

# Occupation des sols par l'agriculture et conséquences climatiques

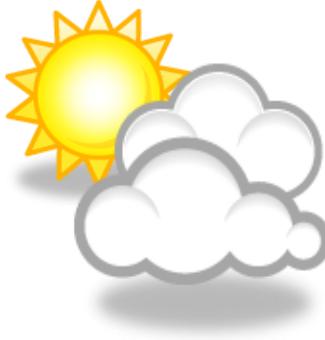
présentation préparée par **Nicolas Viovy**

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

*unité mixte de recherche CEA CNRS Université de Versailles St-Quentin*

Quelques rappels de physique...

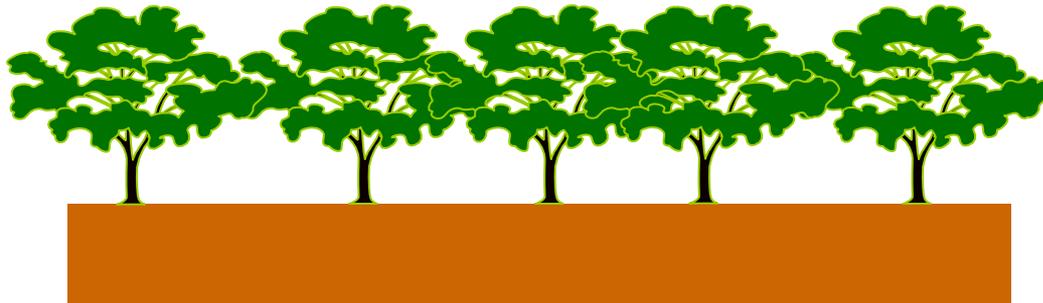
# Végétation et climat



Climat:

- Rayonnement
- Températures
- Précipitations
- Vents

Structure, fonctionnement  
et répartition de la  
végétation



# Végétation et climat



## Climat:

- Rayonnement
- Températures
- Précipitations
- Vents



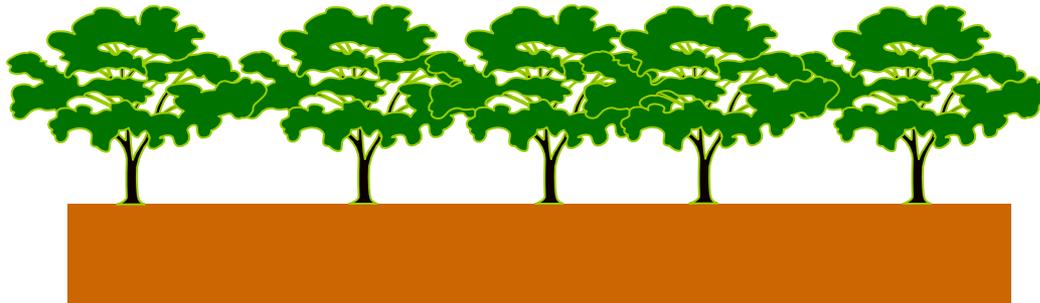
## Composés chimiques:

$\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ , Aérosols...



## Flux biogéochimiques:

$\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , poussières, COV



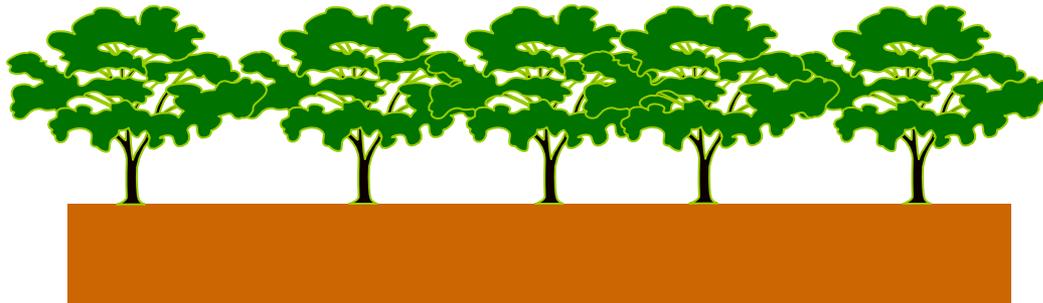
# Végétation et climat



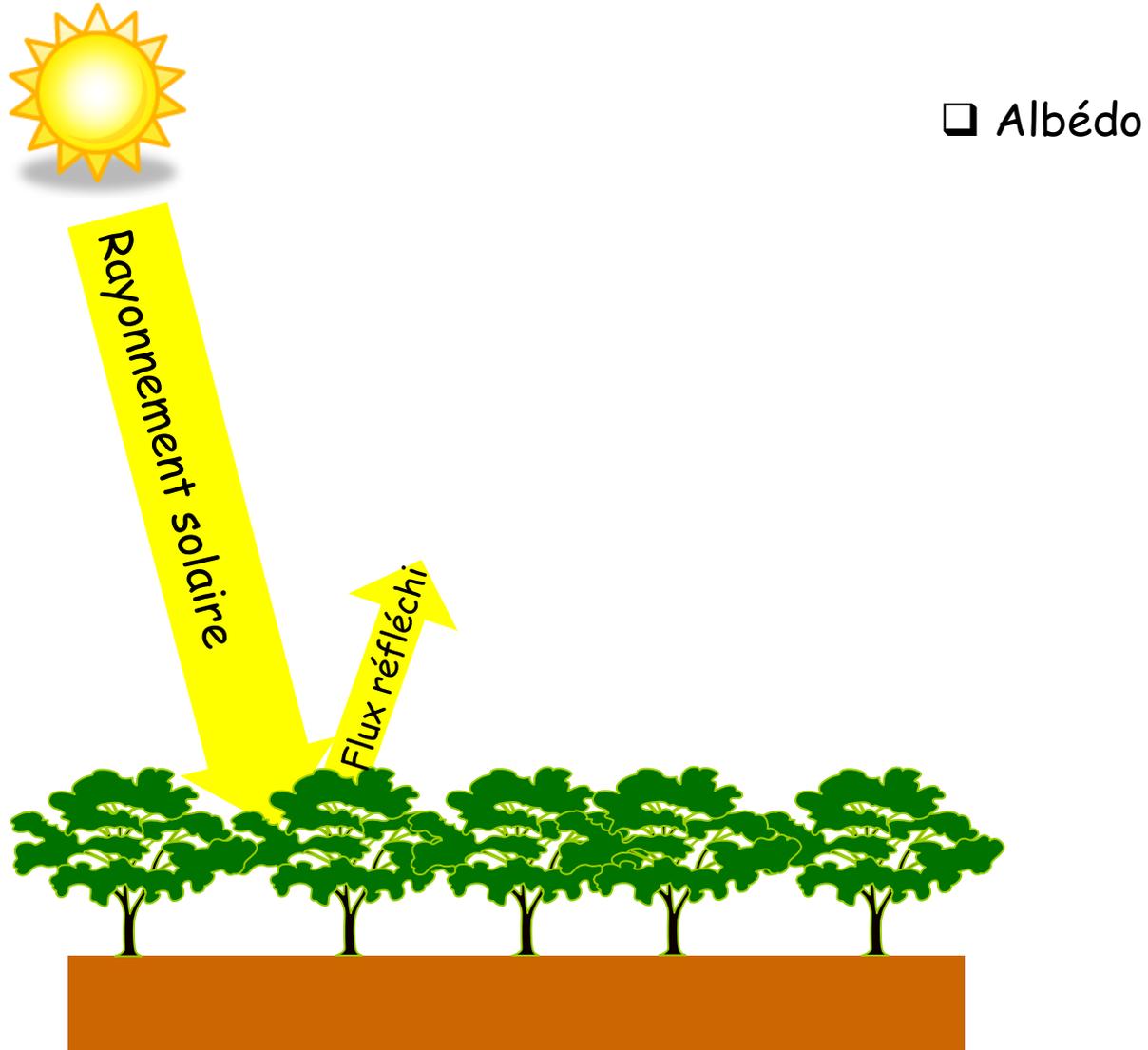
Climat:

- Rayonnement
- Températures
- Précipitations
- Vents

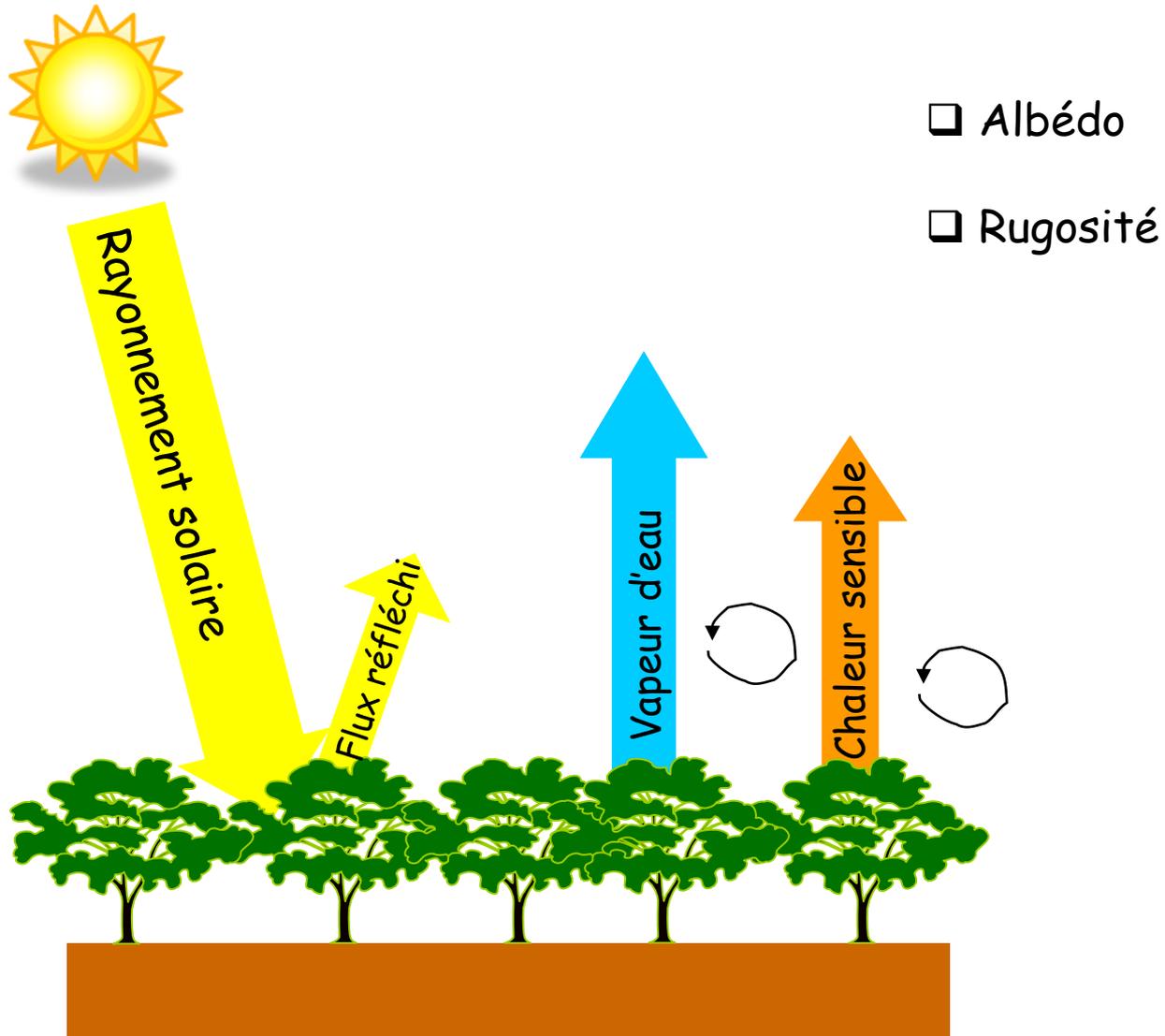
Flux biophysiques:  
Énergie et eau



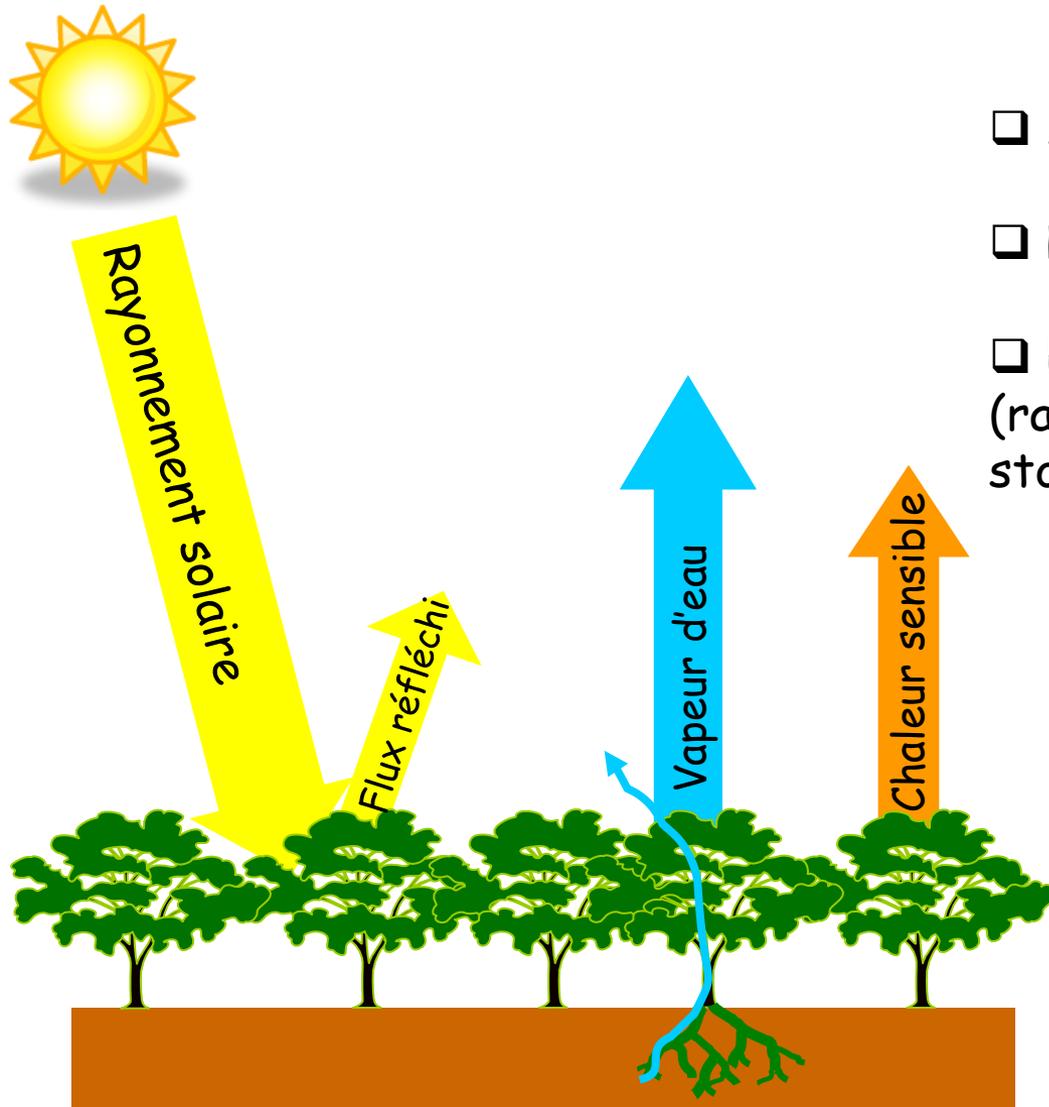
# Influence biophysique de la végétation



# Influence biophysique de la végétation



# Influence biophysique de la végétation



- Albédo
- Rugosité
- Efficacité évaporative (racines, surface foliaire, stomates)

