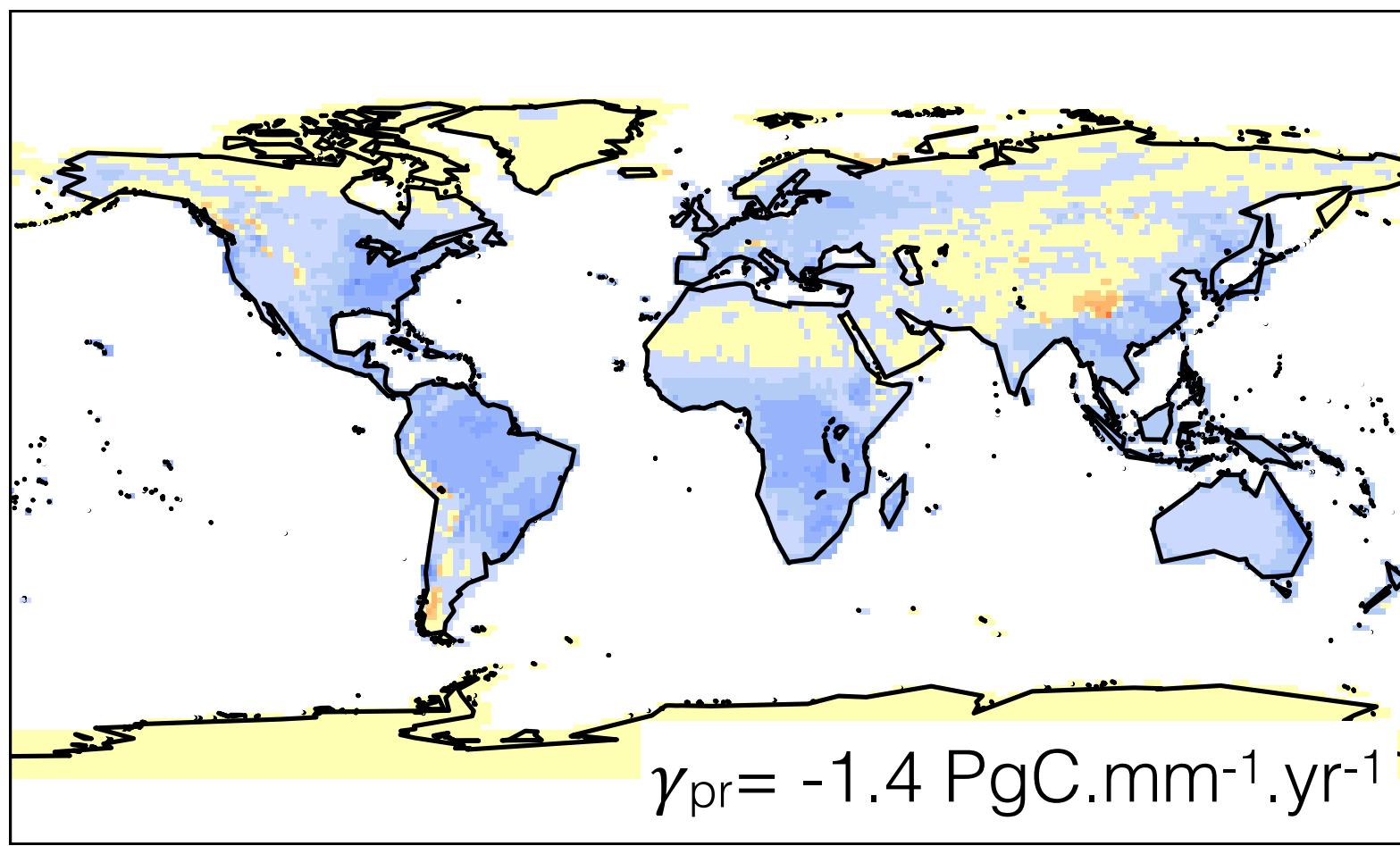
**Rétroaction carbone due à la biosphère : CNRM = + 159 ppm contre IPSL = + 62 ppm**

## Perspectives

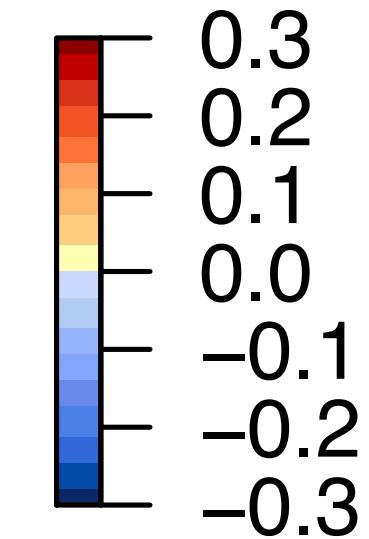
- La comparaison est en cours avec les autres modèles IPSL : IPSL-CM5A-MR (différences liées au changement de résolution) et IPSL-CM5B-LR (différences liées à la nouvelle physique de l'atmosphère)
- Simple diagnostic : analyse approfondie avec la comparaison des distributions spatiales de PFTS et des paramétrisations de l'activité photosynthétique et de respiration de la végétation et du sol.
- Utilisation des produits de télédétection de l'ESA : Land Cover, GHG et d'humidité du sol pour mieux contraindre les paramétrisations de ORCHIDEE.

$\gamma_{pr}$  : Sensibilité du cycle du carbone au changement de précipitations entre esmFixClim1 et 1pctCO<sub>2</sub>

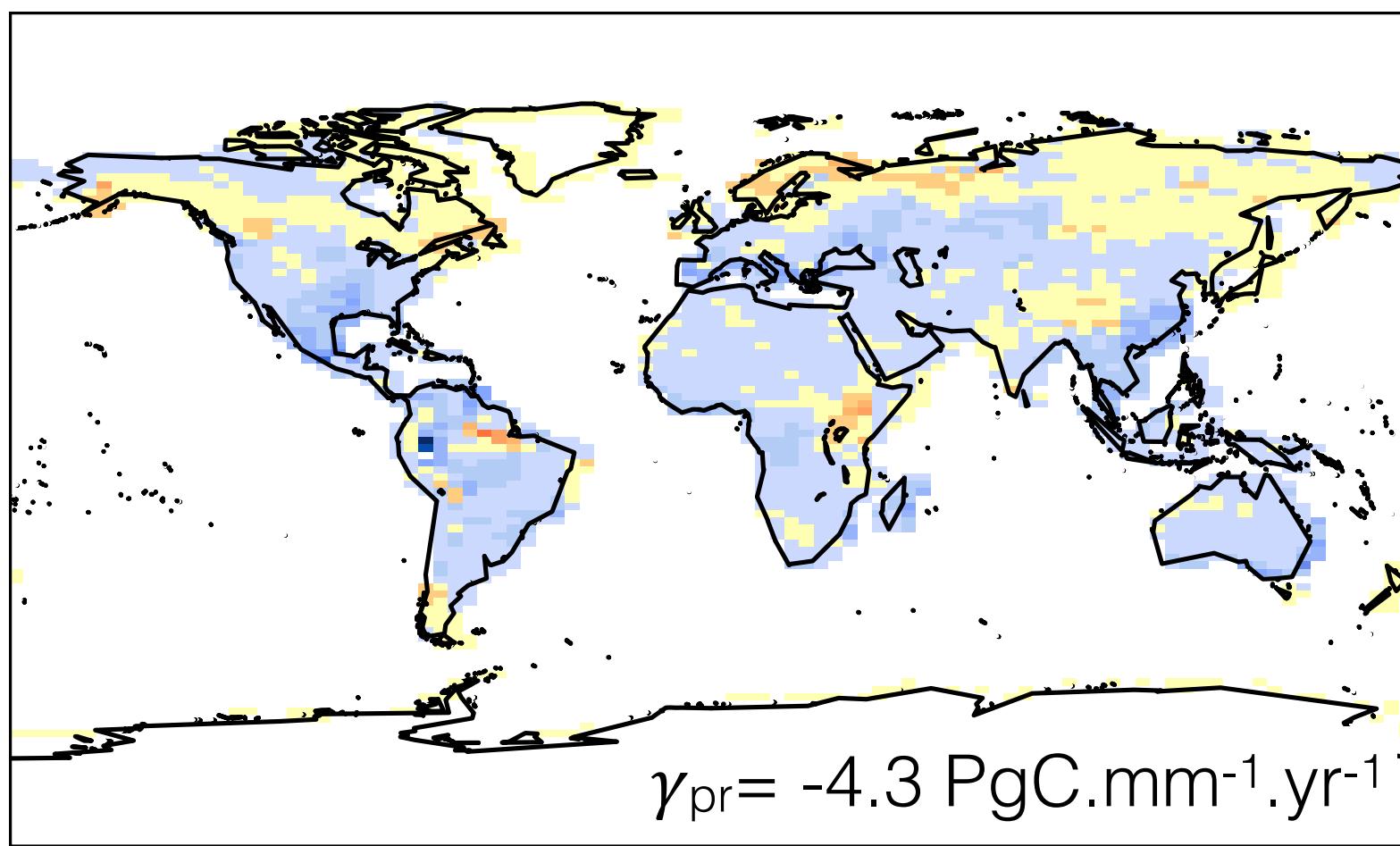
IPSL-CM5A-LR



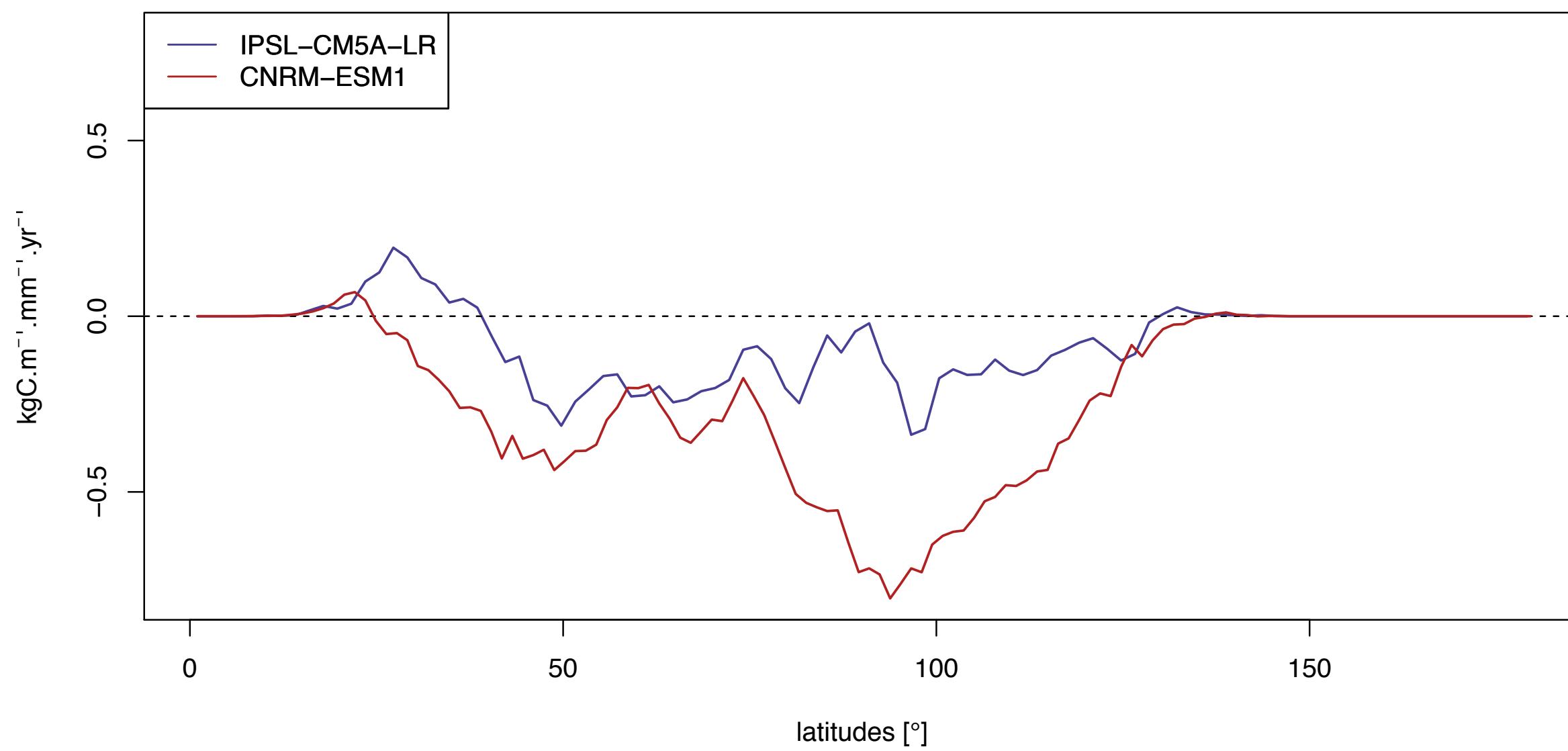
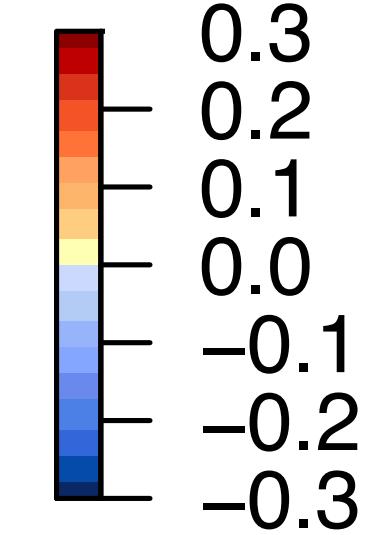
$\gamma [\text{kgC.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}/\text{yr}^{-1}]$