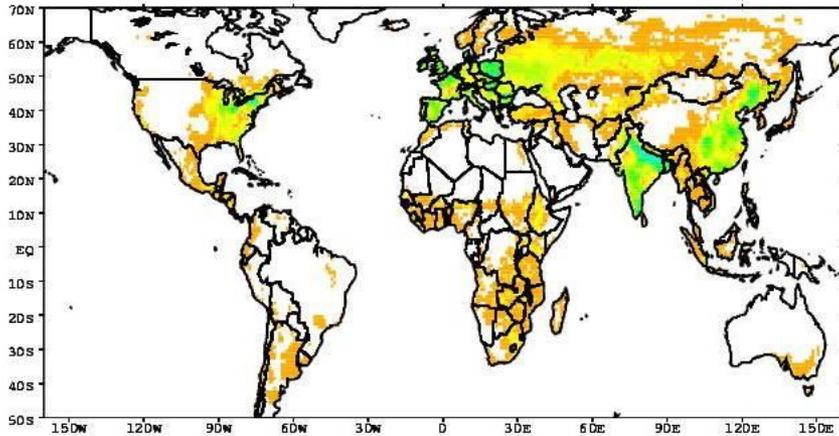
# La surface va influencer sur le climat:

- De façon directe: bilan d'énergie qui dépend:
  - De l'albédo
  - De la façon dont l'énergie va être dissipée (flux de chaleur sensible et latent, rayonnement Infrarouge)
- De façon indirecte:
  - Par la modification du bilan des GES (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>)
  - Par l'impact sur la chimie de l'atmosphère

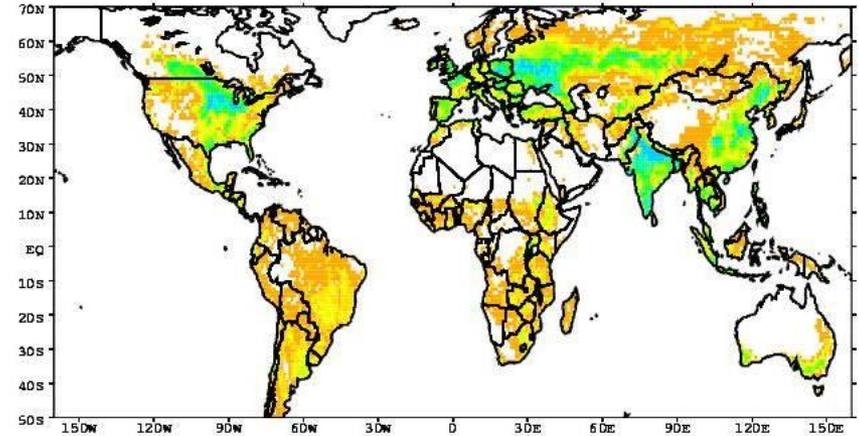
40% des surfaces continentales occupées par activités anthropiques.

À l'horizon 2100, défrichage encore plus massif (> 60%)

pré-industriel

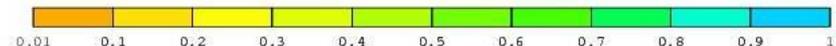
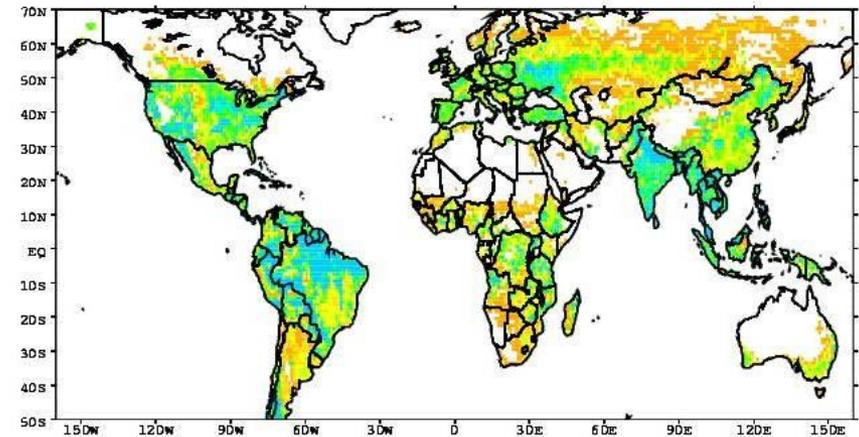


actuellement



*Fraction de chaque pixel de  
0.5° \* 0.5° occupée par l'agriculture*

en 2100



Mise en évidence de l'impact direct  
de l'agriculture sur le climat

# Un exemple concret de l'impact de l'agriculture sur le climat régional

Effet d'un déplacement vers le Sud des citronniers en Floride

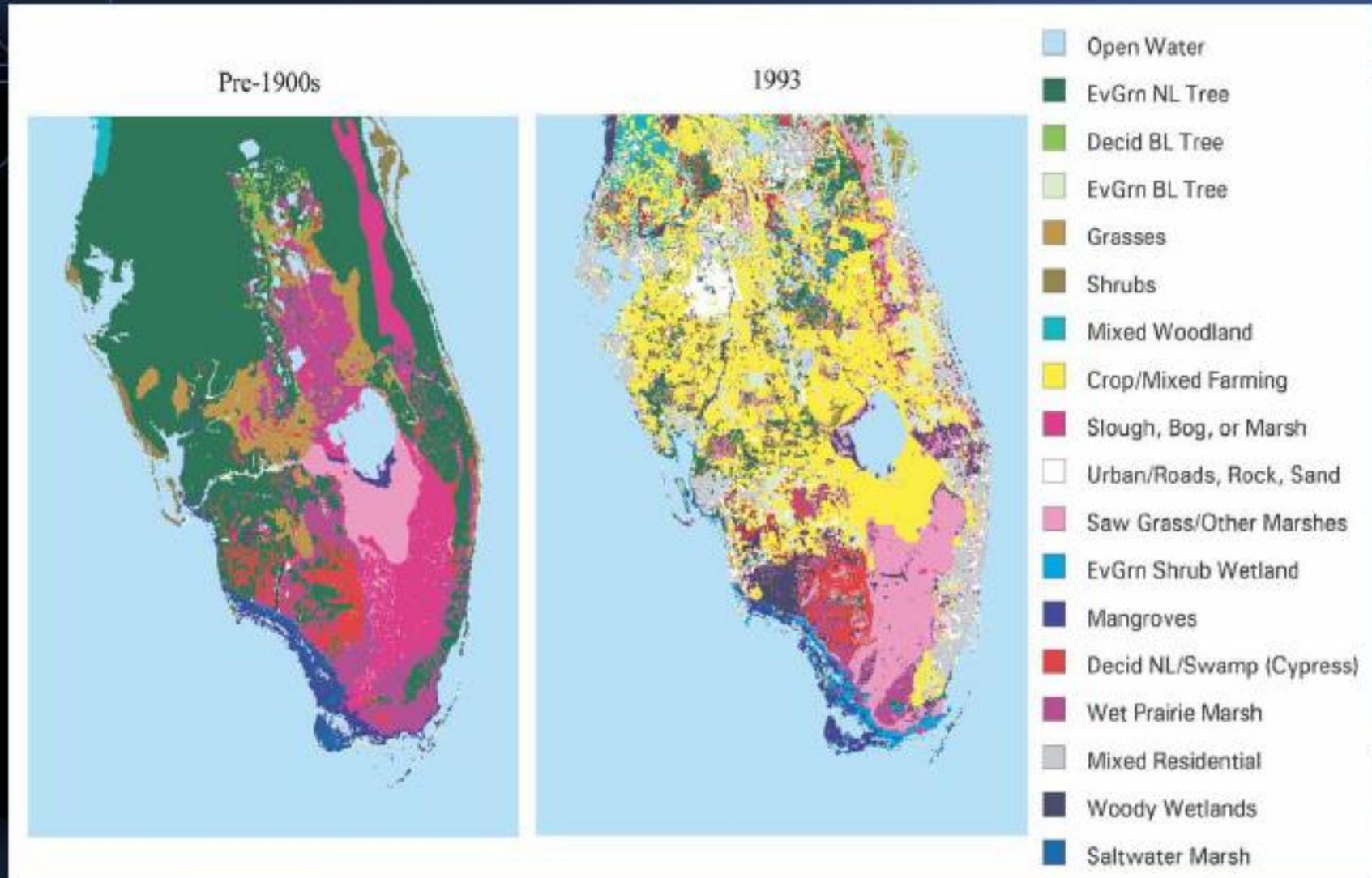
*Marshall et al. (Nature 2003), Marshall et al. (Monthly Weather Review 2004)*

en 1993, la décision est prise de  
déplacer vers le Sud de la Floride  
certaines cultures: céréales d'hiver,  
citronniers, canne à sucre

afin

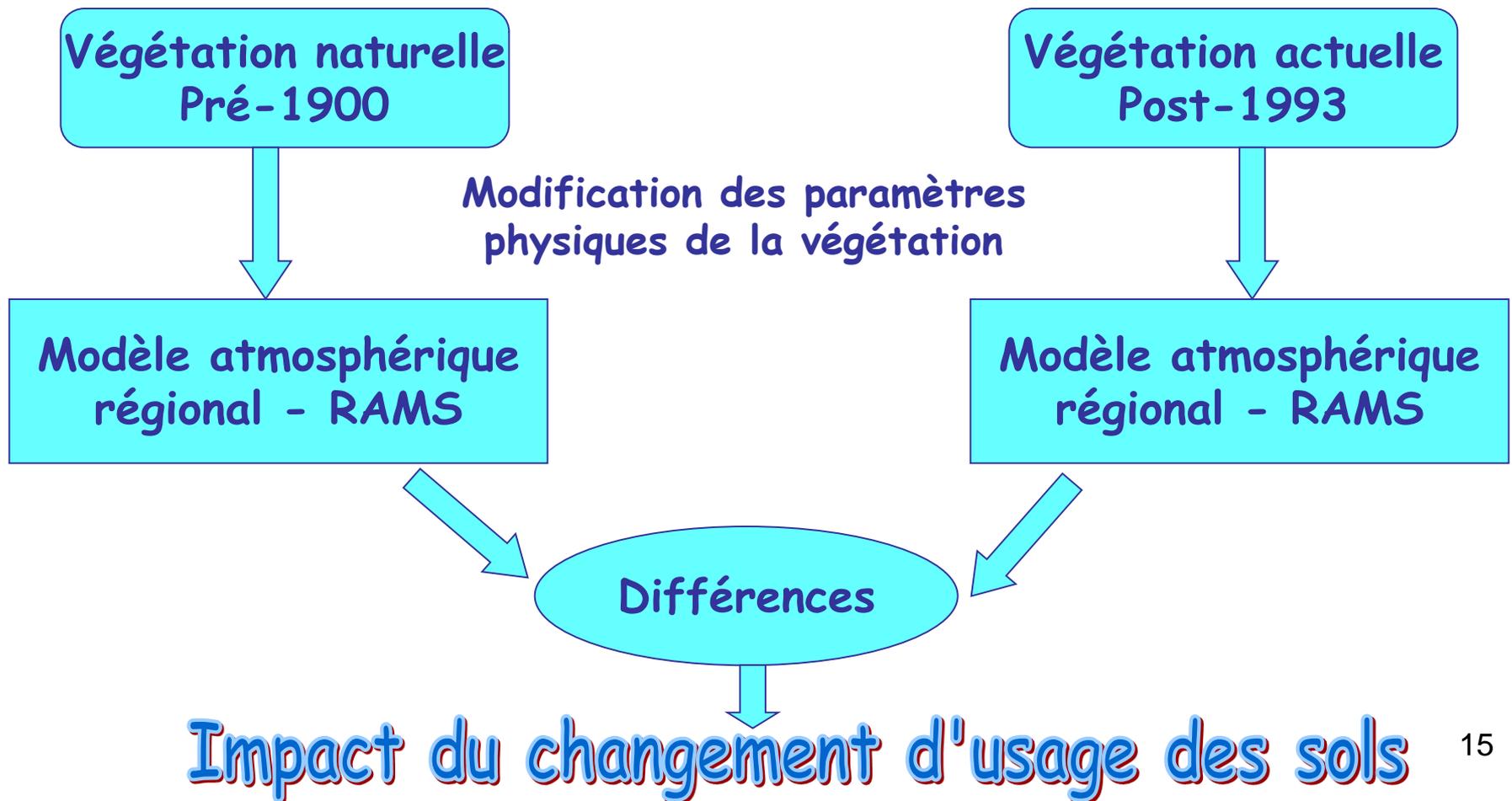
d'éviter les gelées dévastatrices  
qui semblent moins fréquentes  
dans ces nouvelles régions

# en 1993, des cultures remplacent les marécages naturels

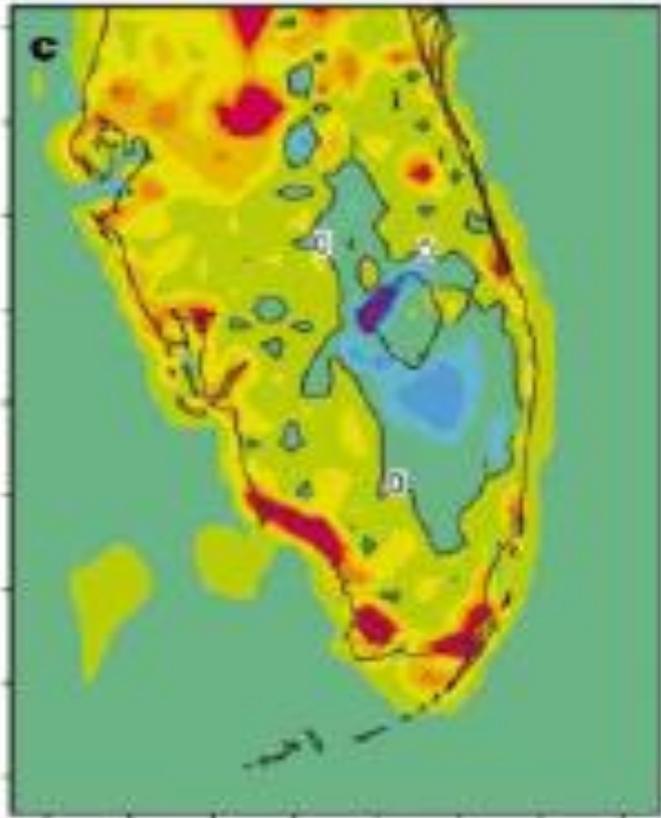


# en 1997, des jours de gel intenses détruisent les récoltes

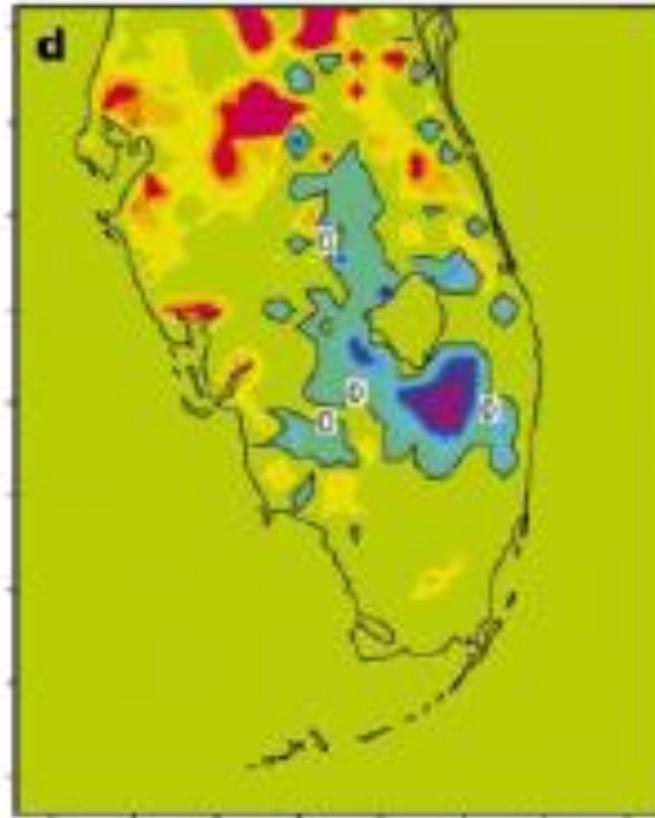
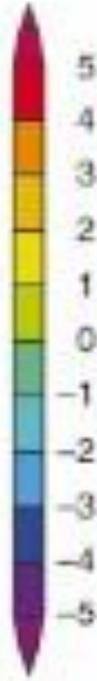
Ces jours de gel auraient-ils été aussi intenses si les marécages avaient été maintenus?