CNRM-ESM1



$\gamma [\text{kgC.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}/\text{yr}^{-1}]$



AR5 - IPCC : « *The increase in leaf photosynthesis with rising CO<sub>2</sub>, the so-called CO<sub>2</sub> fertilisation effect, plays a dominant role in terrestrial biochemical models to explain the global land carbon sink (Sitch et al., 2008), yet it is one of the mode unconstrained process in those model*

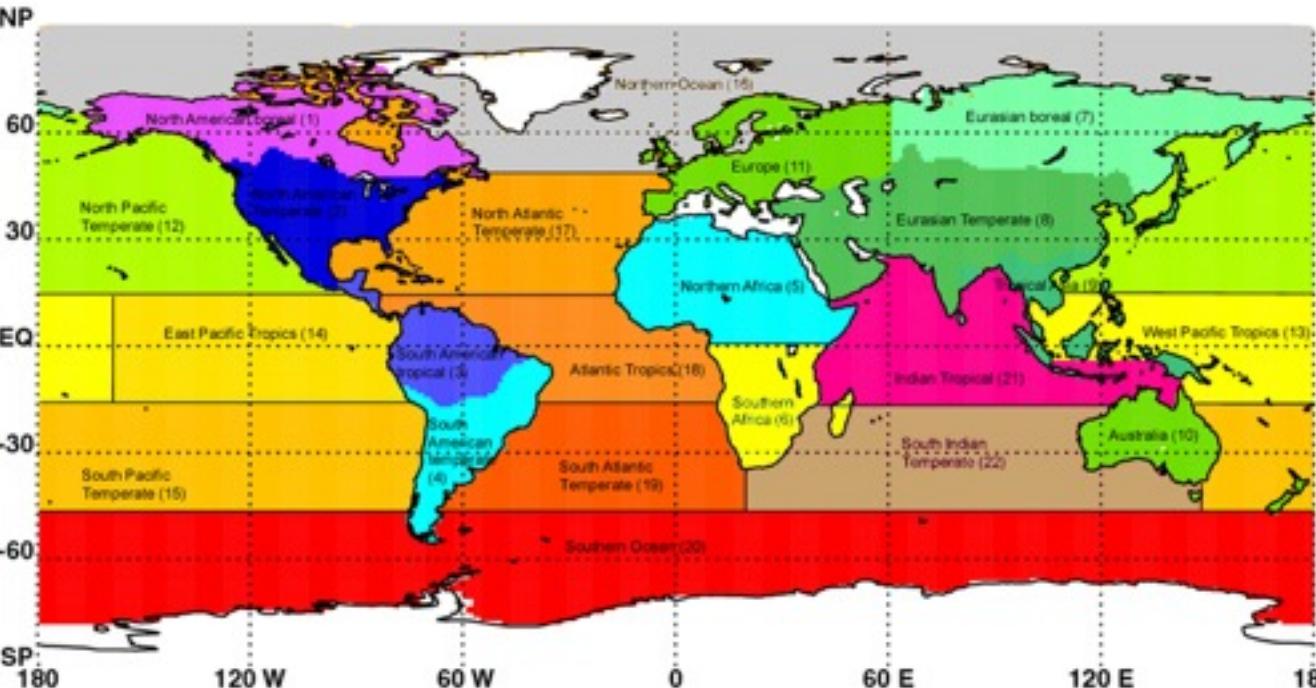