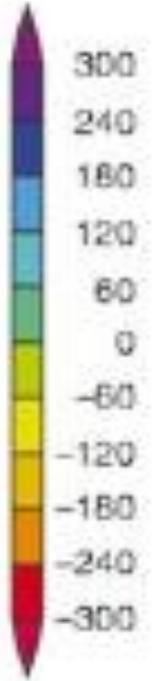
# Effets du changement d'usage des sols sur la température et la durée des jours de gel



°C



minutes



Températures plus froides après avoir drainé les marécages

Durée plus longue des gelées

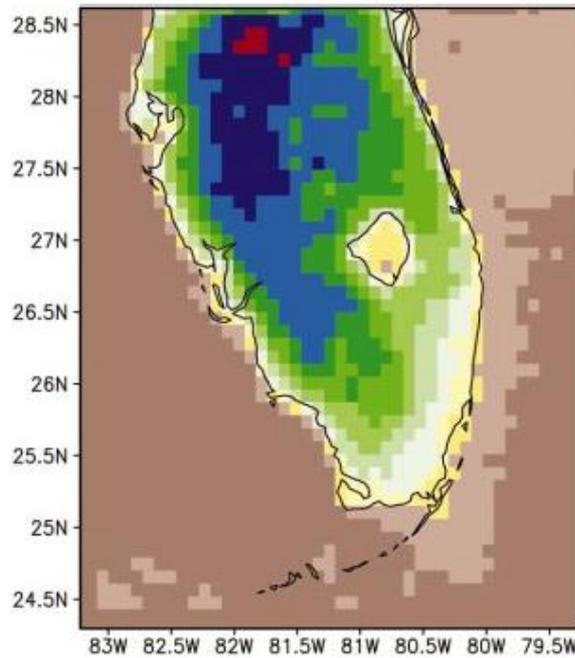
# Pourquoi le drainage des zones marécageuses entraîne-t-il un refroidissement des surfaces et un allongement des périodes de gel?

- en présence de marécage, il existe toujours un flux minimum d'évaporation;
- cette évaporation permet une humidification de la couche limite atmosphérique;
- La présence de vapeur d'eau dans la couche limite empêche les températures de descendre à des valeurs trop basses.

# Les effets de ce drainage de marécages se voient également en été

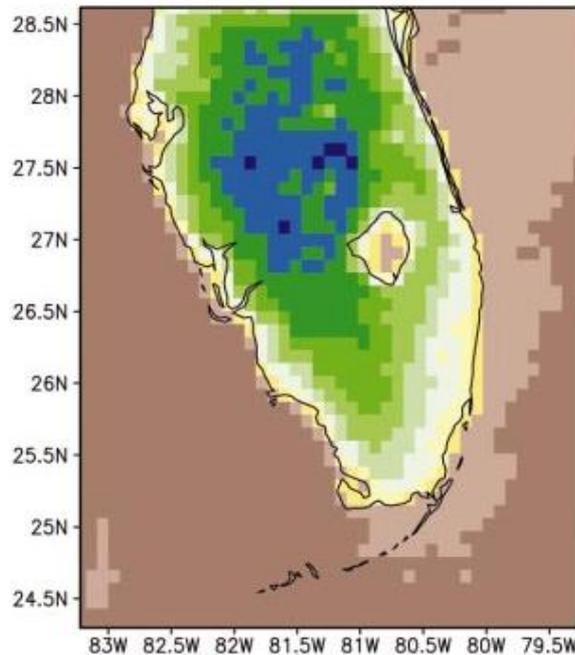
dans les

## Précipitations convectives en Juillet-Août (mm)

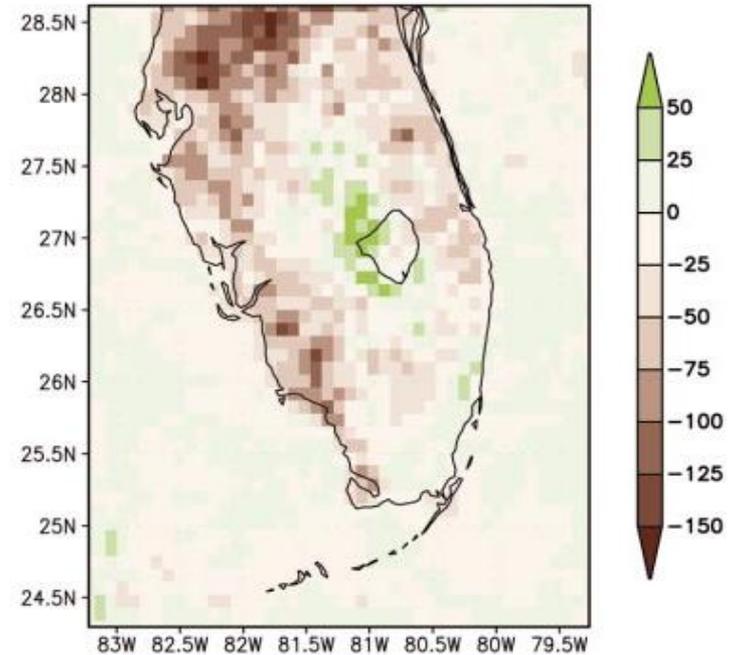


avant 1993

cultivé - marécages



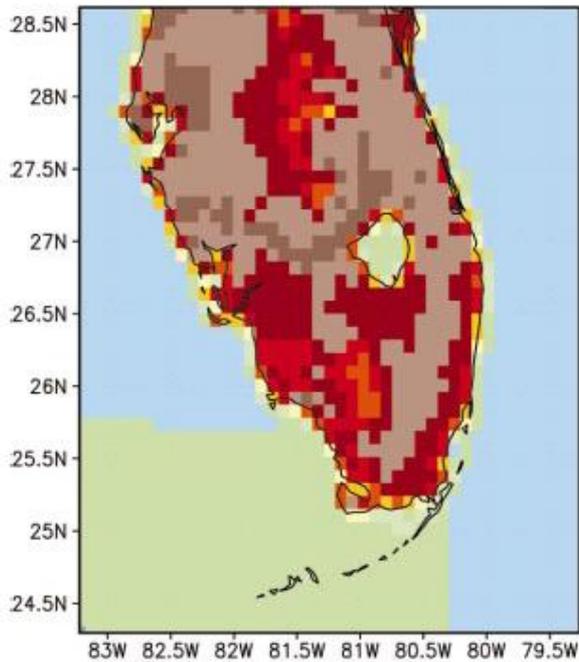
après 1993



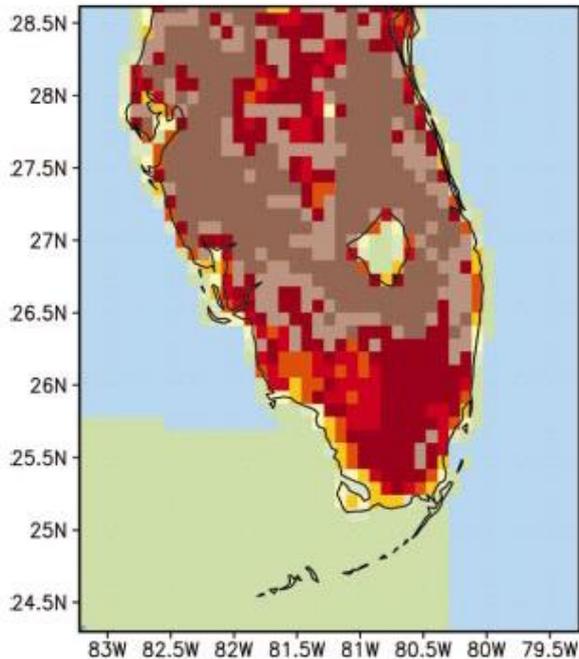
# Les effets de ce drainage de marécages se voient également en été

dans les

## Température maximale sous abri en Juillet-Août (°C)

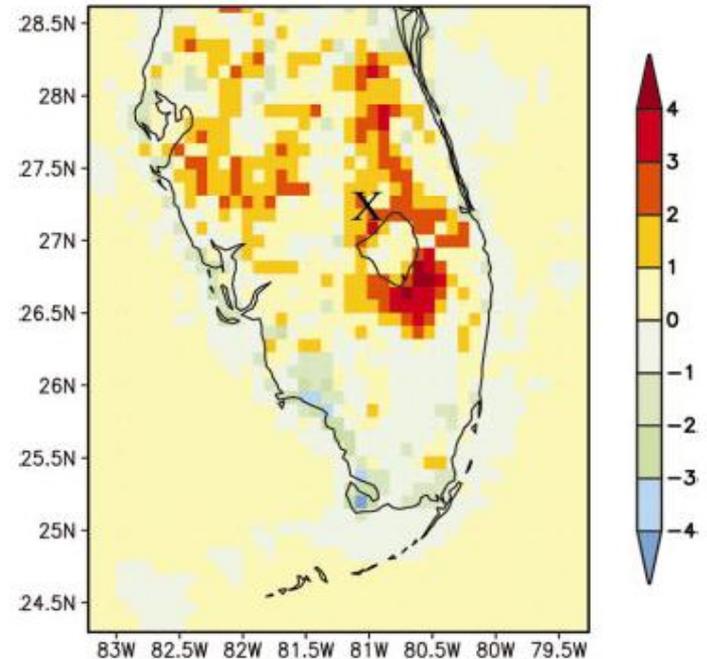


avant 1993



après 1993

cultivé - marécages



**CONCLUSION de cette étude  
sur la Floride:**

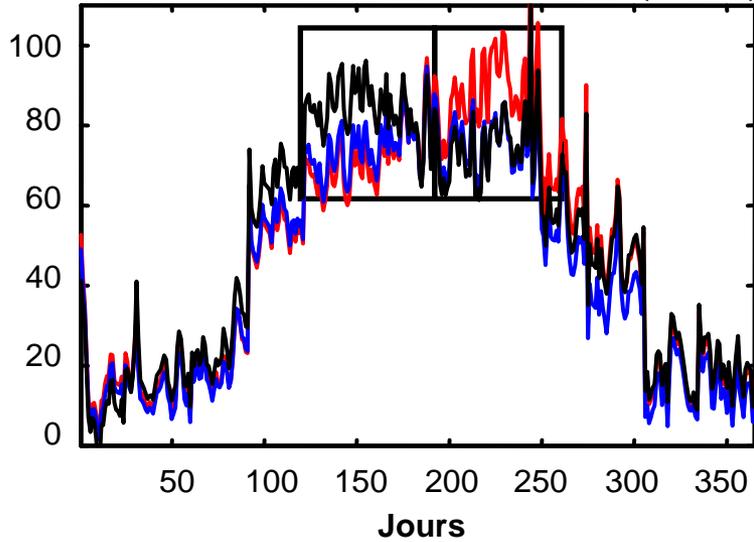
**une décision contre-productive.**

**Illustre l'intérêt d'une étude de  
modélisation en amont**

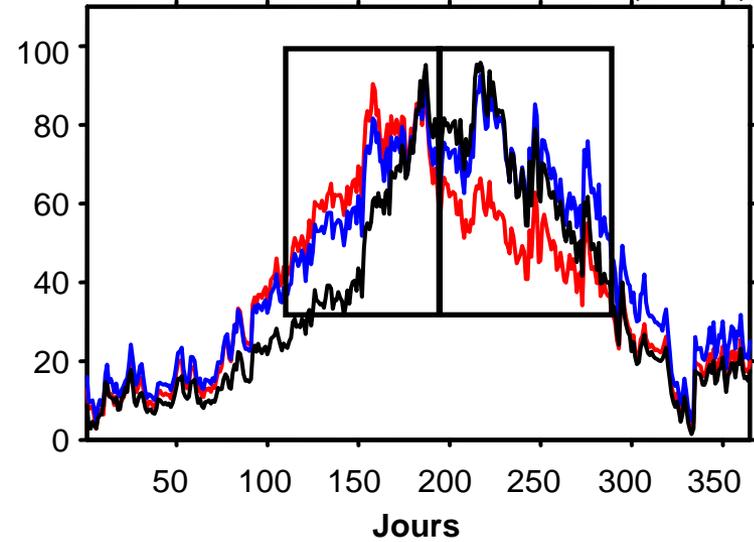
Exemple de la modélisation de  
l'impact des cultures sur le climat:  
comparaison prairie/culture

# Impact des zones agricoles sur les flux du bilan d'énergie

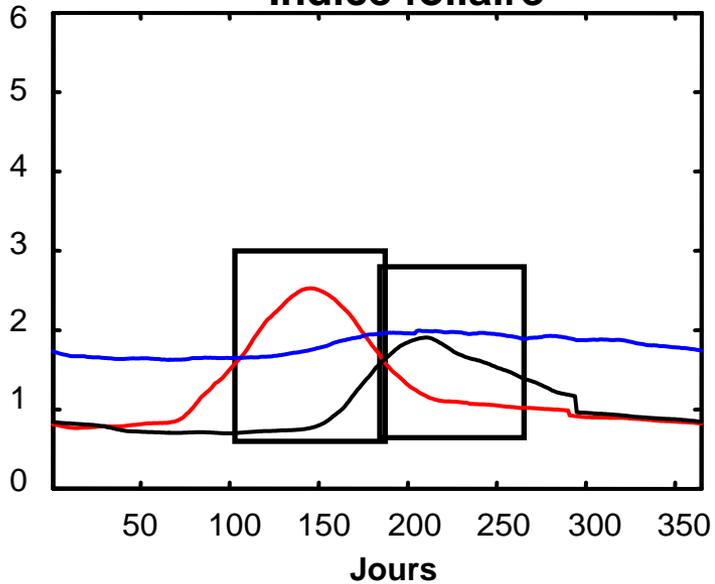
## Flux de chaleur sensible ( $W.m^{-2}$ )



## Flux de chaleur latente ( $W.m^{-2}$ )



## Indice foliaire



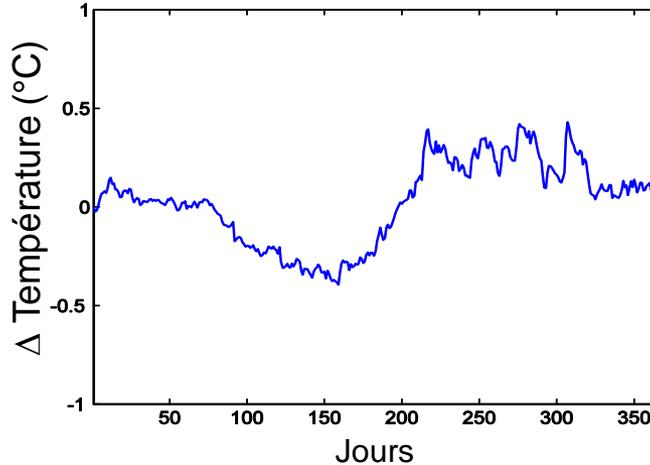
blé

soja

Couvert herbacé

# La température de surface

## Différences blé - prairie moyenne sur l'Europe

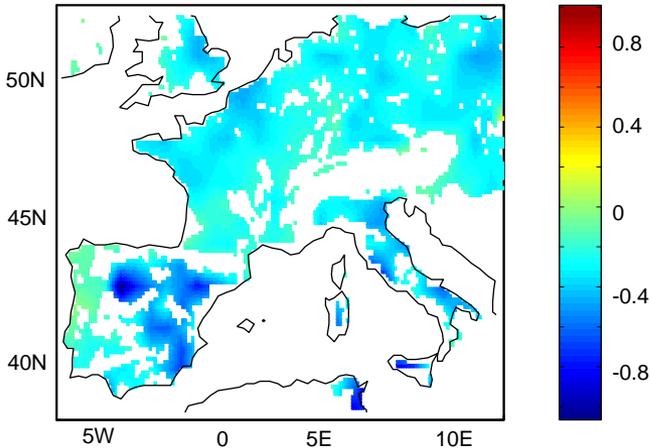


- Une diminution de la température de surface avec le blé pendant le plein développement du blé (mars – juin)
- + Une augmentation de la température de surface en été et au début de l'automne (le blé a fini son cycle; les terres en blé sont alors sans végétation)



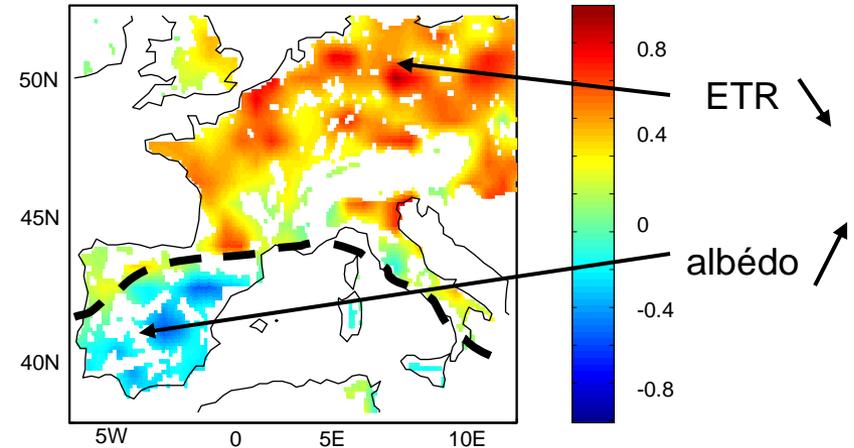
### Δ Température de surface (°C)

jour 101 – jour 200



### Δ Température de surface (°C)

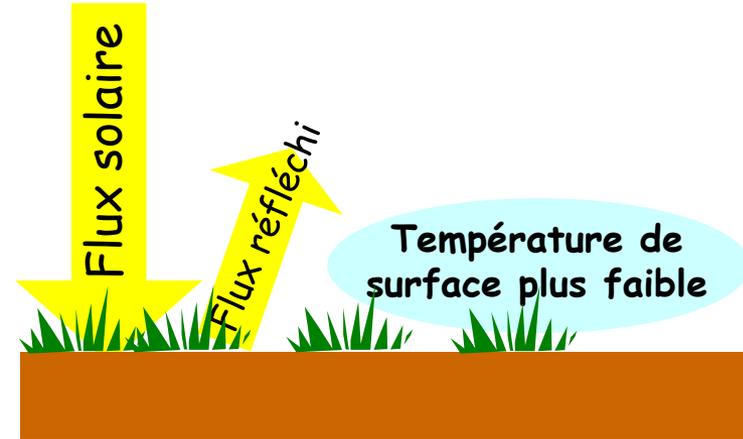
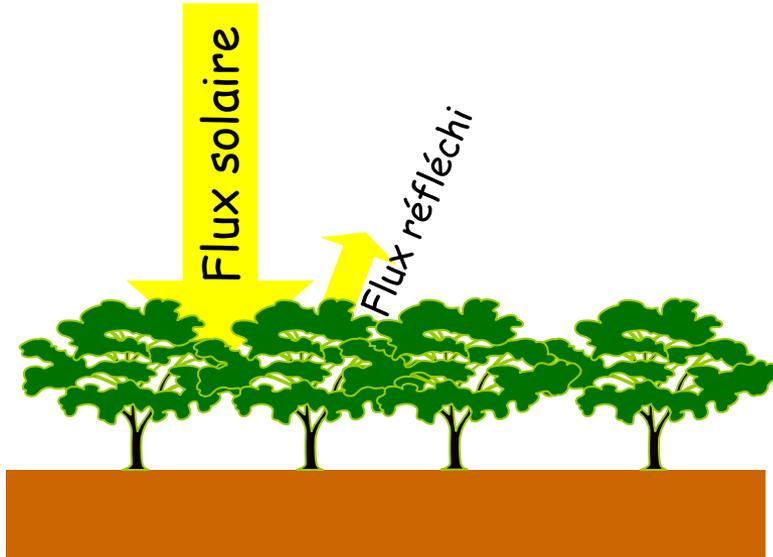
jour 201 – jour 300



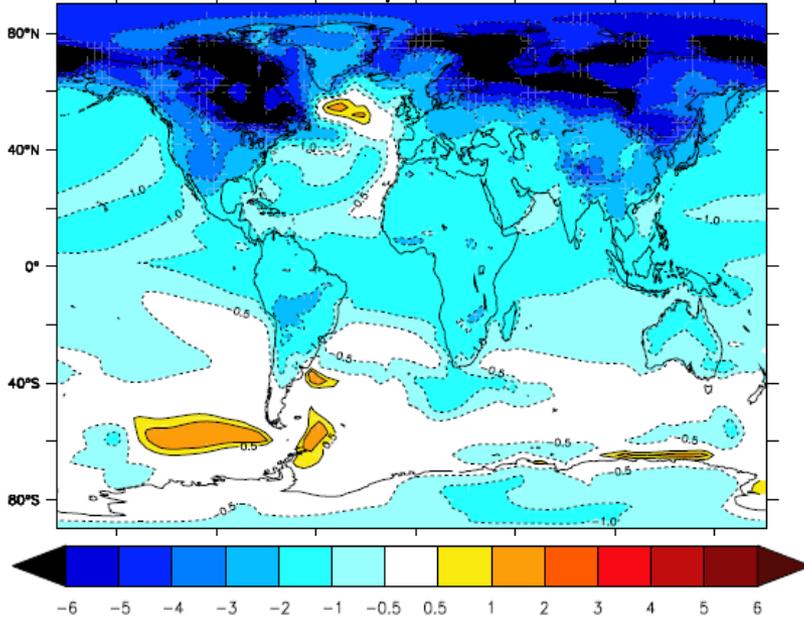
# Expériences idéalisées

- ❑ Expériences idéalisées de déforestation massive:
  - GES préindustriels constants, "snap-shot" de 110 ans.
  - Expérience de contrôle avec un couvert forestier maximisé.
  - Expériences avec remplacement total des forêts par des prairies:
    - 1) Seulement le changement d'albédo
    - 2) Seulement le changement de rugosité
    - 3) Seulement le changement d'efficacité évaporative
    - 4) Effet biophysique total

# Rôle de l'albédo de surface



Anomalie de température de surface

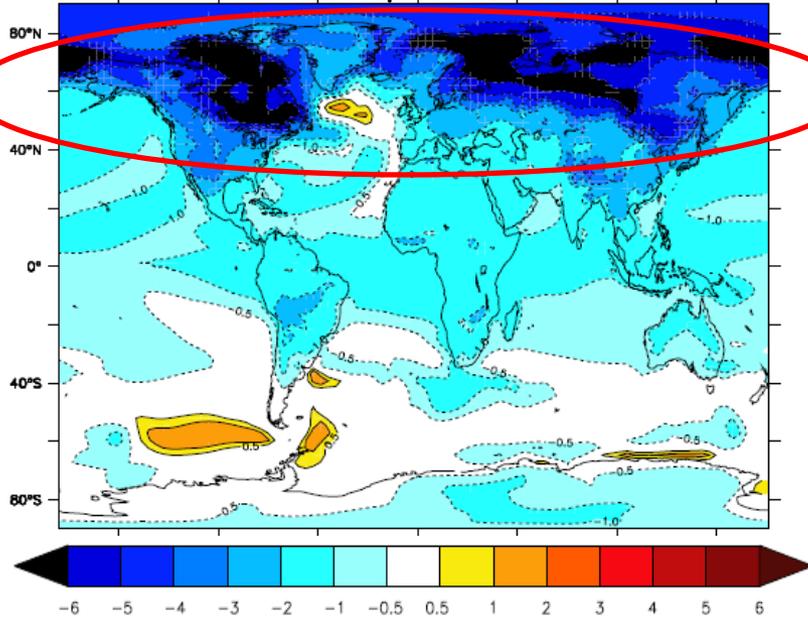


*simulation qui limite l'effet de la déforestation au changement d'albédo*

# Rôle de l'albédo de surface

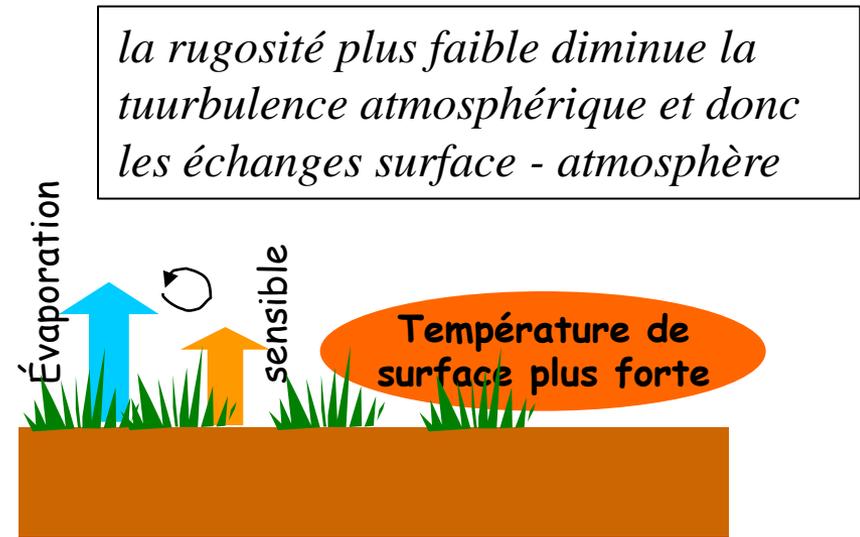
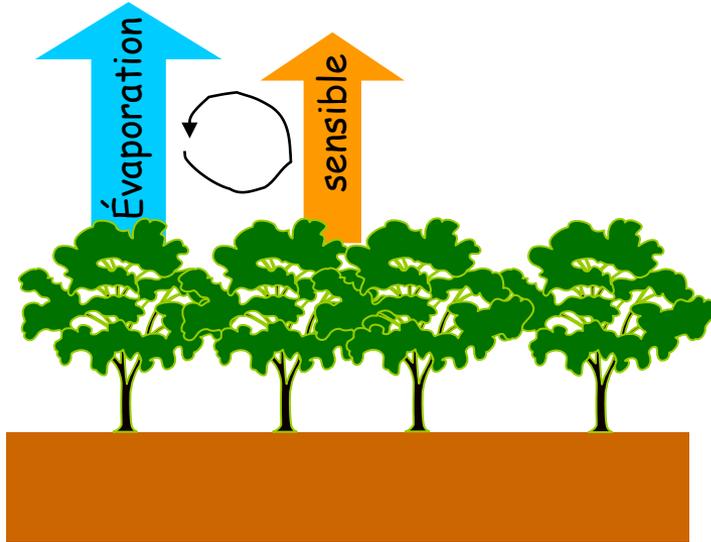


Anomalie de température de surface

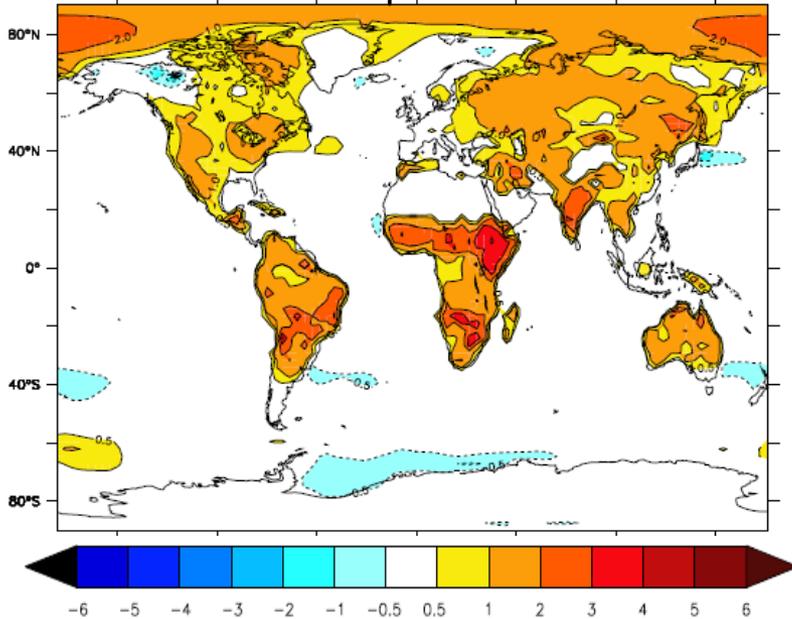


Refroidissement plus important dans les hautes latitudes à cause de la présence de neige qui amplifie l'augmentation d'albédo après déforestation.