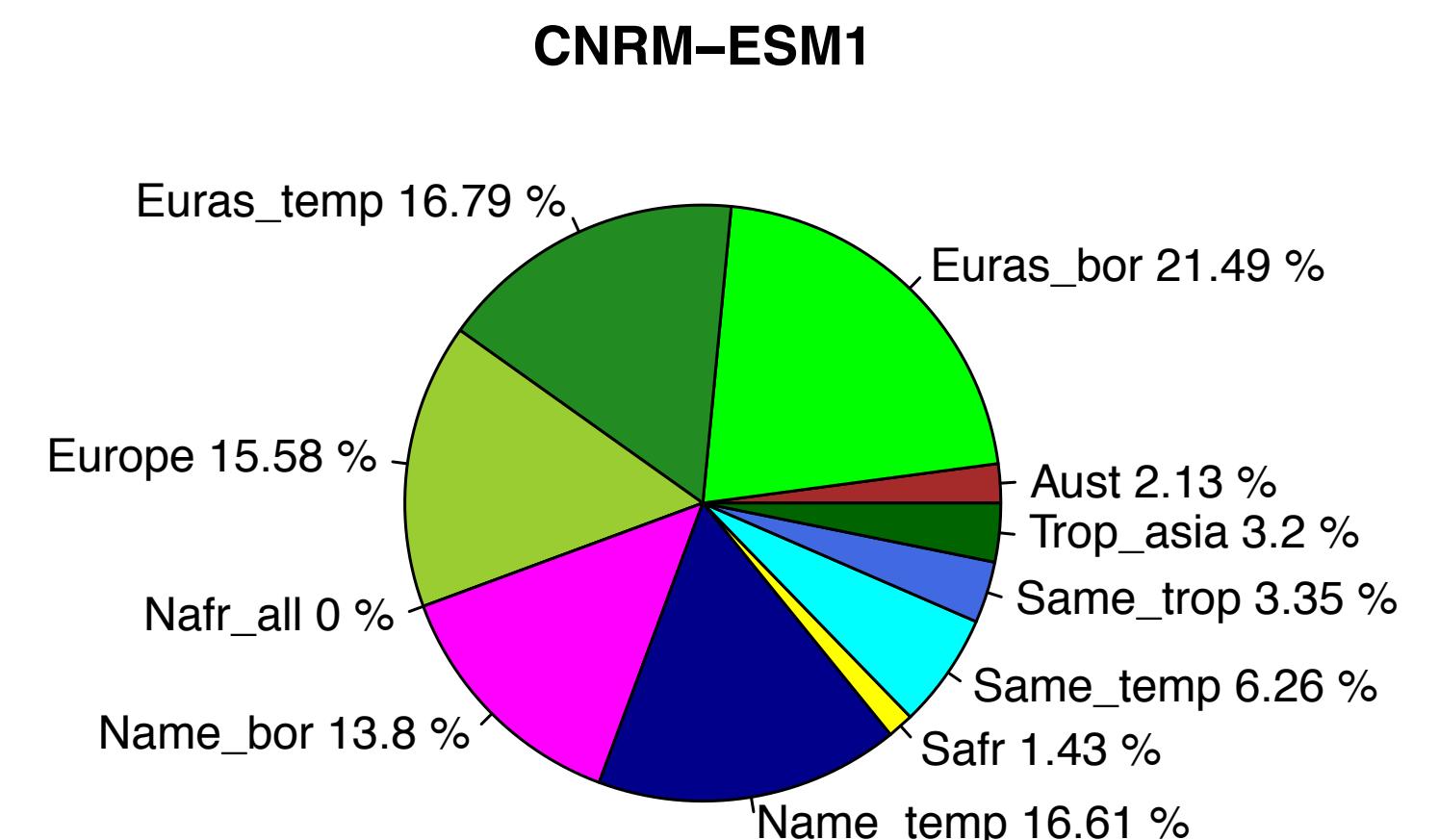
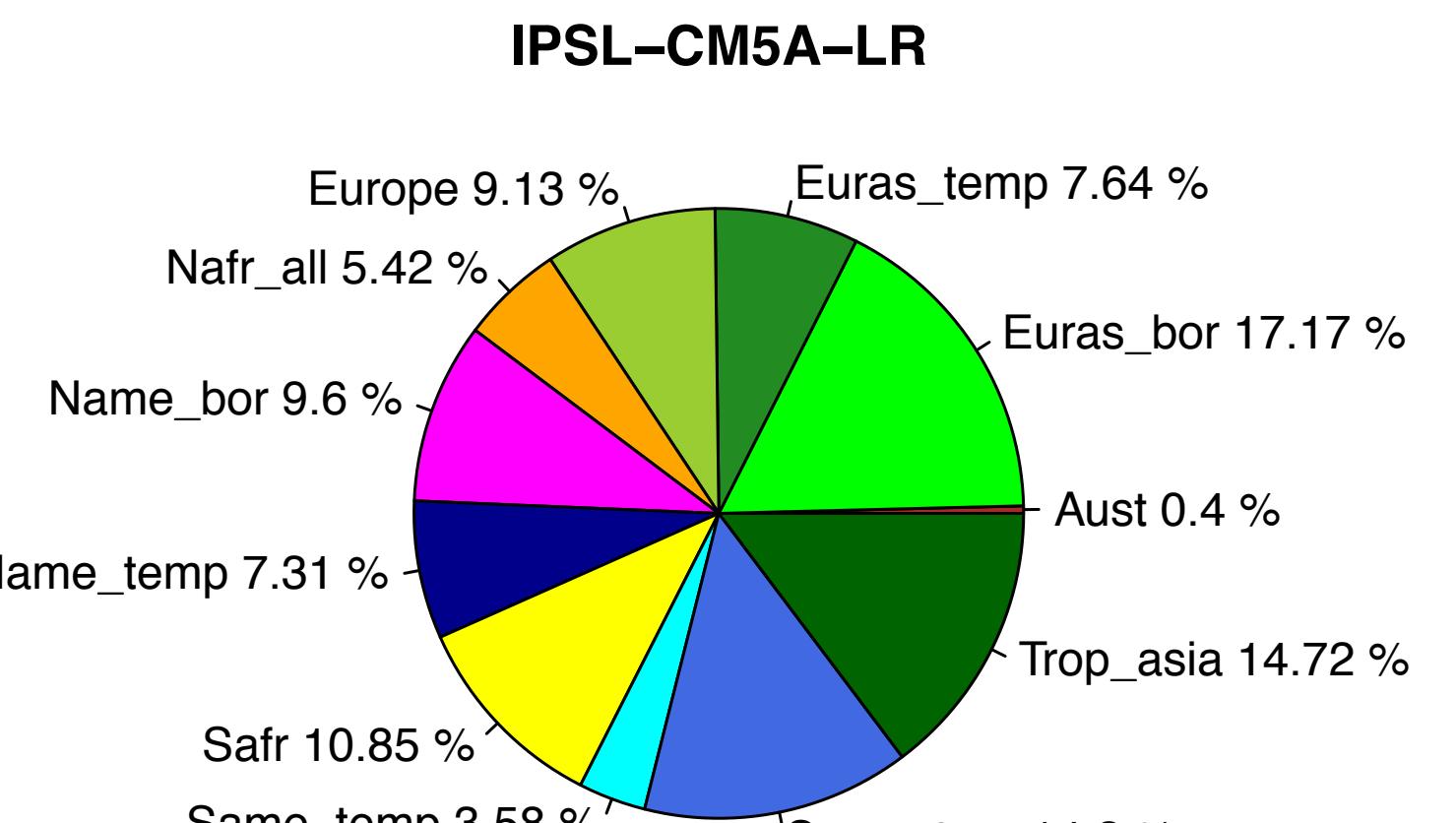
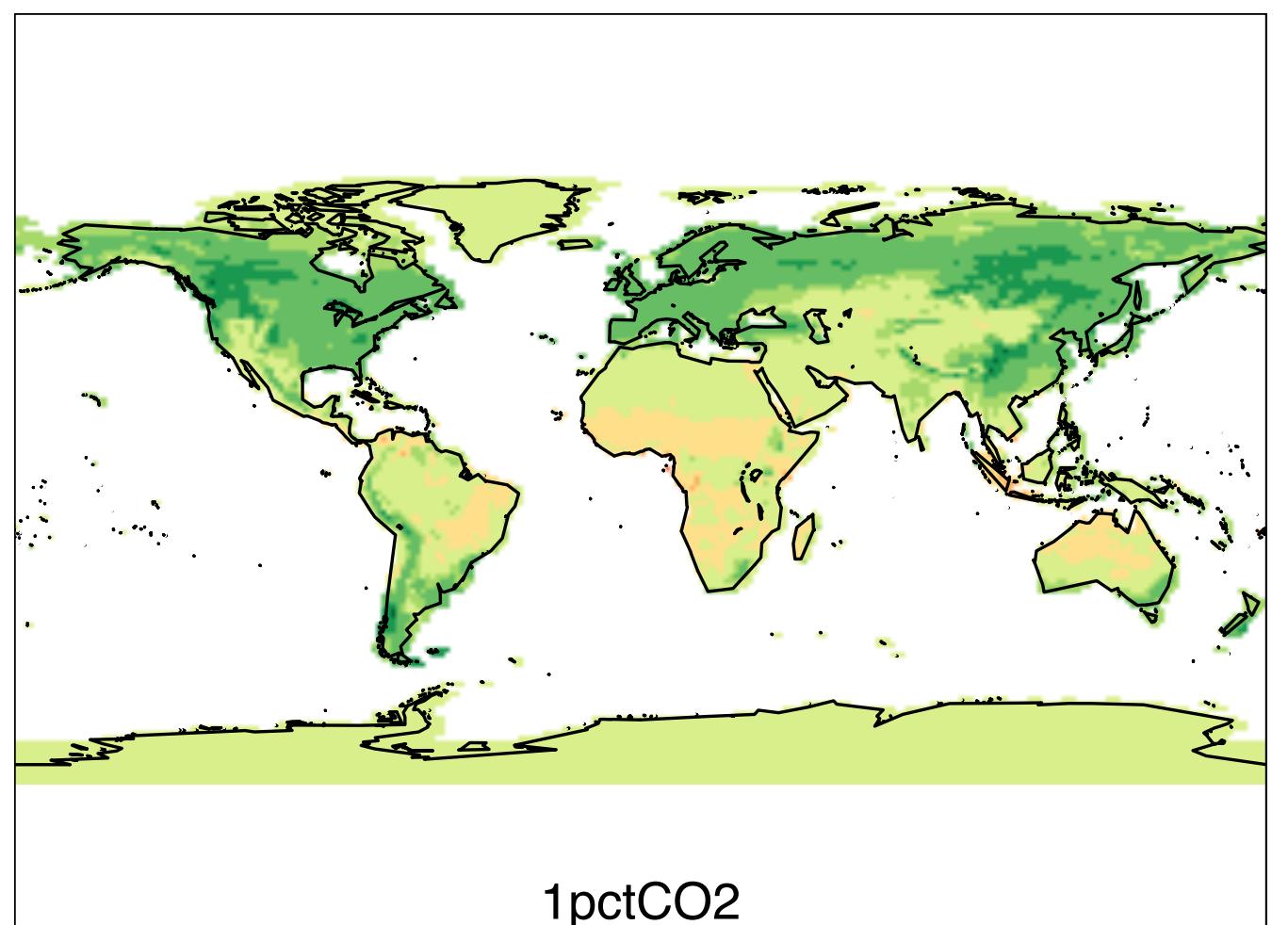
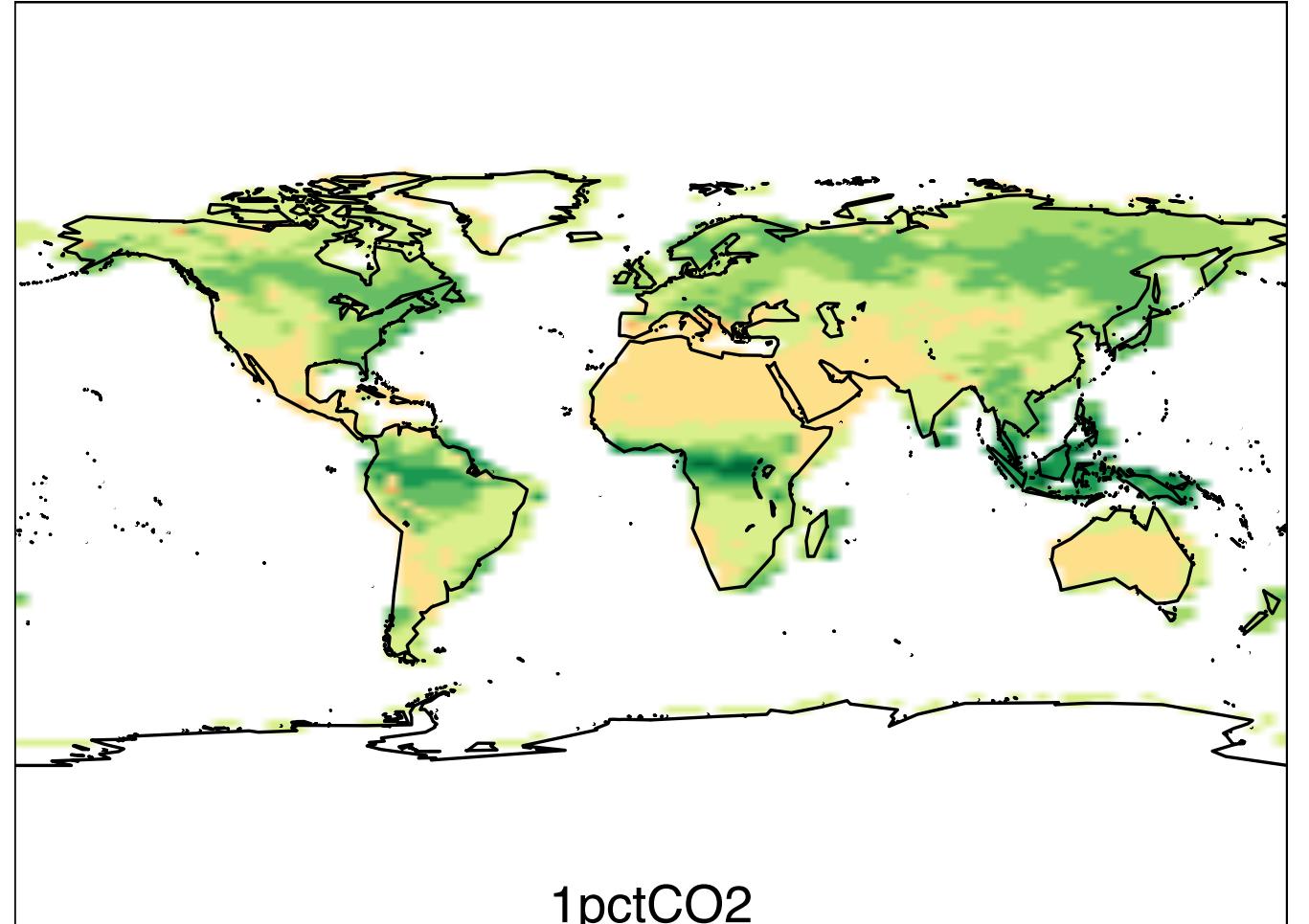
Friedlingstein et al 2014 : « *The uncertainty in CO<sub>2</sub> projections is mainly attributable to uncertainties in the response of the land carbon cycle.* »

- Quelles sont les régions les plus sensibles à la rétroaction carbone selon les deux ESMs?
- Quelles sont les différences entre ces modèles?

## Différence par région TRANSCOM de distribution spatiale des flux cumulés émis par les modèles

Régional carbon flux (nbp)  
kgC.m<sup>-2</sup>

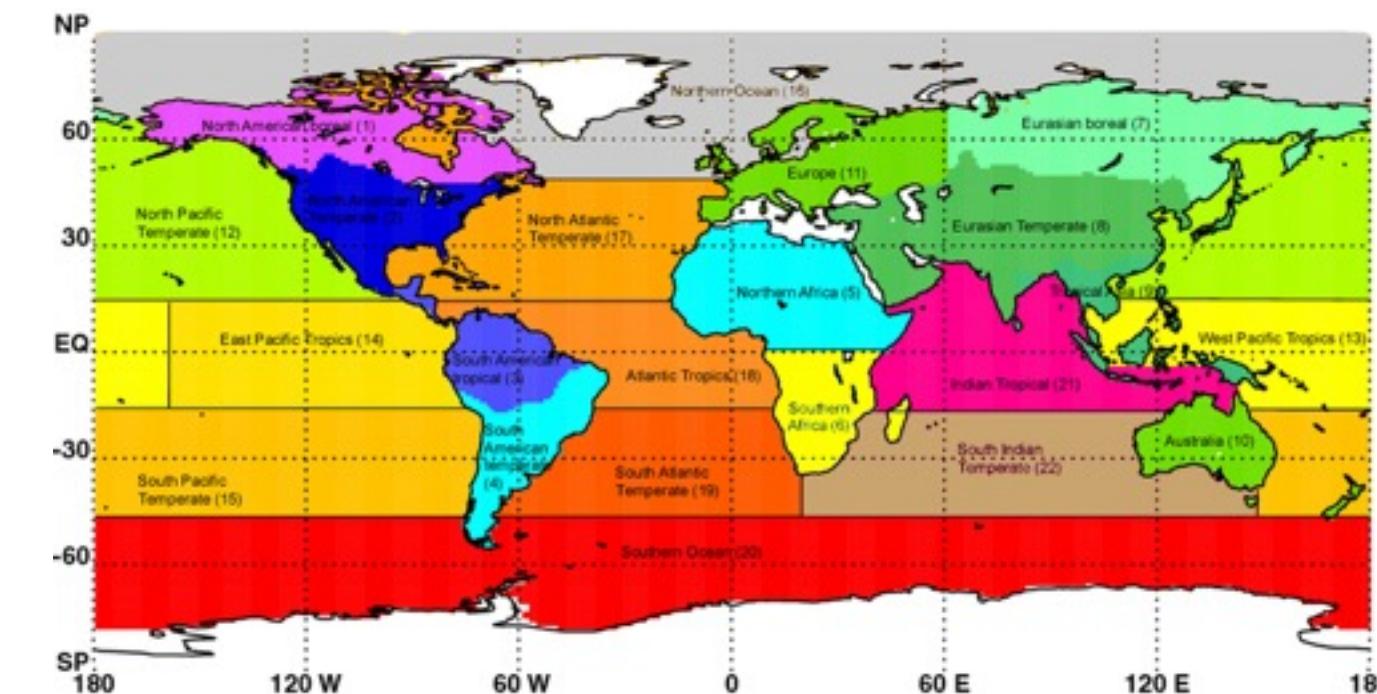
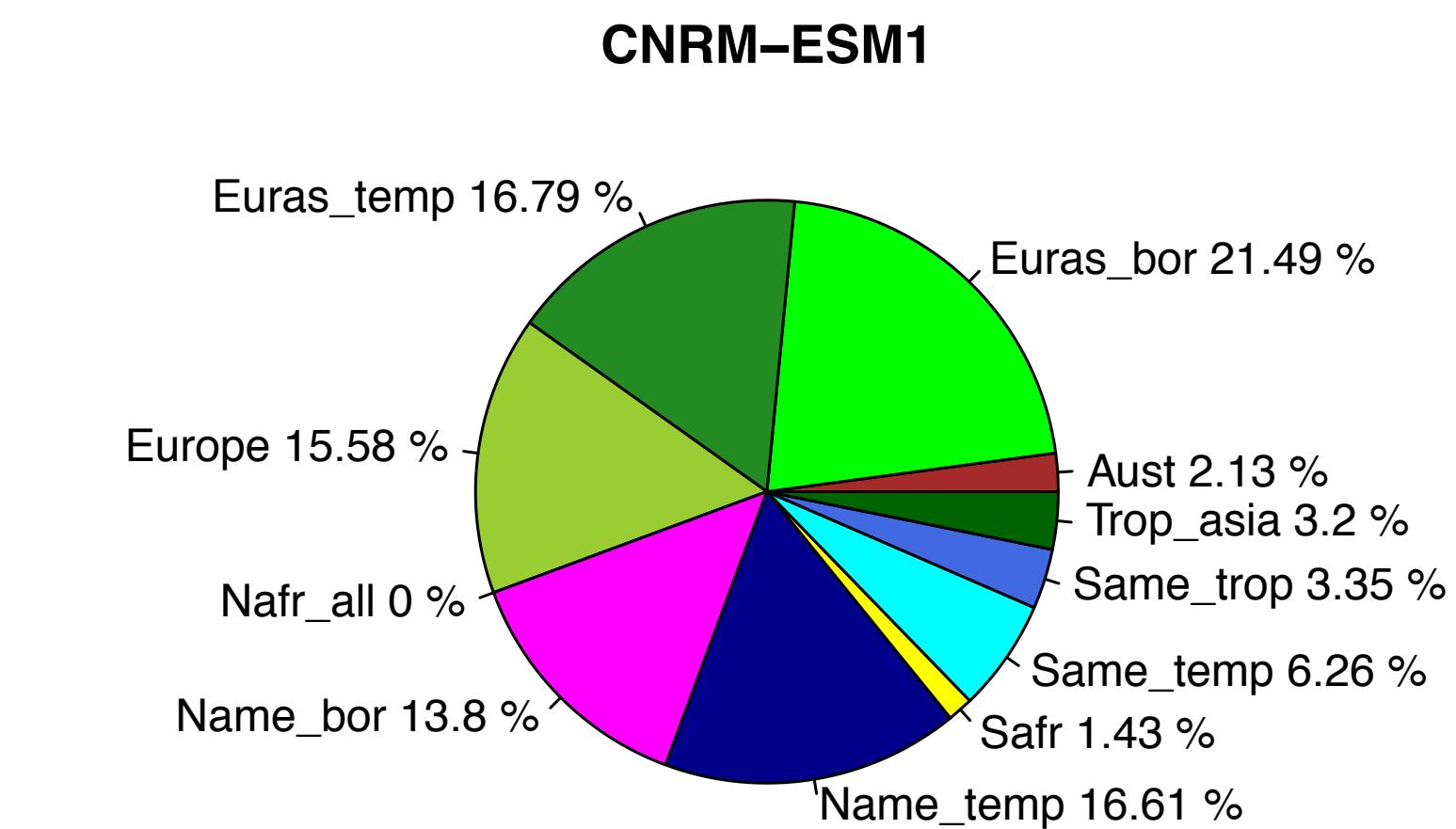