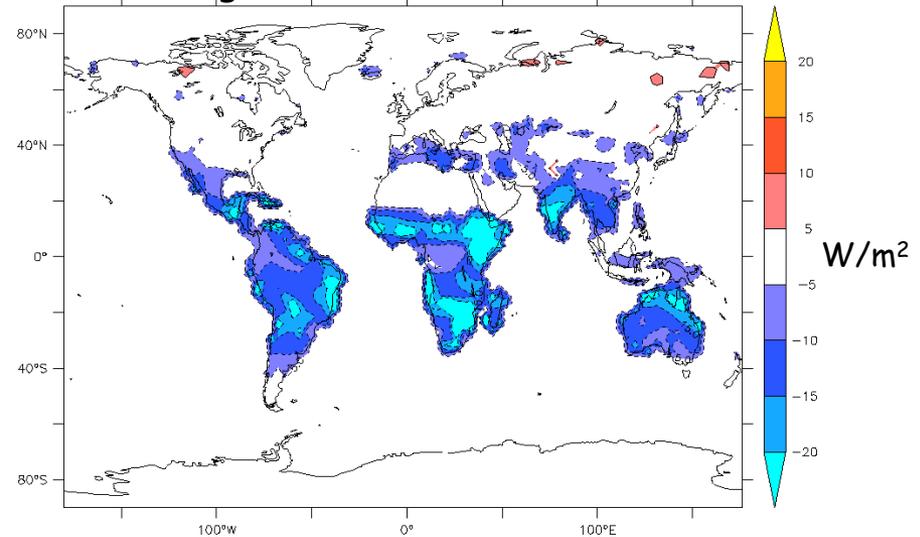
# Rôle de la rugosité



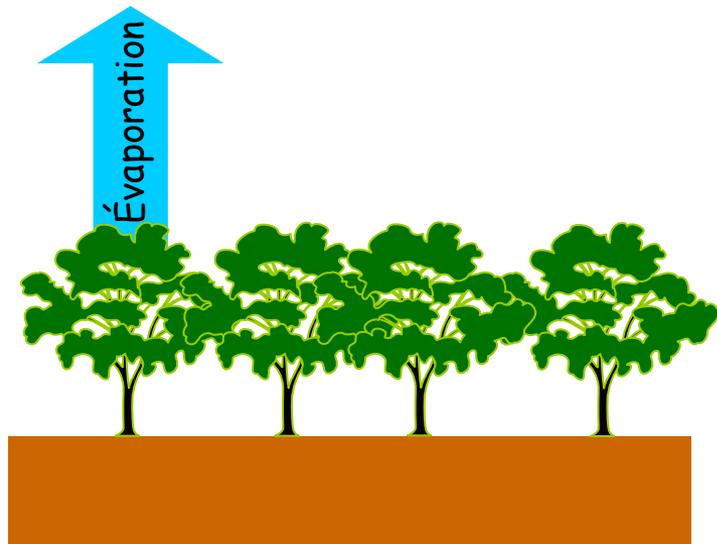
Anomalie de température de surface



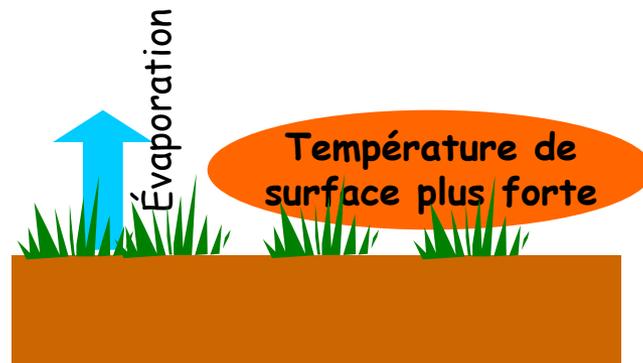
Changement des flux turbulents



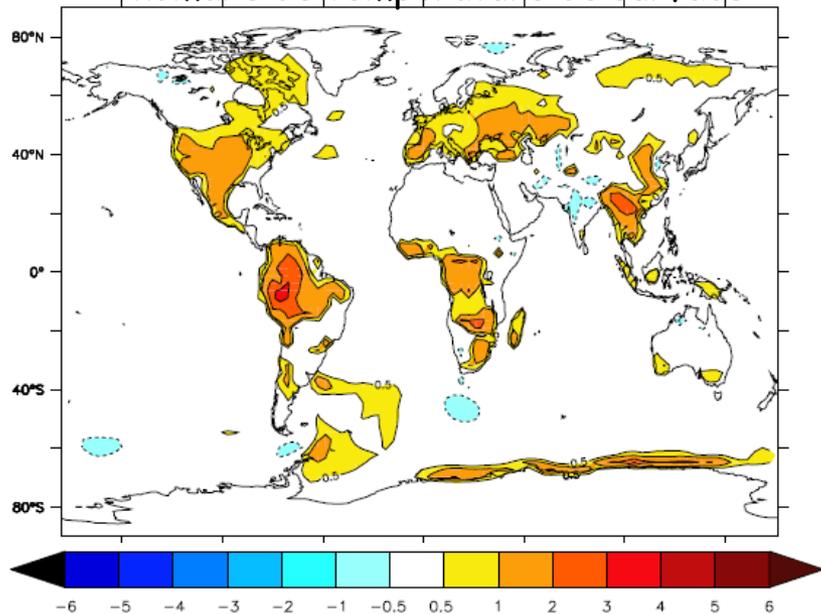
# Rôle de l'efficacité évaporative



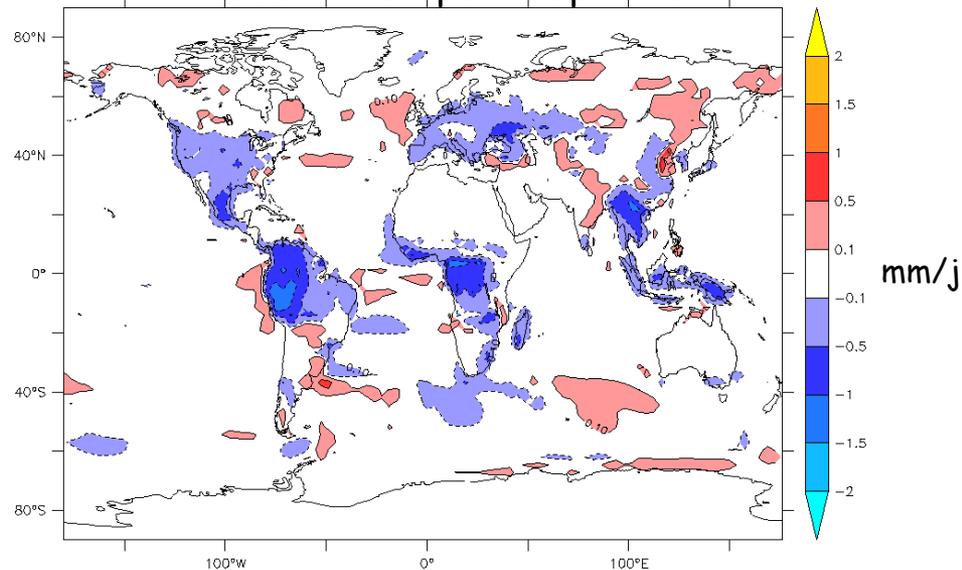
*effet très inférieur à l'effet d'albédo*



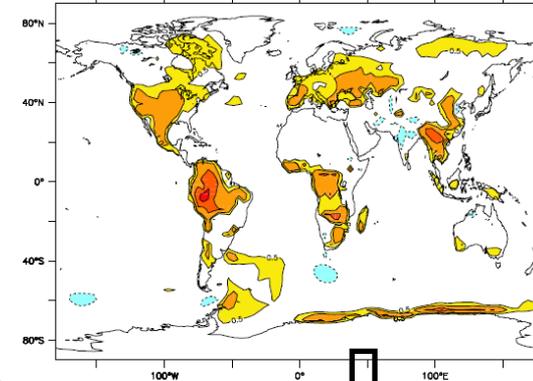
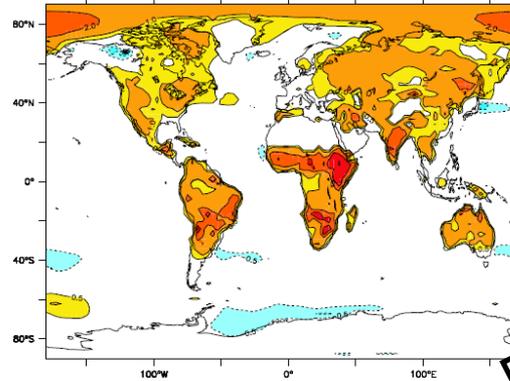
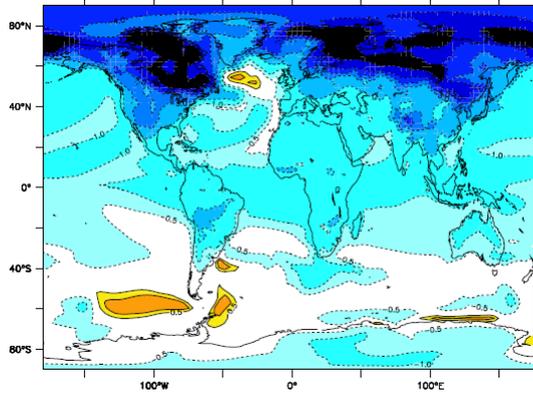
Anomalie de température de surface



Anomalie d'évapotranspiration



# Deux types de processus très différents



## Changement d'albédo

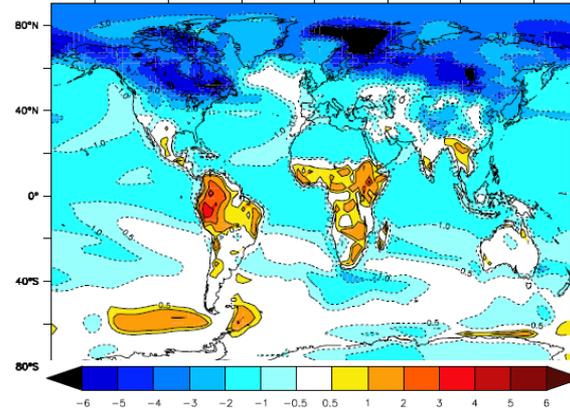
- Effet refroidissant
- Effet sur les continents et sur les océans
- Effet plus marqué dans les régions froides
- Déséquilibre énergétique au sommet de l'atmosphère -> forçage radiatif

## Changement de rugosité et d'efficacité évaporative

- Effet réchauffant
- Effet localisé sur les continents
- Effet légèrement plus marqué dans les régions chaudes à forte évaporation
- Pas de déséquilibre énergétique au sommet de l'atmosphère -> forçage non-radiatif

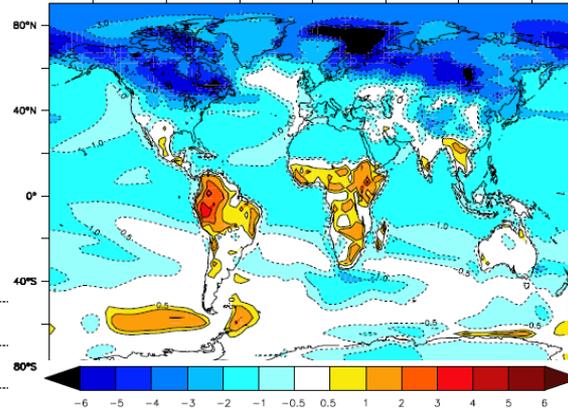
# Effet biophysique total de la déforestation

Anomalie de température de surface

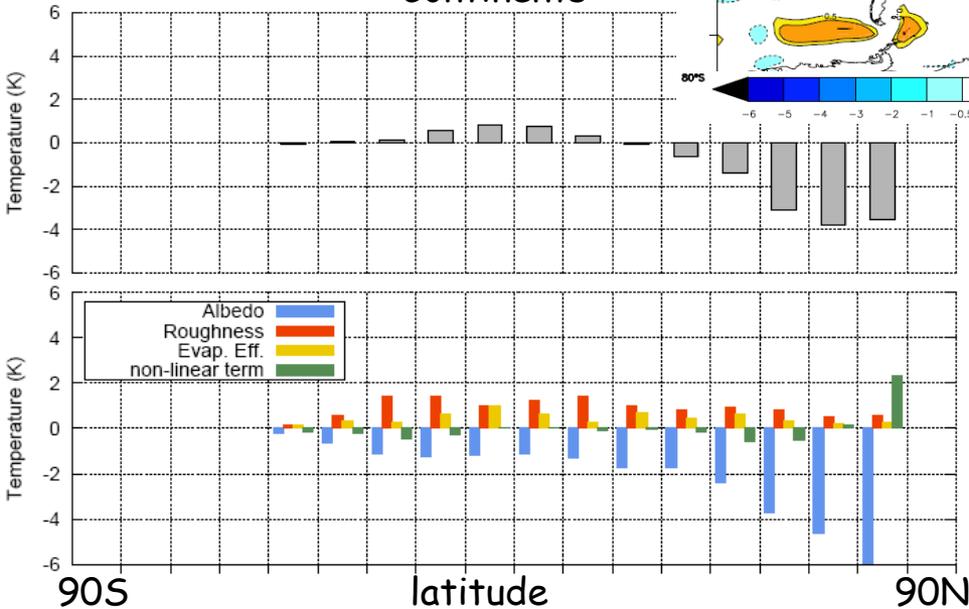


# Effet biophysique total de la déforestation

Anomalie de température de surface



Continents



❑ Refroidissement aux moyennes et hautes latitudes: effet radiatif dominant.

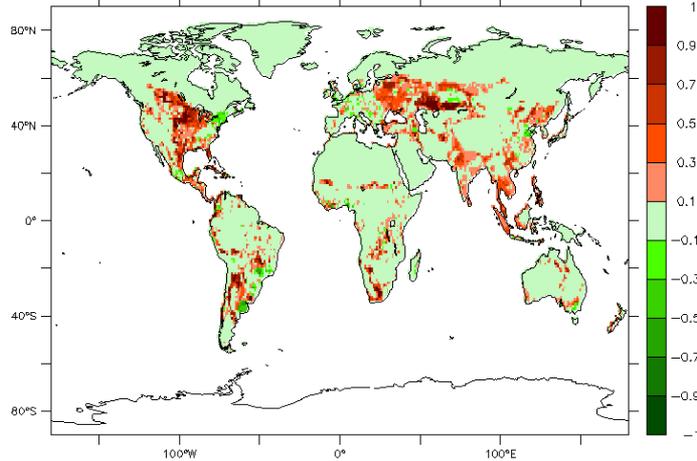
❑ Réchauffement dans les tropiques: effet non-radiatif dominant

**Expérience réaliste de l'impact du  
changement d'utilisation des terres  
présent-préindustriel / futur-présent**

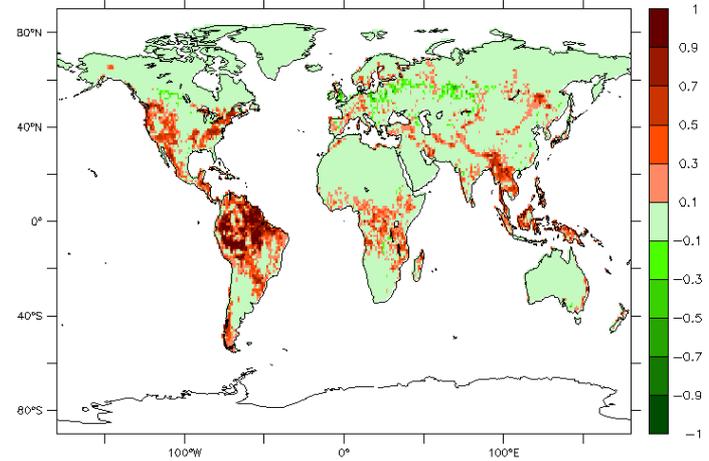
# Conséquence du changement de l'utilisation des terres entre passé/présent Et présent/futur