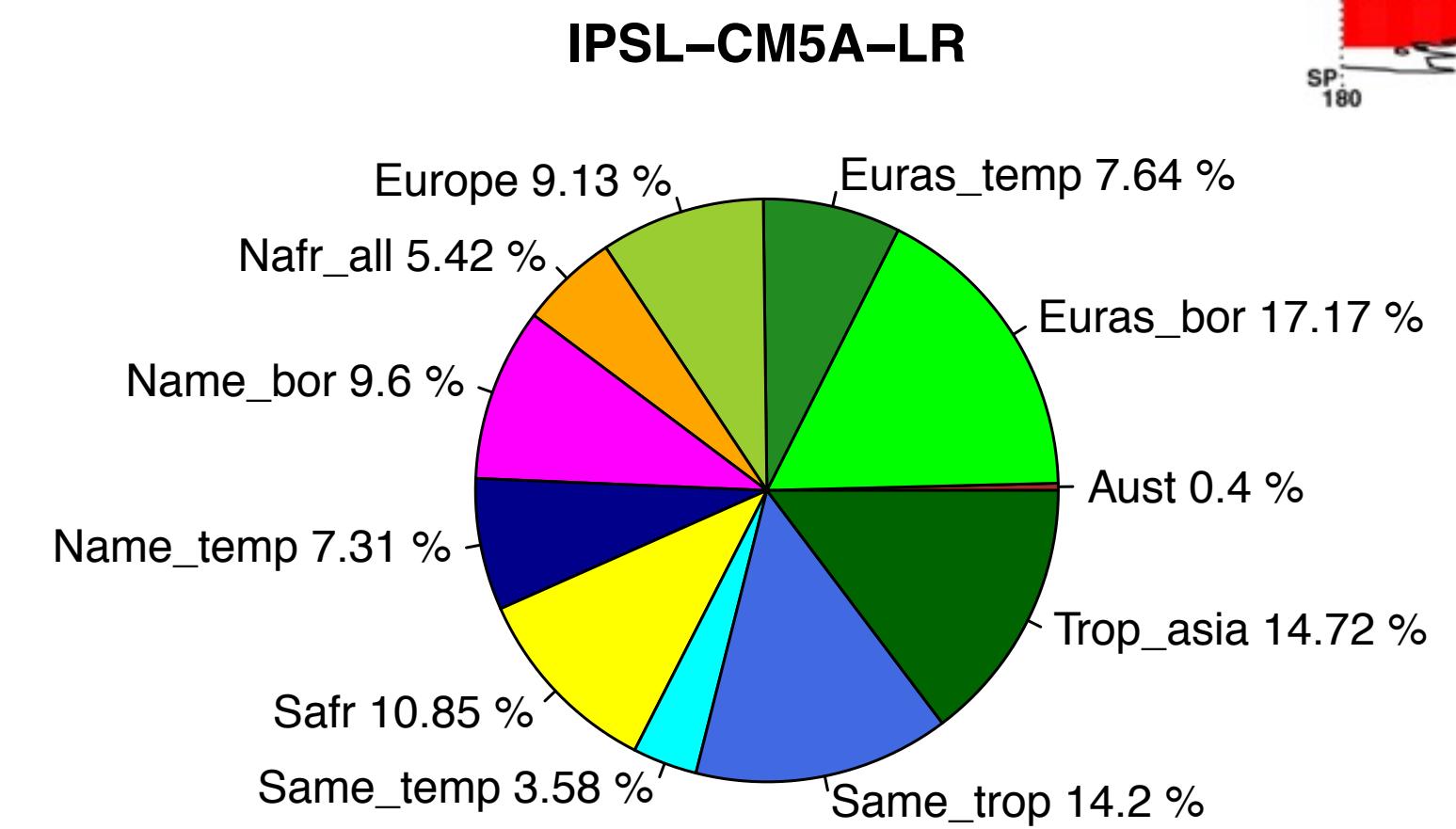
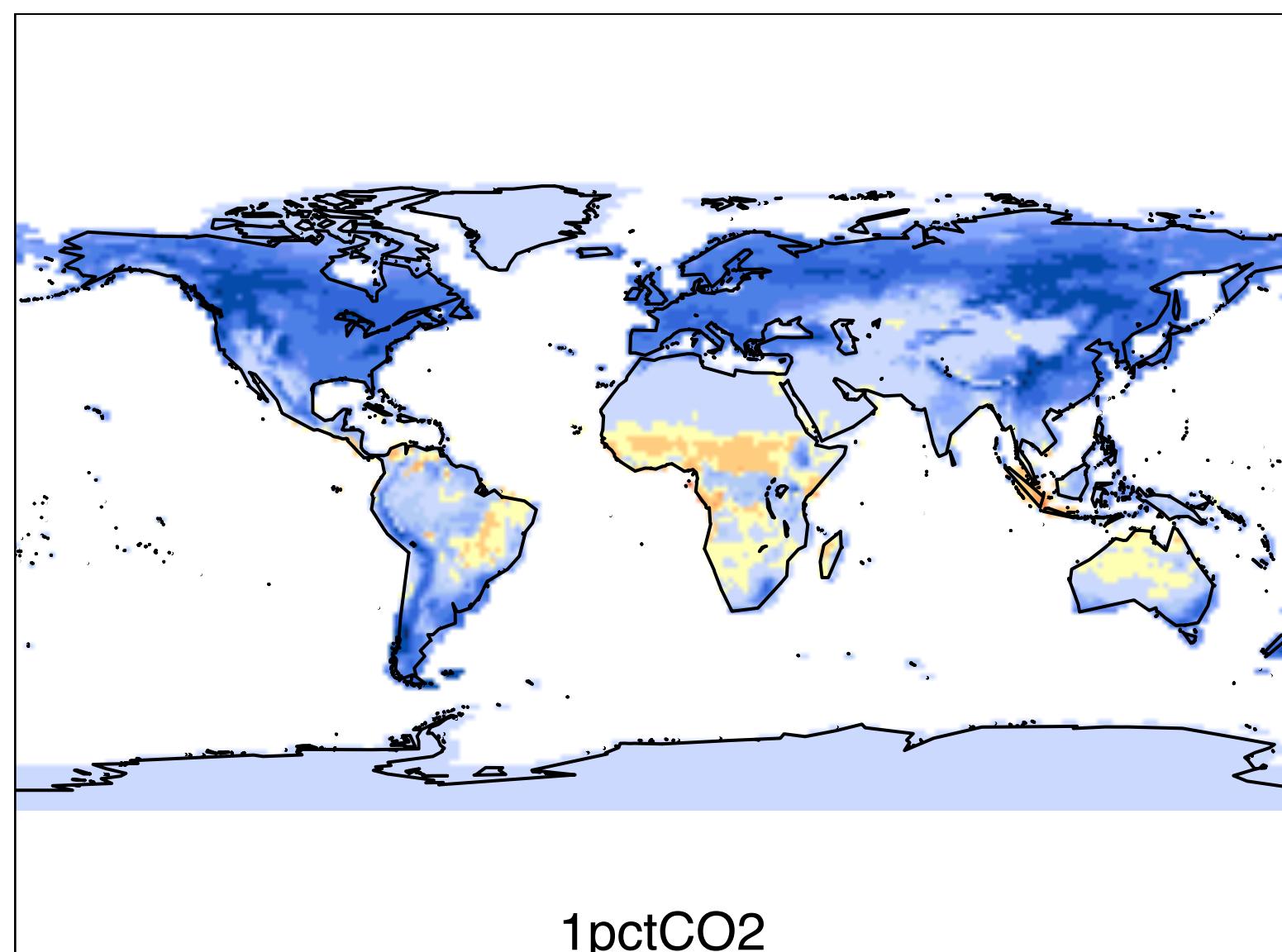
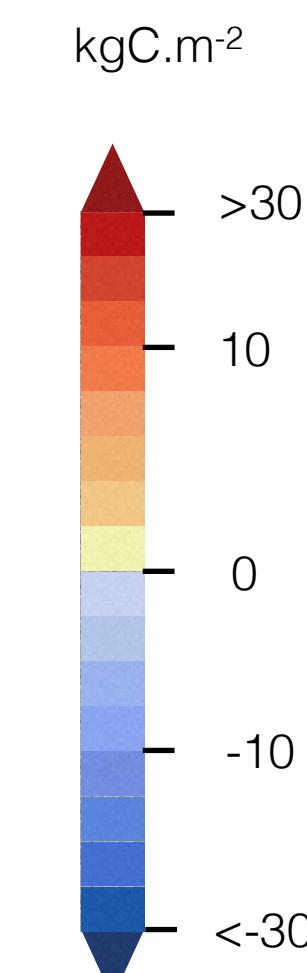
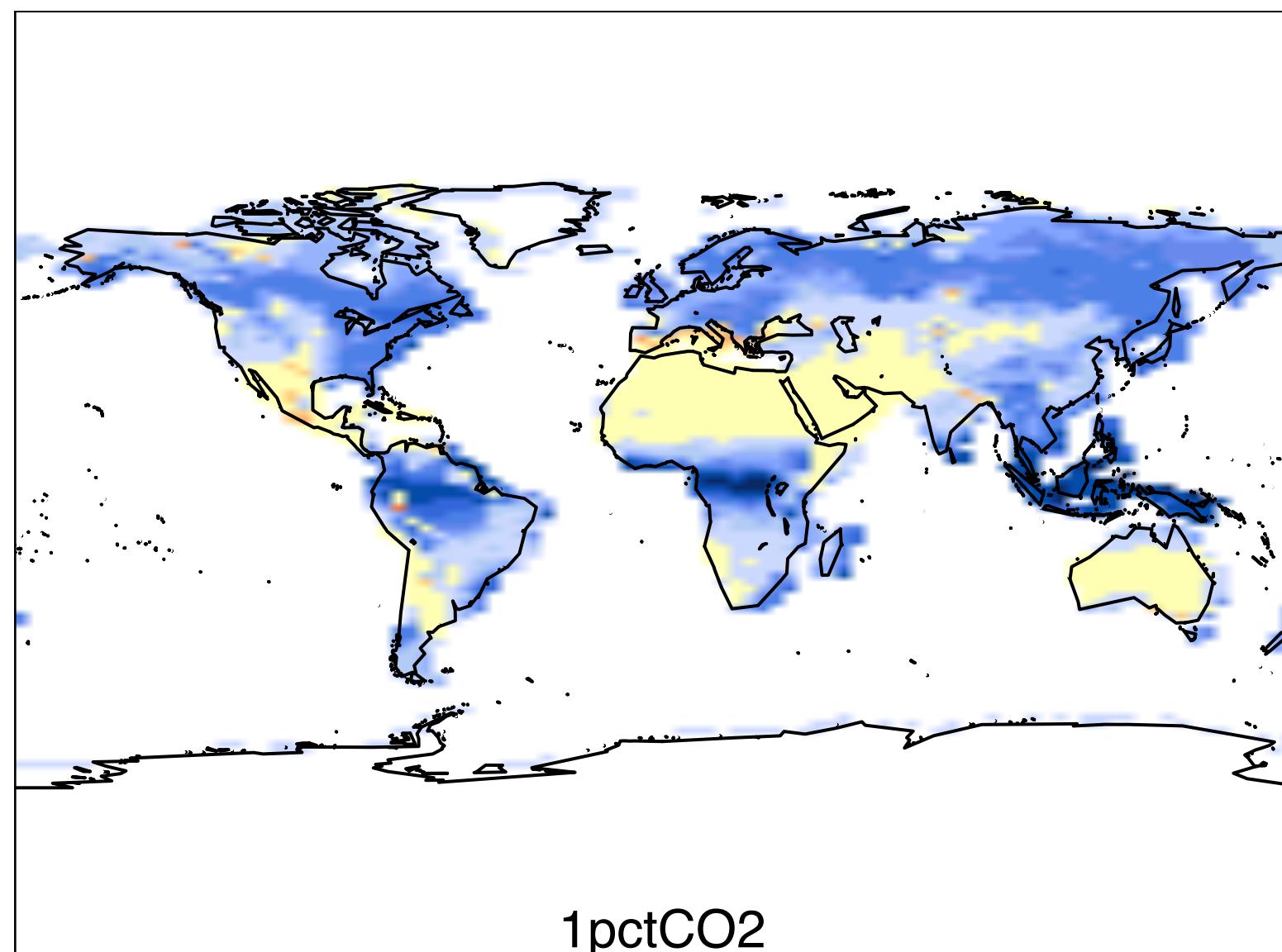
>30  
10  
0  
-10  
<-30



Europe - Eurasie tempérée et boréale : 34 %  
Amérique du sud tropicale, Afrique du Sud , Asie Tropicale : 40%

Europe - Eurasie tempérée et boréale : 54 %  
Amérique du sud tropicale, Afrique du Sud , Asie Tropicale : 8%

## Différence de distribution spatiale des flux cumulés émis par les modèles

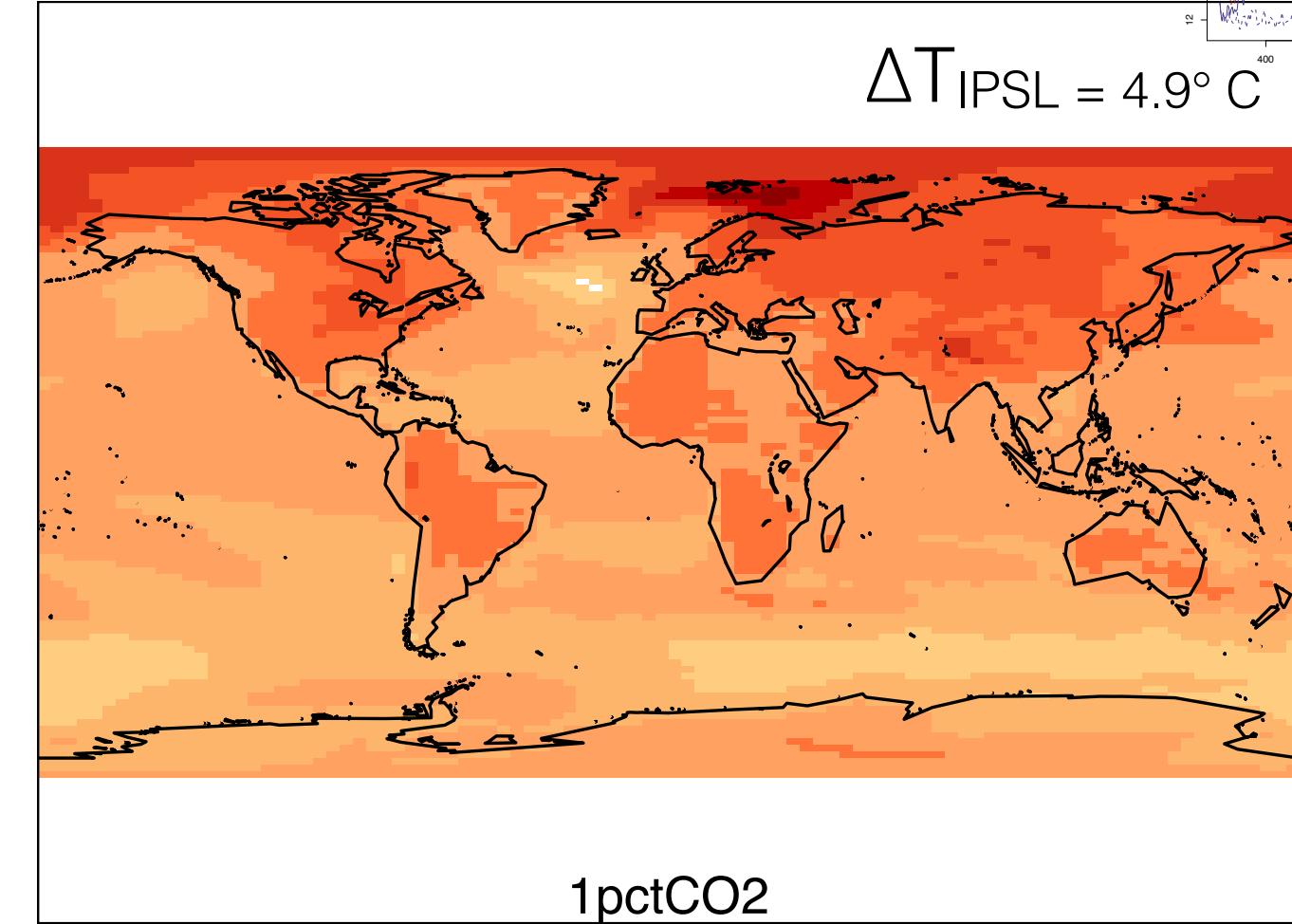
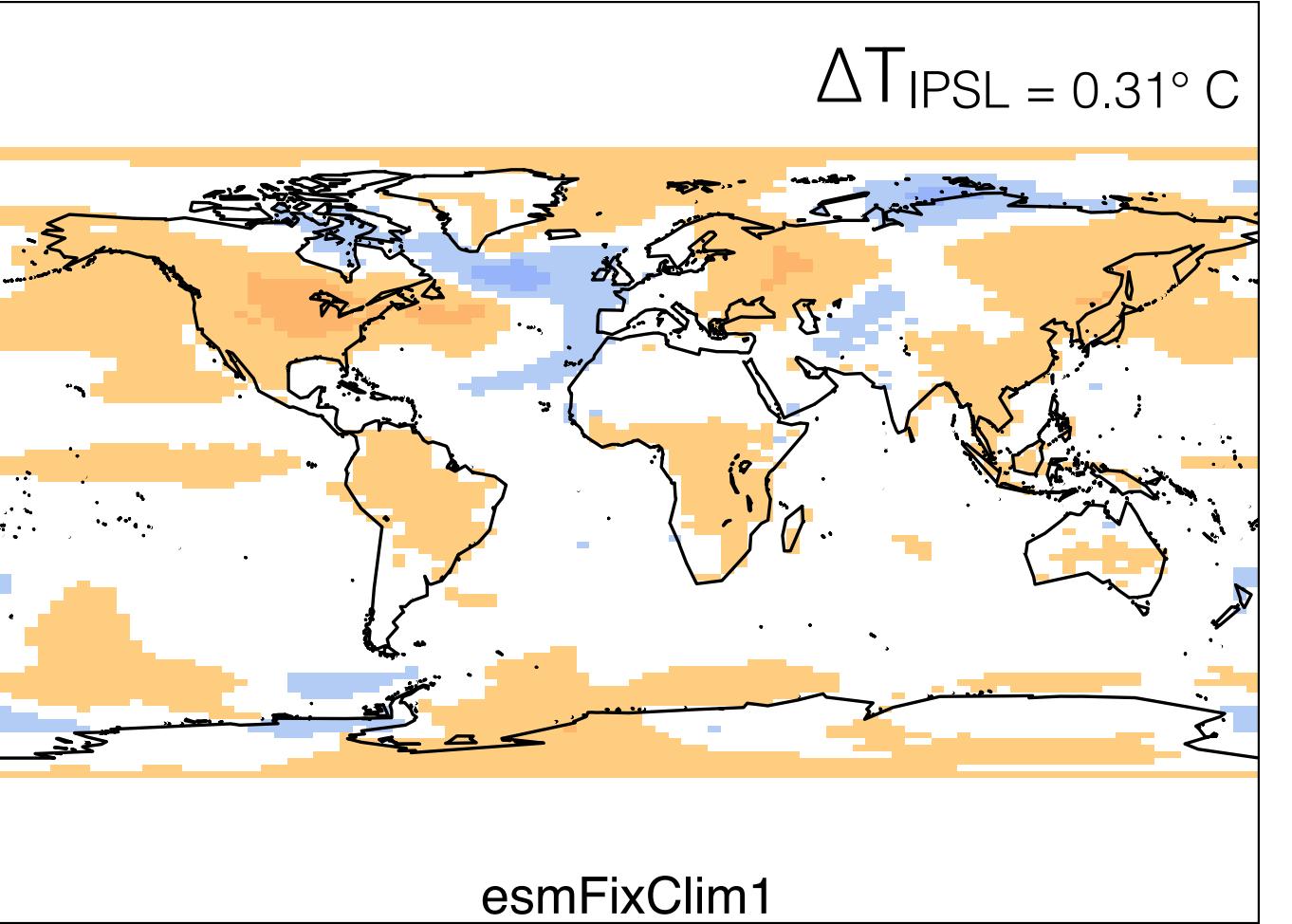
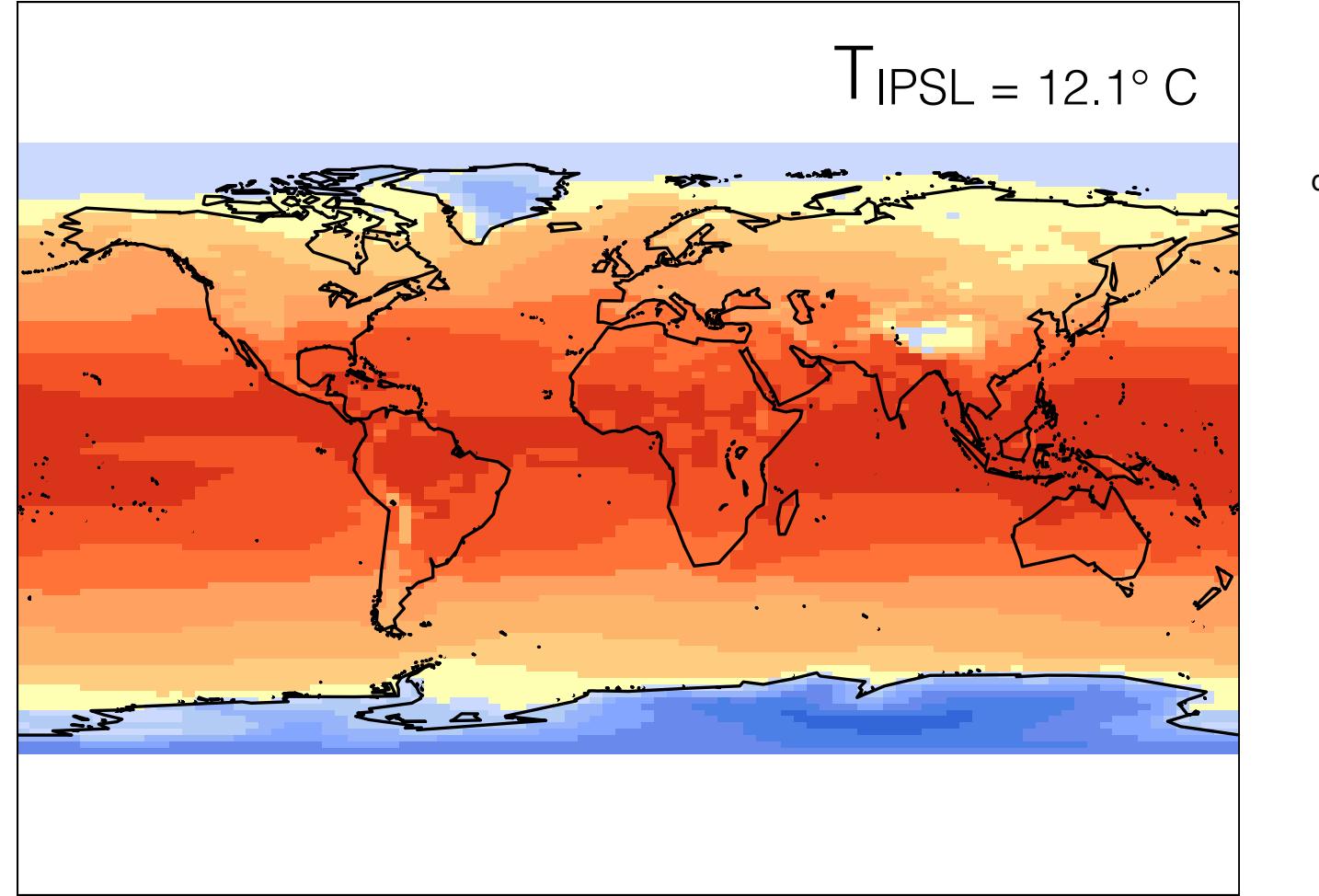


correlation NPP/precip température  
(attention! local cette fois ci par  
rapport au global du gamma)