## Changement des surfaces cultivées

### PRES – PASSE (observé)

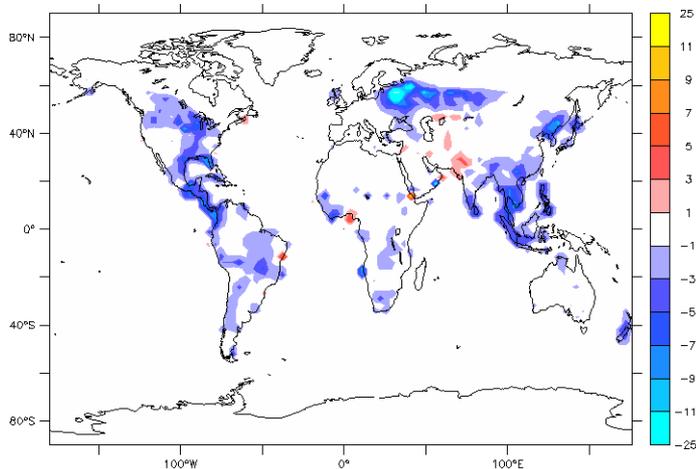


### FUTU – PRES (simulé par IMAGE)

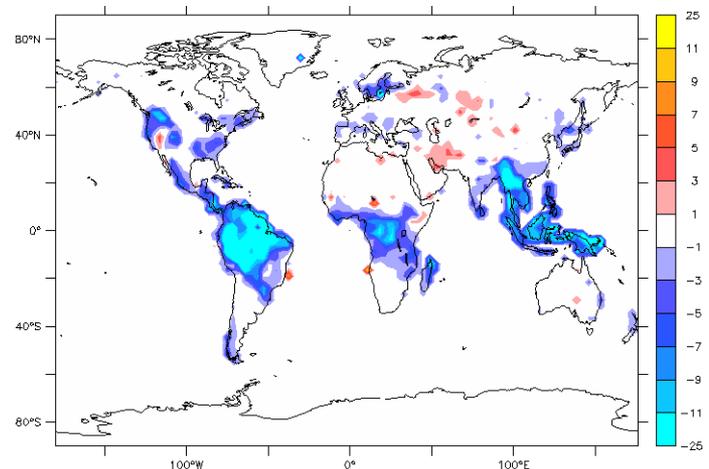


## Changement du forçage radiatif (albedo + vapeur d'eau)

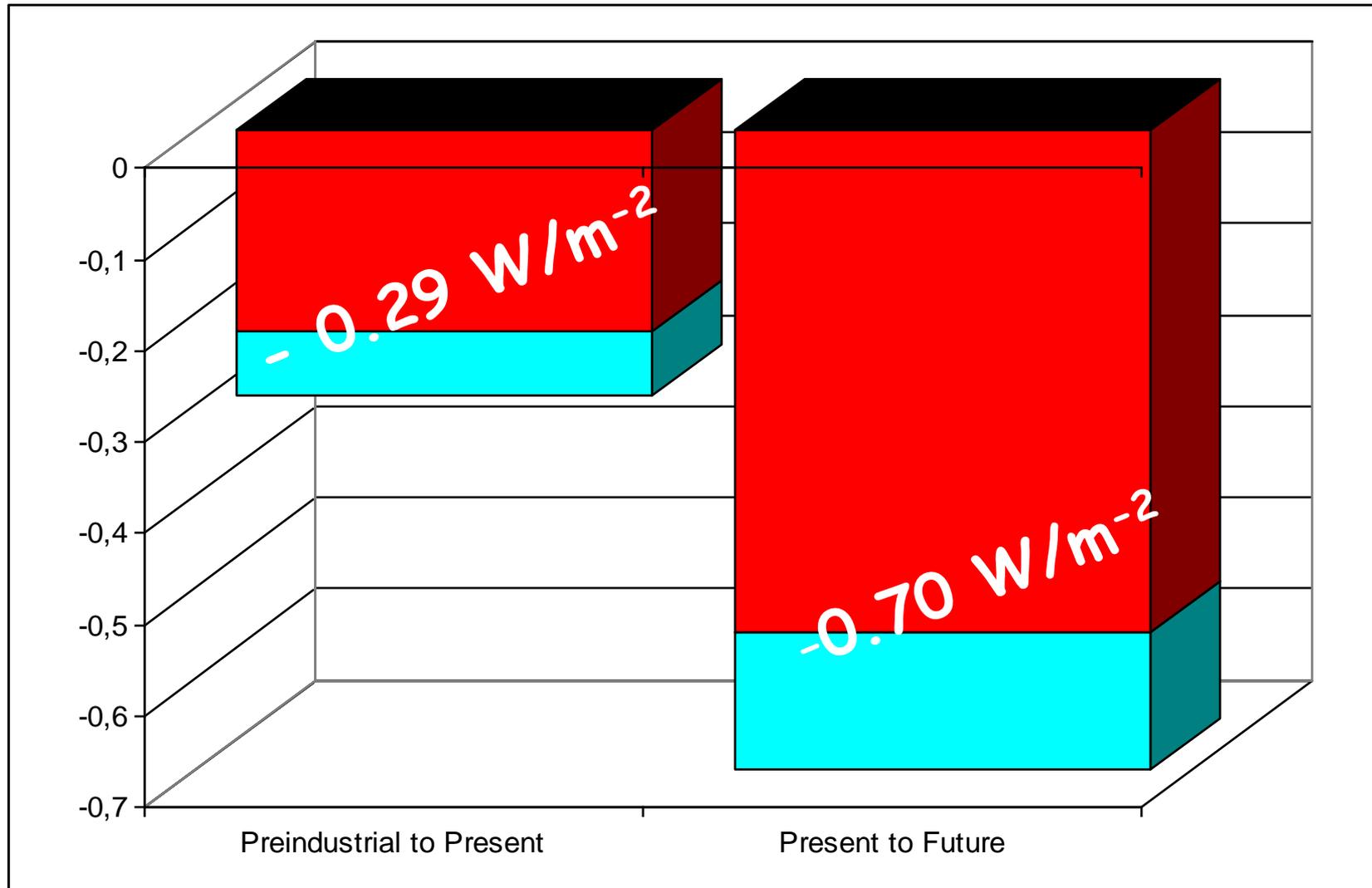
### PRES – PASSE



### FUTU - PRES



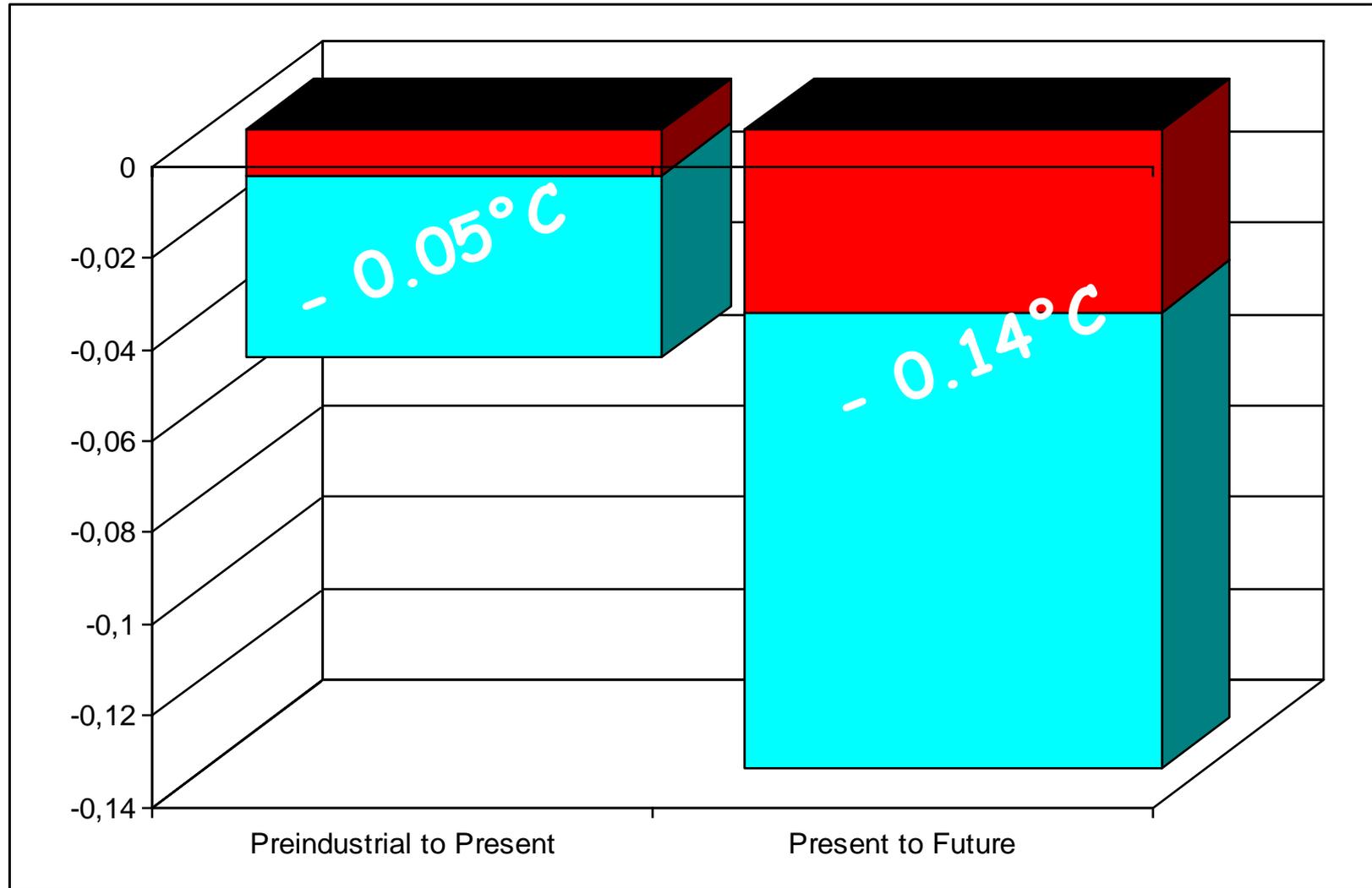
# Changement du forçage radiatif global ( $\text{W}/\text{m}^{-2}$ )



Changement d'albédo

Changement d'évapotranspiration

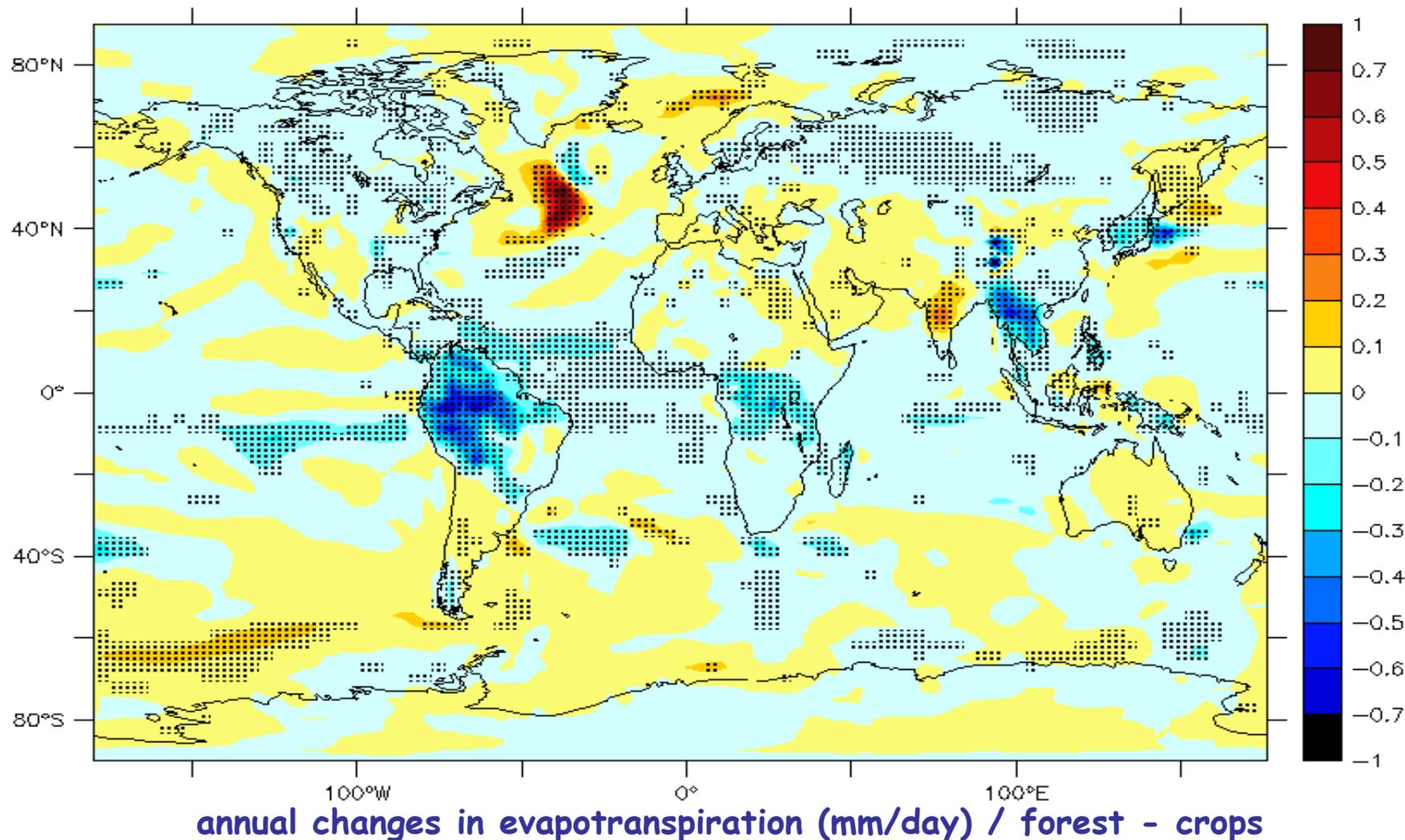
# Changement de la température moyenne globale (°C)