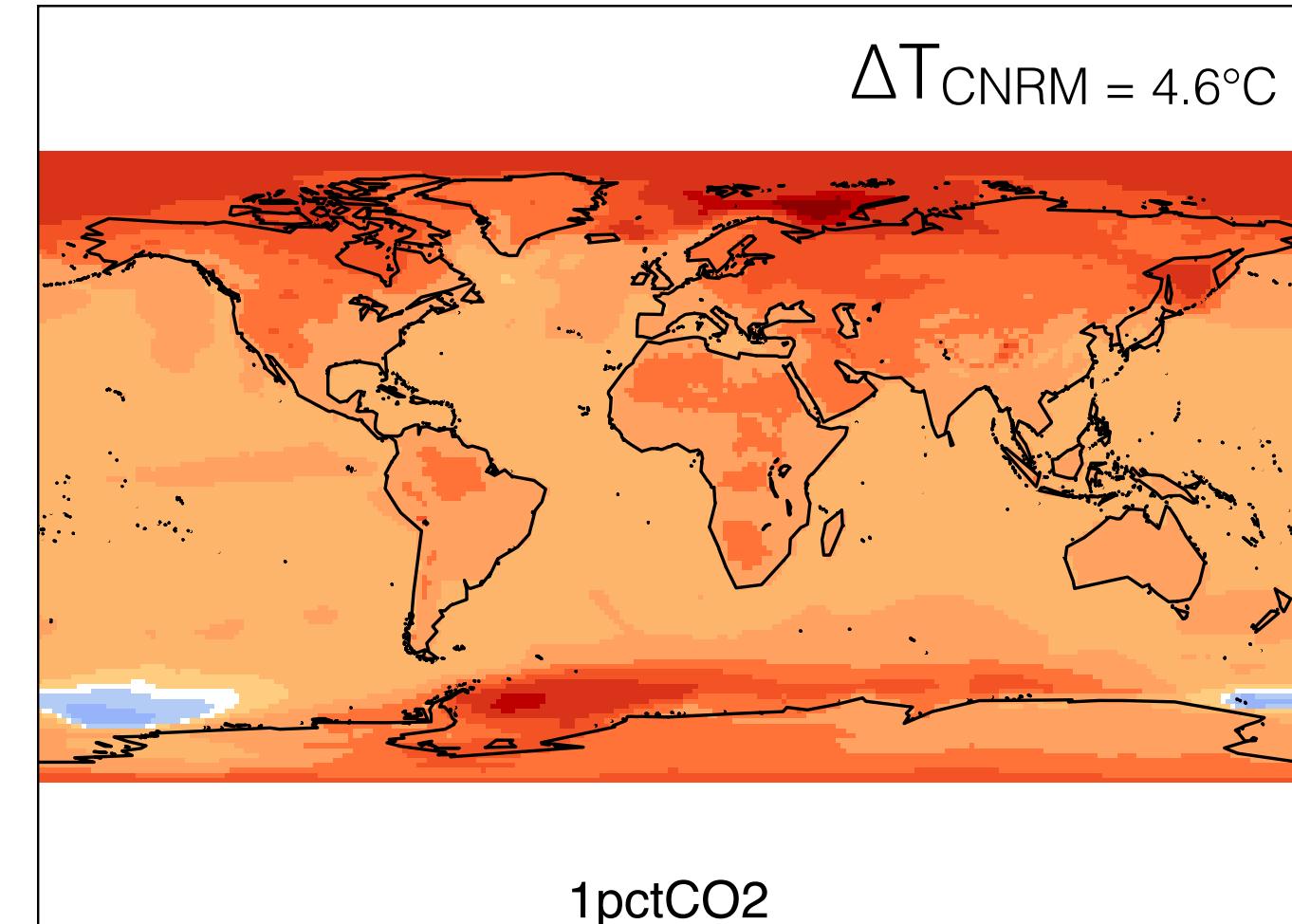
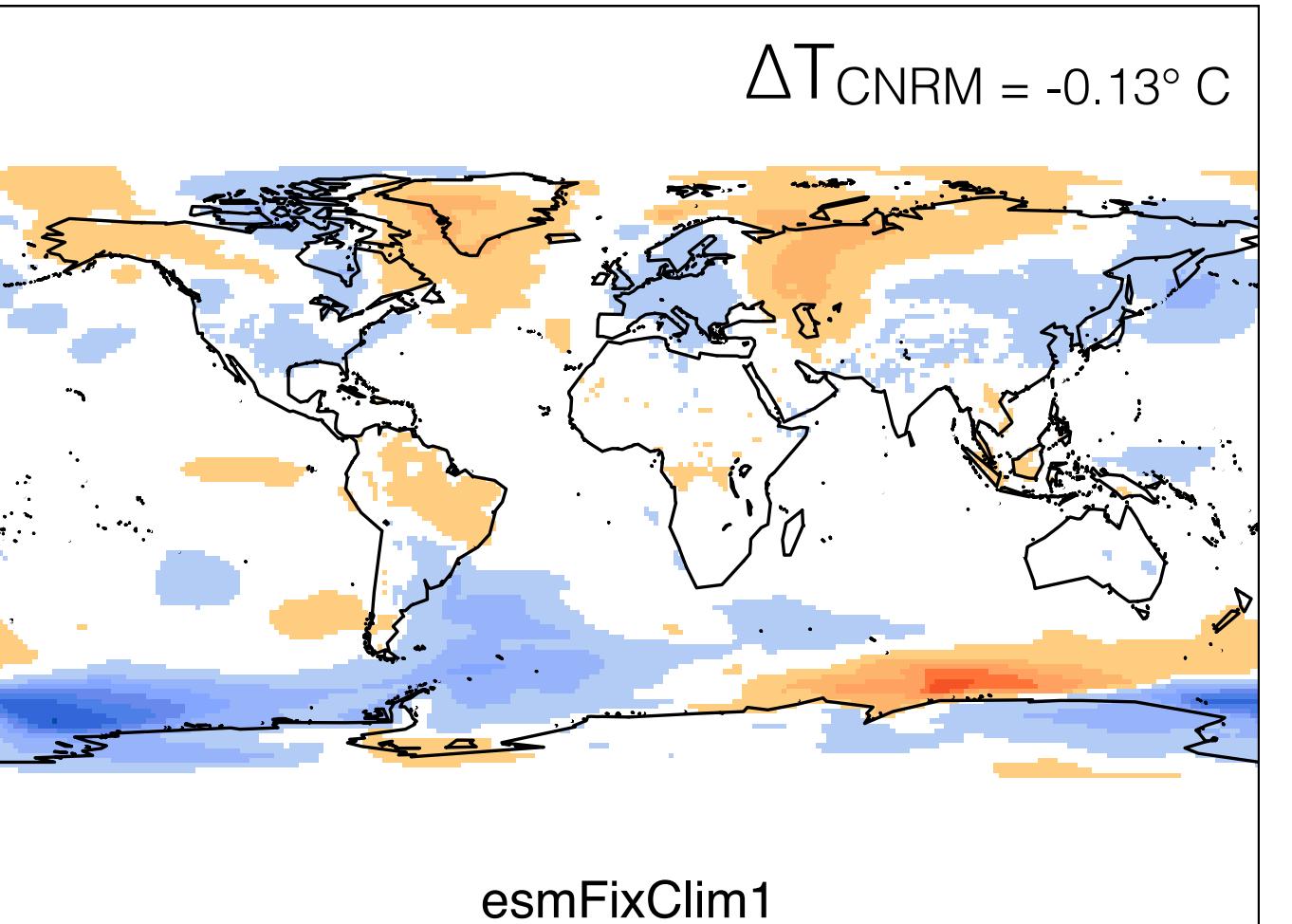
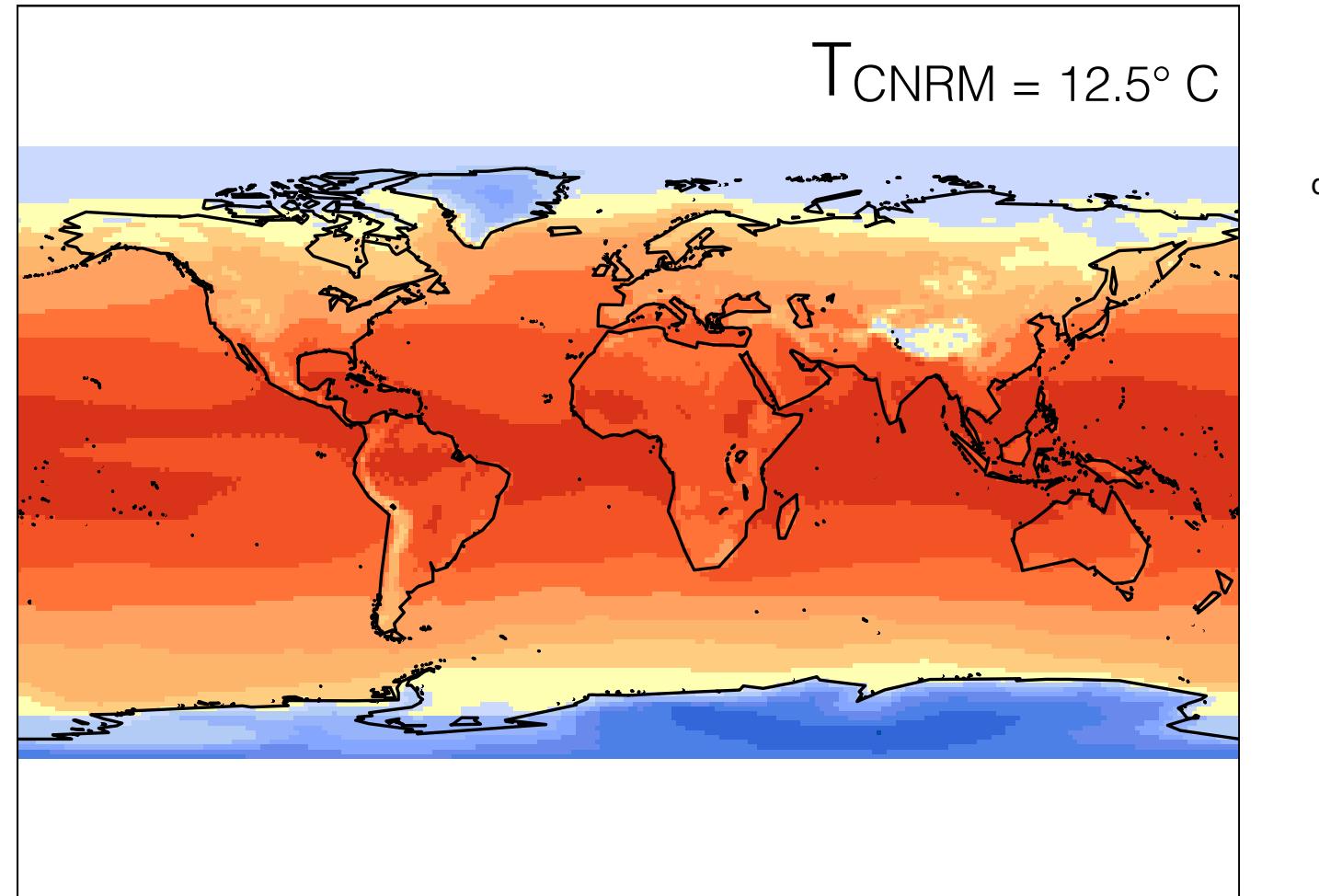
$\alpha$  : Quelles précipitations annuelles en réponse à une augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique ?

$\alpha$  : Caractérisation des températures de surface

IPSL-CM5A-LR



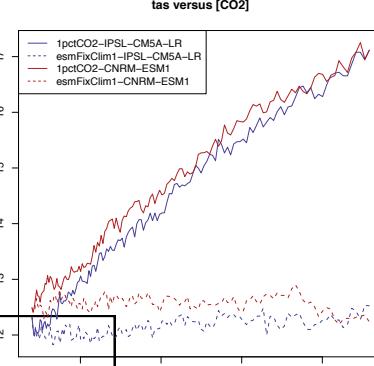
CNRM-ESM1



Températures de surface préindustrielles  
[CO<sub>2</sub>]=280 ppm

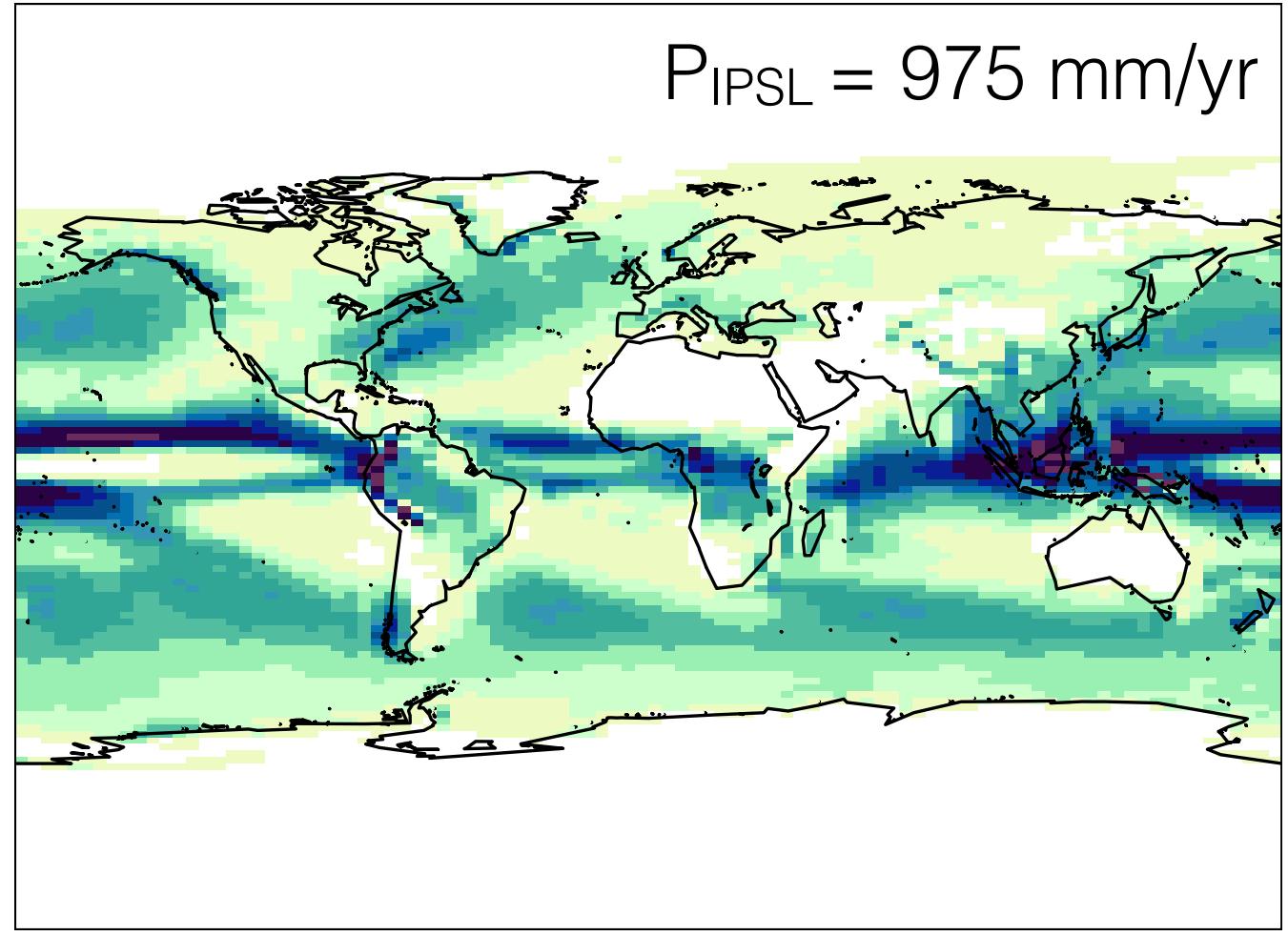
$\Delta T$  à 4x[CO<sub>2</sub>]  
Effet biogéochimique

$\Delta T$  à 4x[CO<sub>2</sub>]  
Effet biogéochimique et climatique



## Caractérisation des précipitations annuelles

IPSL-CM5A-LR

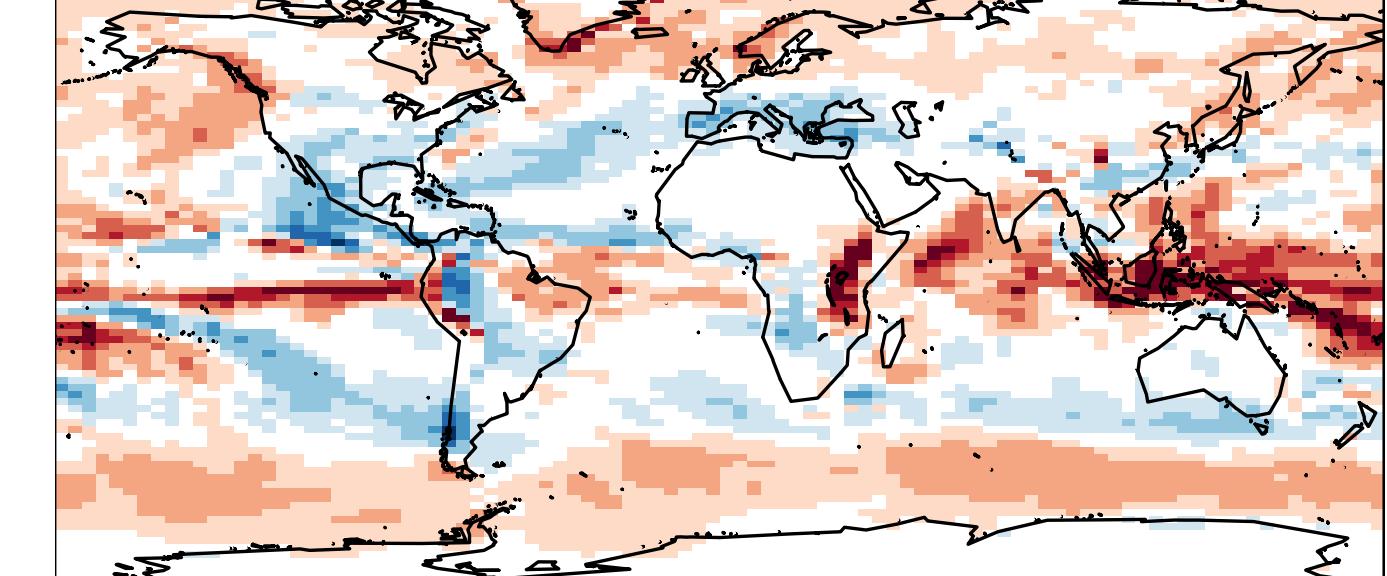


$$\Delta P_{\text{IPSL}} = -2.0\%$$

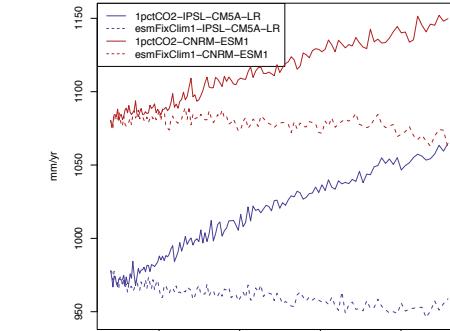
mm/yr  
0  
500  
1000  
1500  
2000  
3000

esmFixClim1

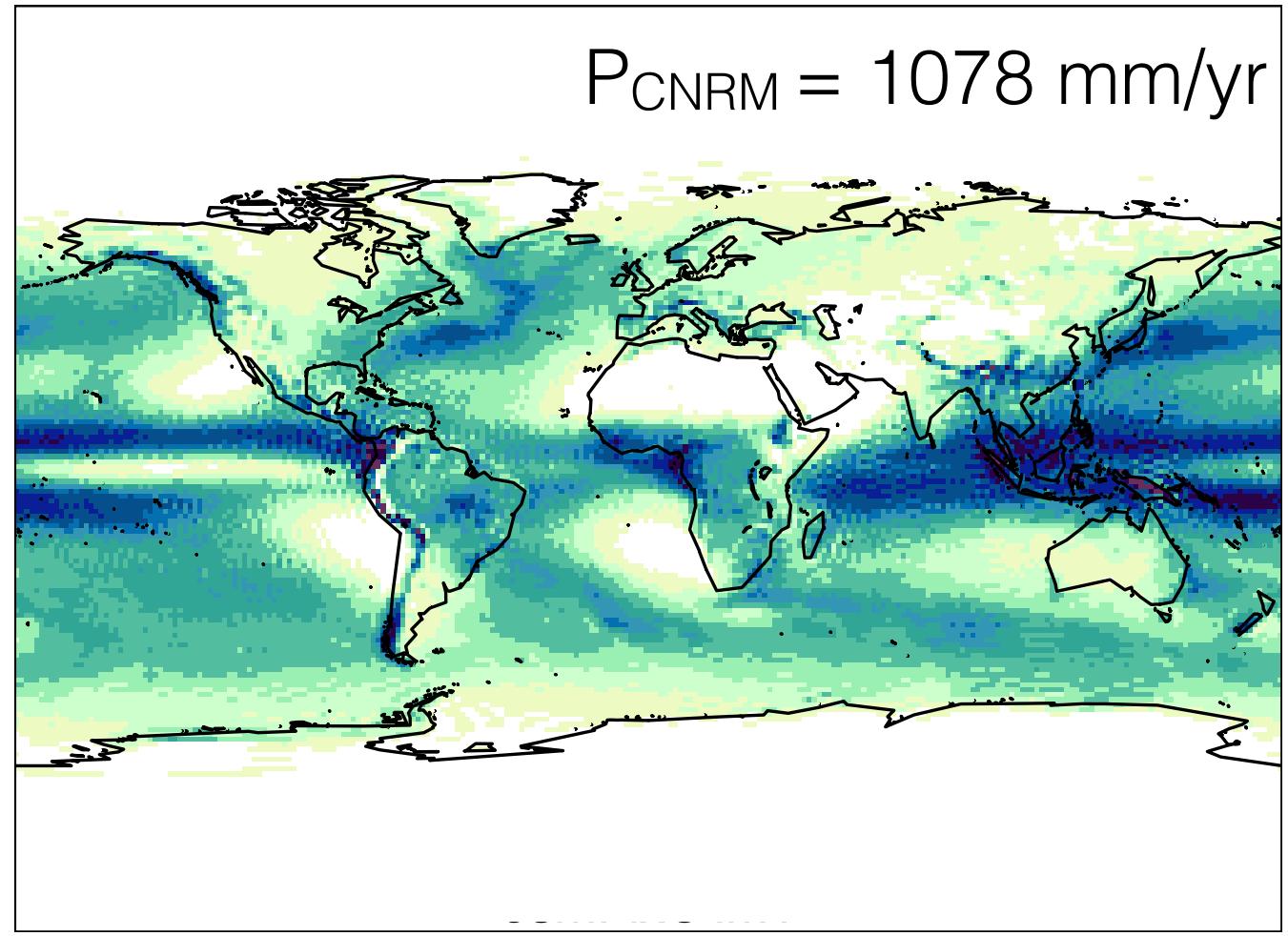
$$\Delta P_{\text{IPSL}} = 9.2 \%$$



1pctCO2



CNRM-ESM1

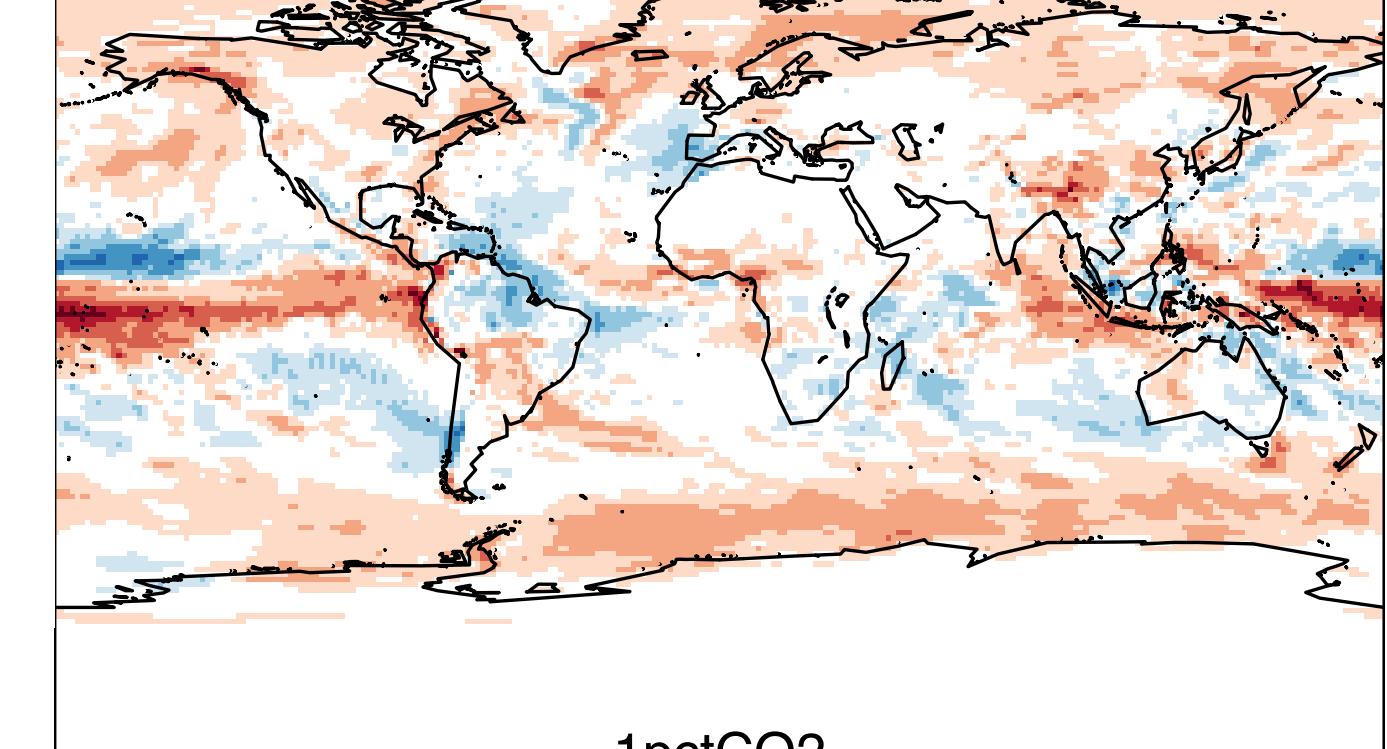


$$\Delta P_{\text{CNRM}} = -0.7\%$$

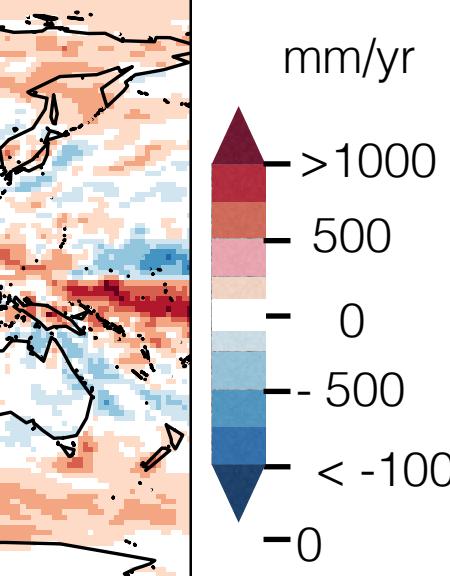
mm/yr  
0  
500  
1000  
1500  
2000  
3000

esmFixClim1

$$\Delta P_{\text{CNRM}} = 6.6 \%$$



1pctCO2



Précipitations de surface préindustrielles  
[CO<sub>2</sub>]=280 ppm

$\Delta P$   
Effet biogéochimique

$\Delta P$   
Effet biogéochimique et climatique