**Changement d'albédo**

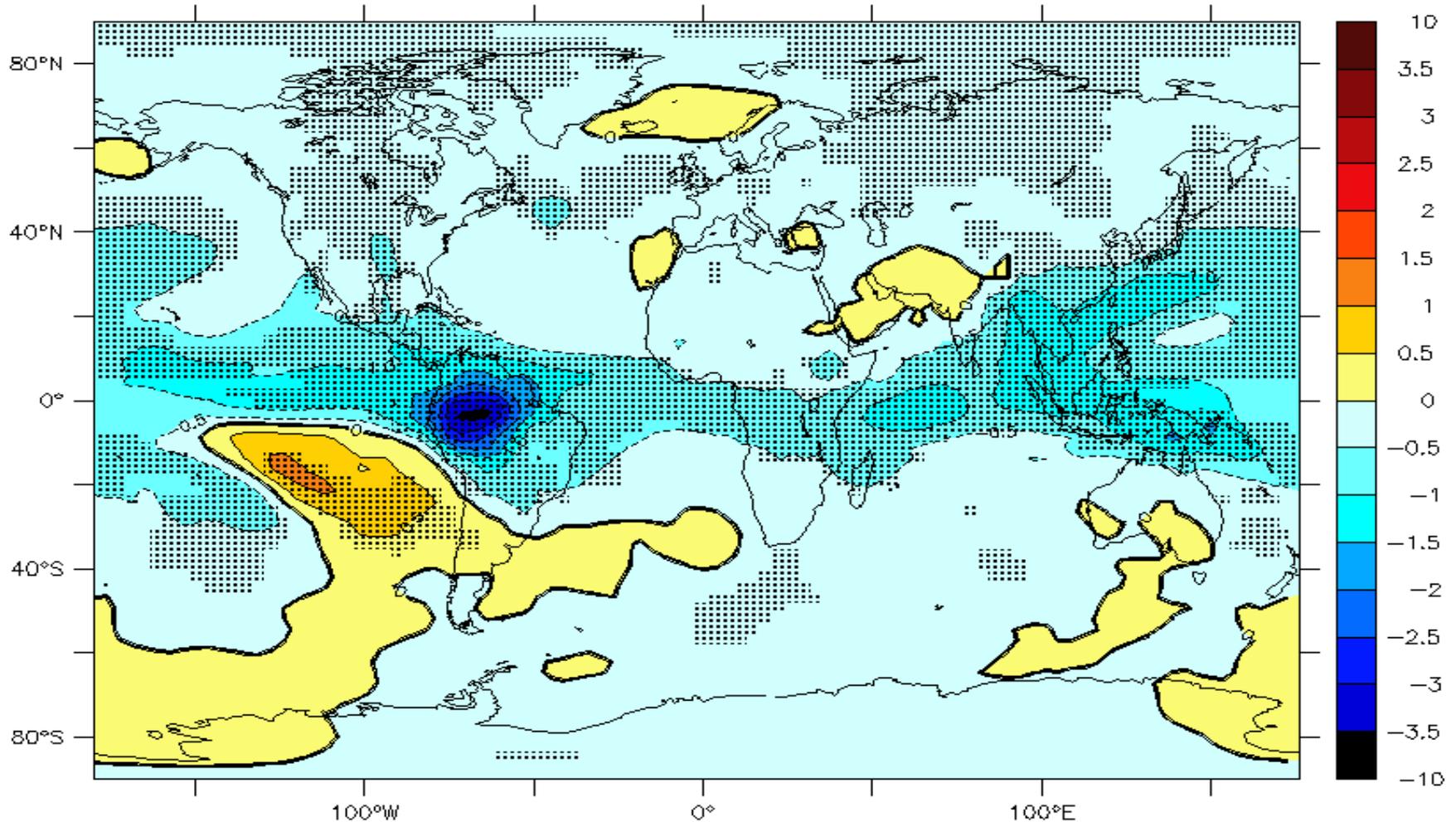
**Changement d'évapotranspiration**

# Changement du cycle hydrologique: Une diminution de l'évapotranspiration



# Changement du cycle hydrologique:

Diminution de la concentration en vapeur d'eau de l'atmosphère

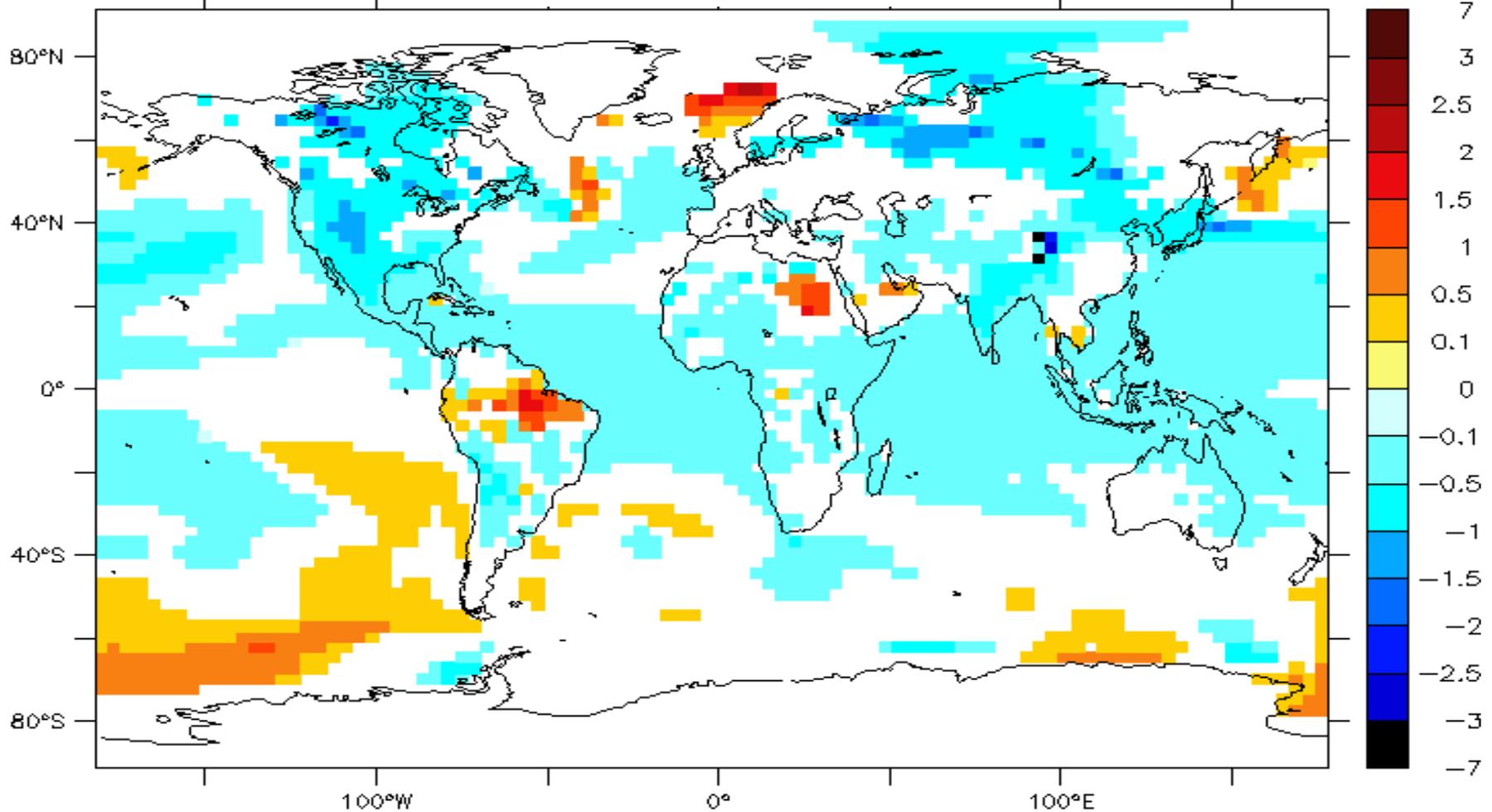


annual changes in precipitable water (kg/m<sup>2</sup>) / forest - crops

# Consequences de la déforestation tropicale:

## Un refroidissement

Dû à la combinaison des effets radiatifs et hydrologiques

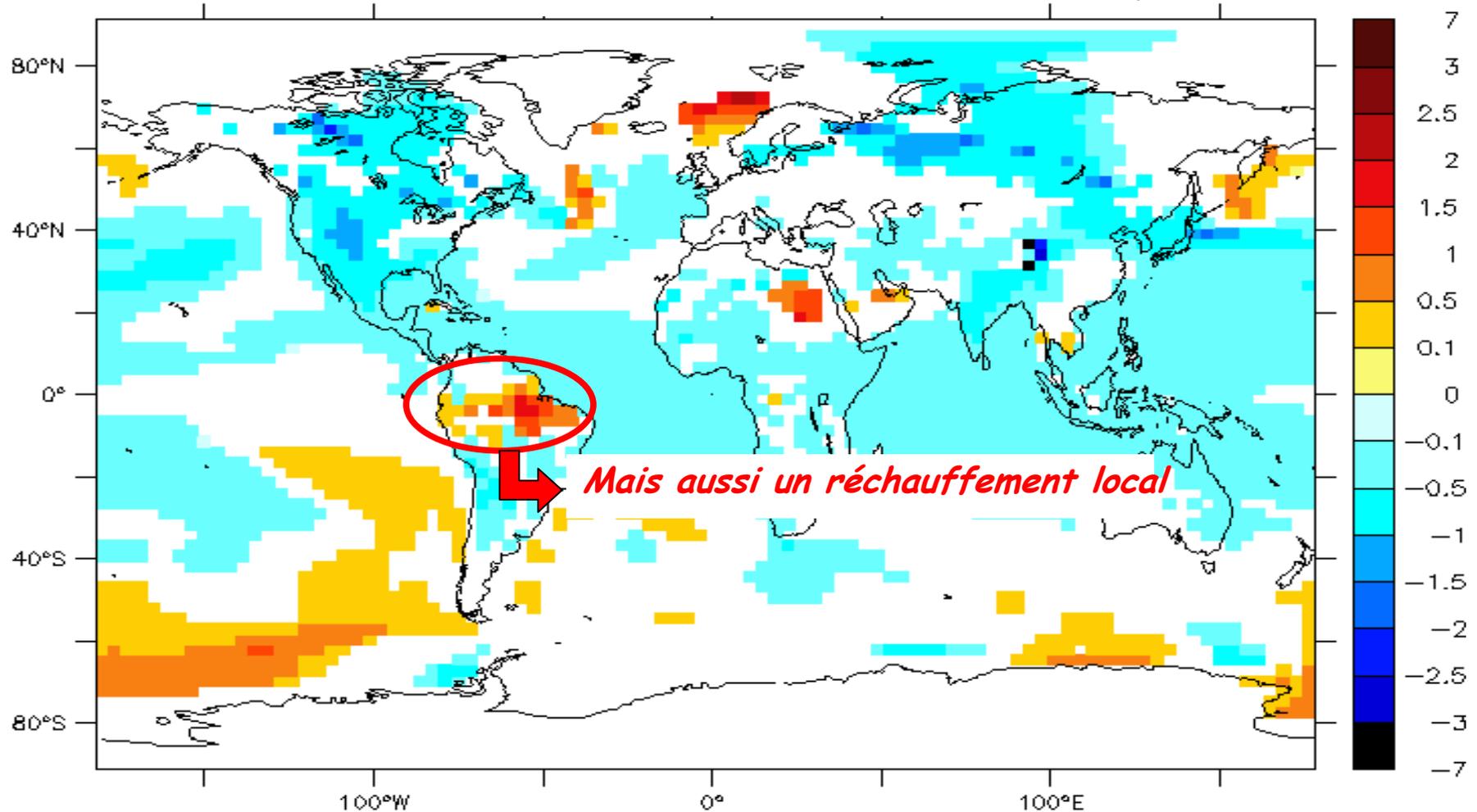


annual changes in surface air temperature (°C) / forest - crops

# Consequences de la déforestation tropical:

## Un refroidissement

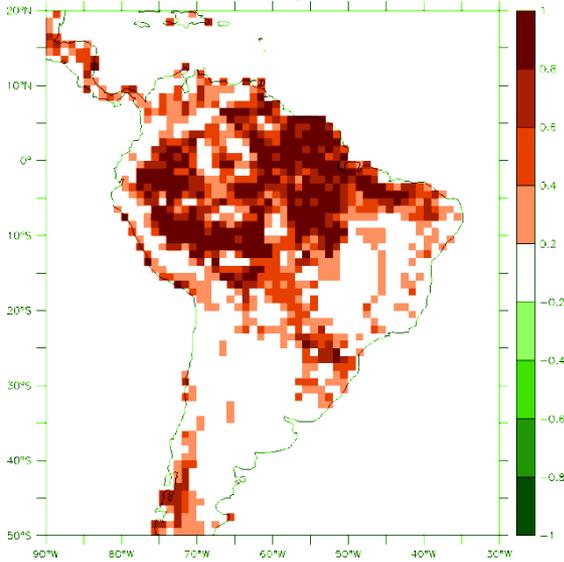
Due à combinaison des effets radiatifs et hydrologiques



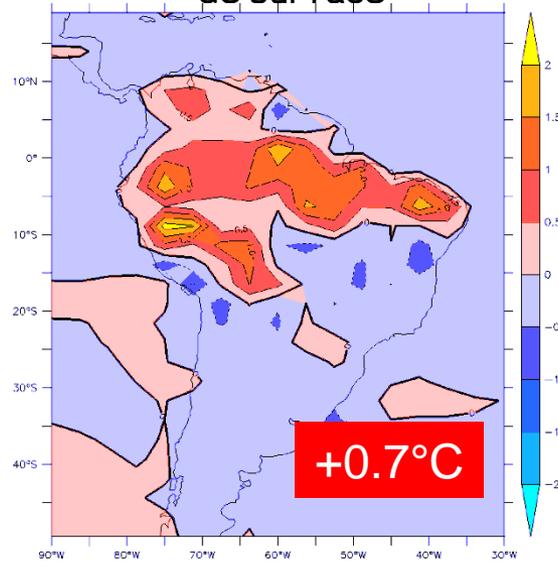
annual changes in surface air temperature (°C) / forest - crops

# Impact régional de la déforestation amazonienne

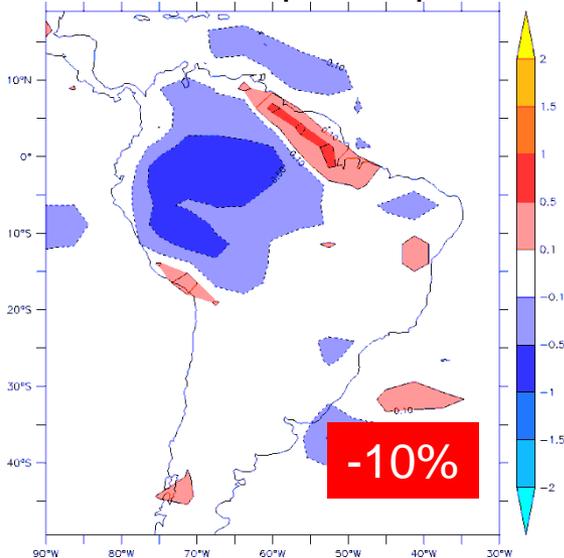
## Fraction déforestée



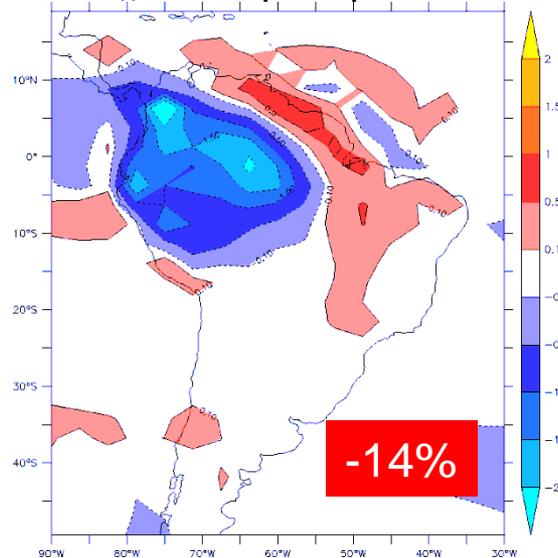
## Anomalie de température de surface



## Anomalie d'évapotranspiration



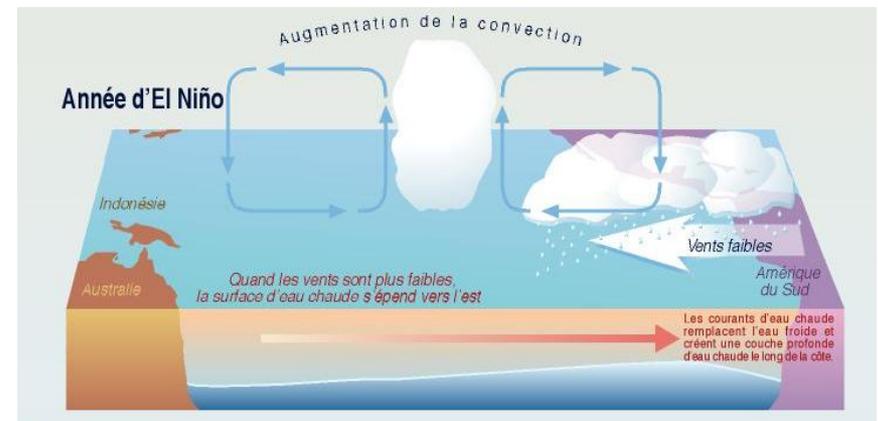
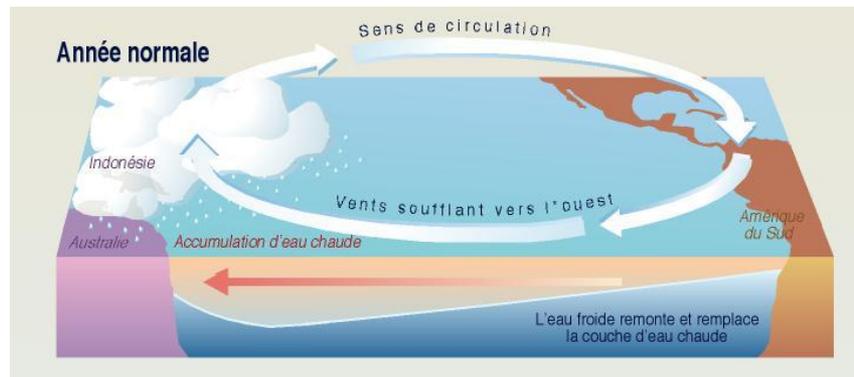
## Anomalie de précipitations



Résultats concordant avec des études régionales de l'impact de la déforestation amazonienne [e.g., Nobre et al., 1991; Zhang et al., 1996; Voltaire et Royer, 2005].

# Impact sur la variabilité climatique

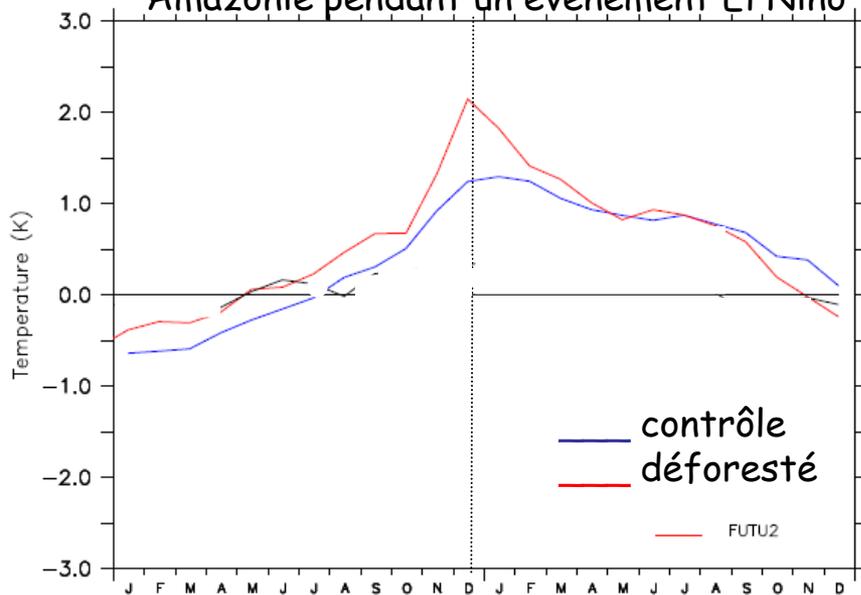
- ❑ La variabilité du climat est particulièrement importante pour les écosystèmes et la population humaine.
- ❑ Dans les tropiques, et notamment en Amazonie, un des principaux modes de variabilité à l'échelle interannuelle est le phénomène El Niño.



- ❑ La déforestation peut-elle entraîner une modification de cette variabilité ?
  - Cette question ne peut être étudiée qu'avec des simulations longues avec un modèle couplé océan-atmosphère.

# Impact d'El Niño en Amazonie

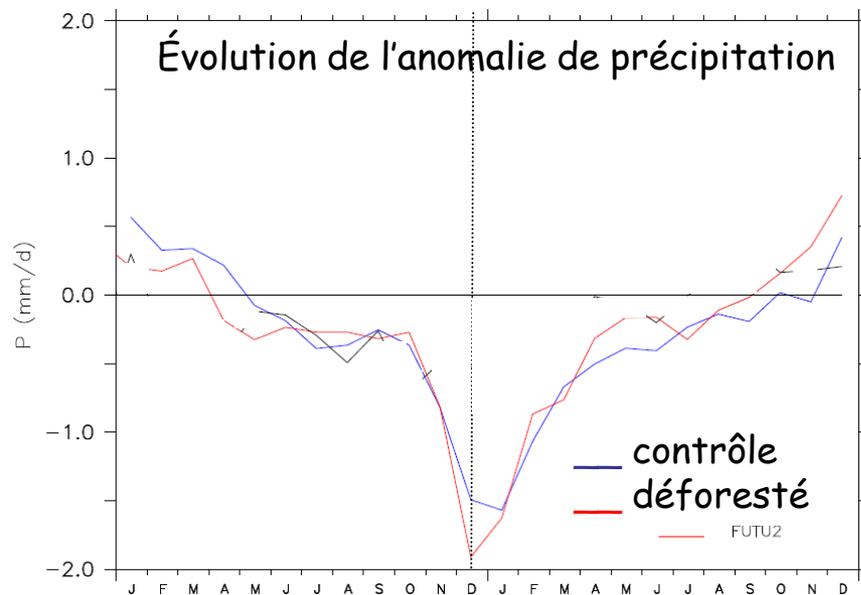
Évolution de l'anomalie de température en Amazonie pendant un événement El Niño



❑ Une anomalie chaude est constatée en Amazonie pendant un événement El Niño.

❑ Cette anomalie est 40% plus forte dans le cas de l'Amazonie déforestée.

Évolution de l'anomalie de précipitation

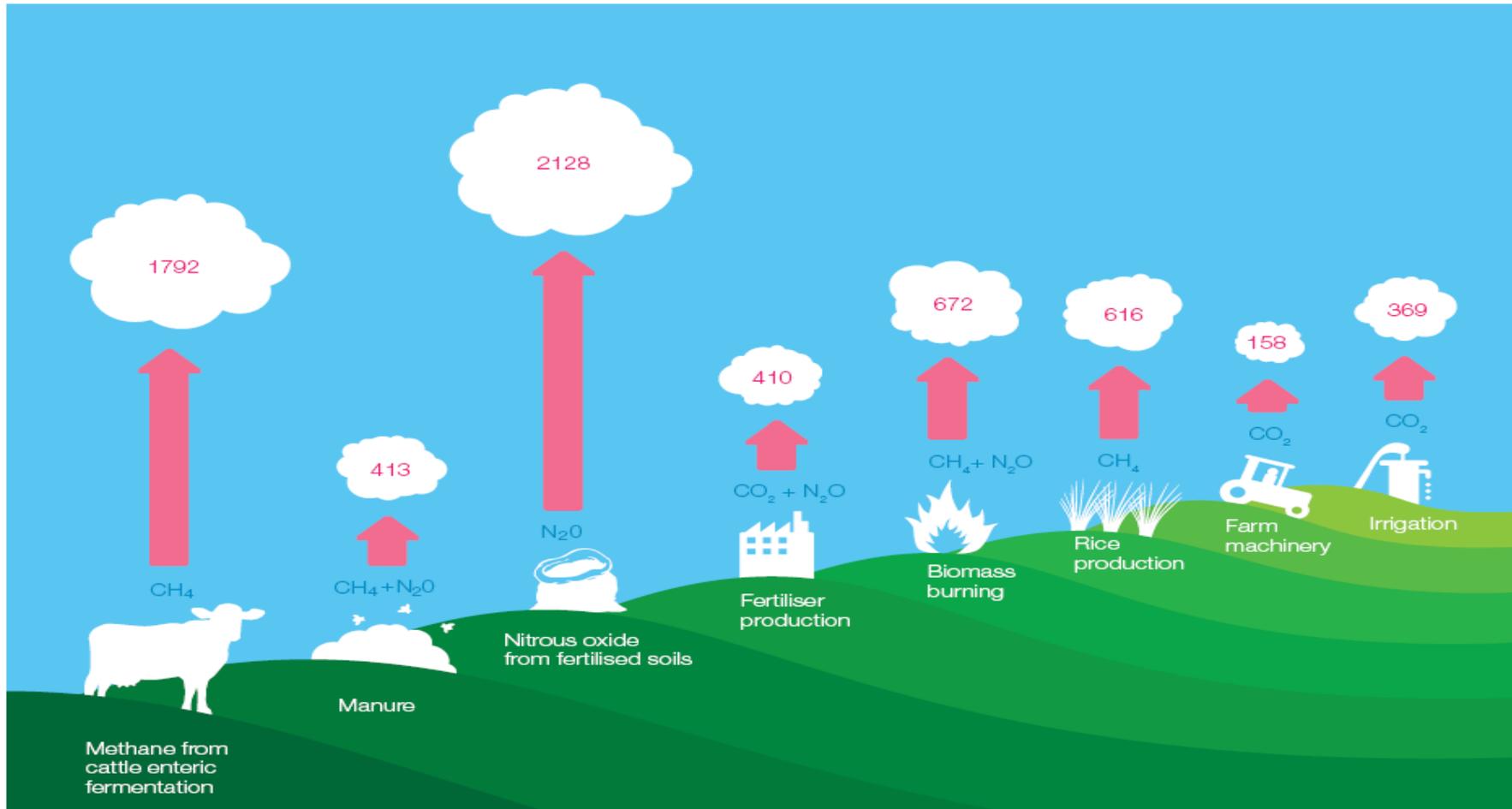


❑ El Niño correspond également à une anomalie de sécheresse sur l'Amazonie.

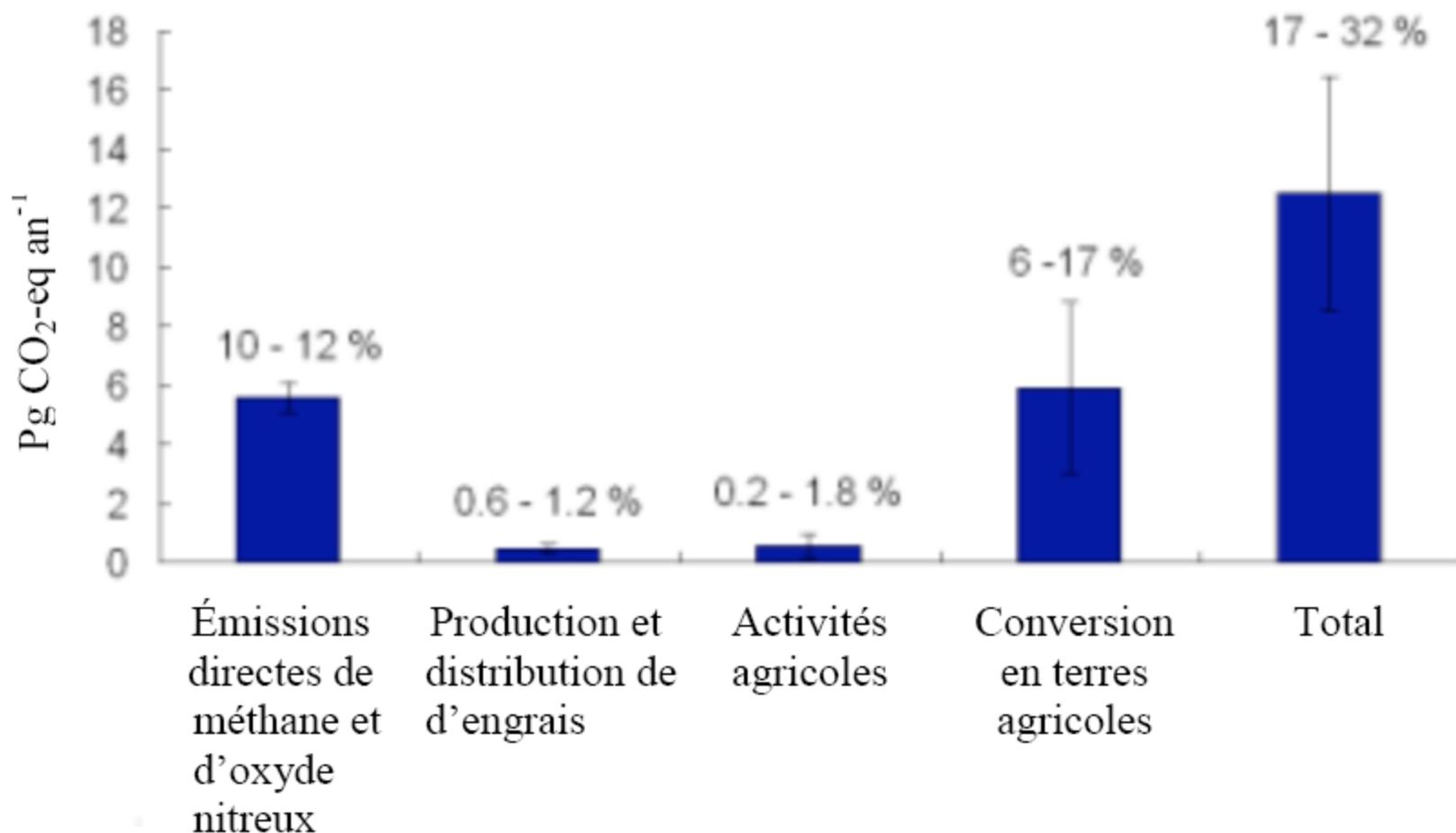
Mise en évidence de l'impact  
indirect de l'agriculture sur le climat

# Estimation de la contribution de l'agriculture à l'émission de GES

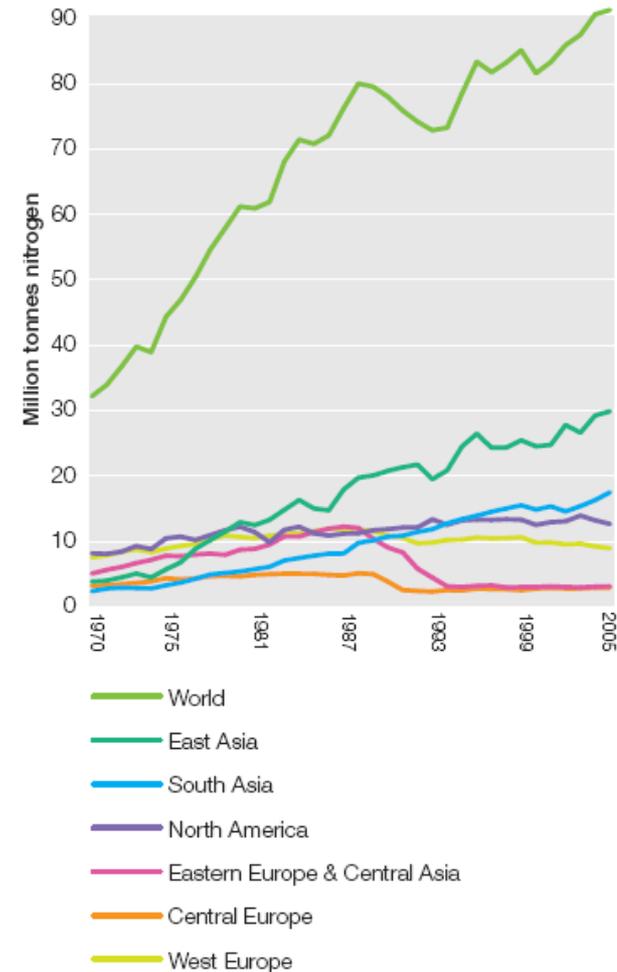
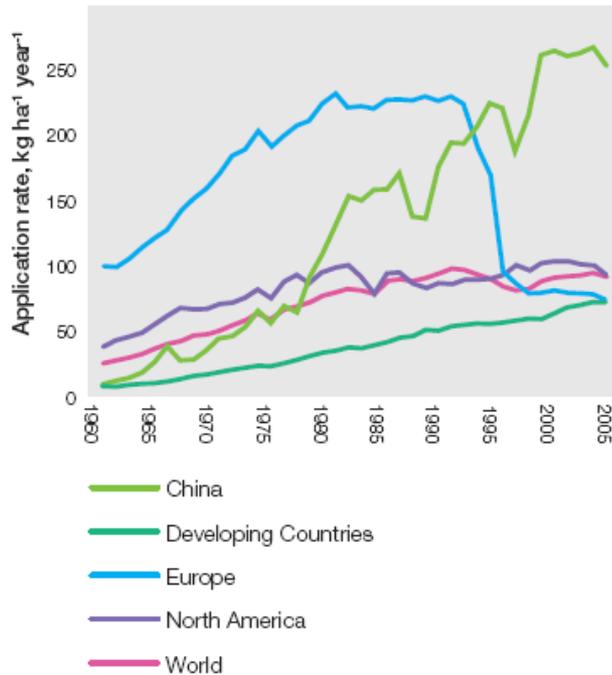
Mt CO<sub>2</sub>-eq



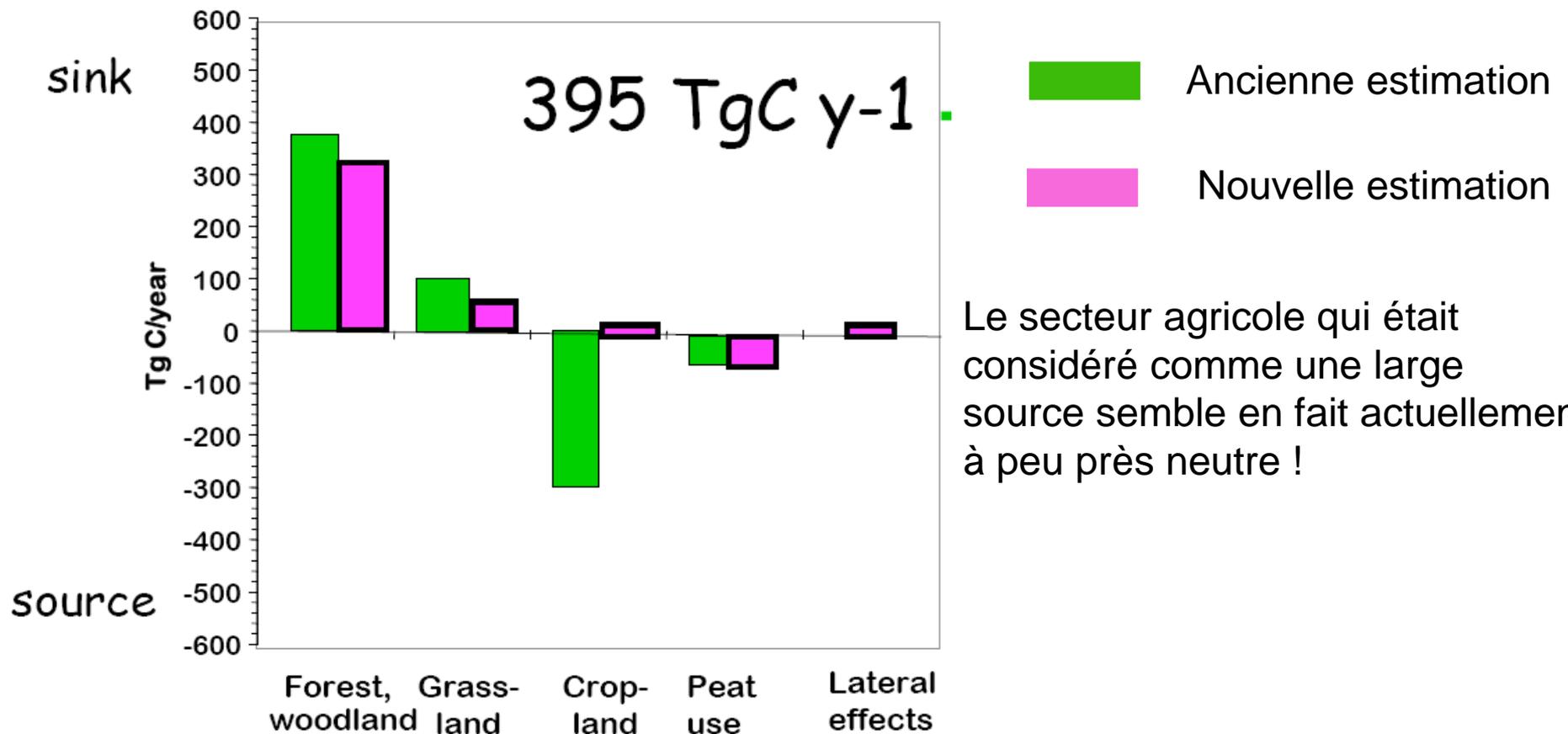
## Contribution mondiale du secteur agricole aux émissions de gaz à effet de serre



# Evolution des apports d'engrais

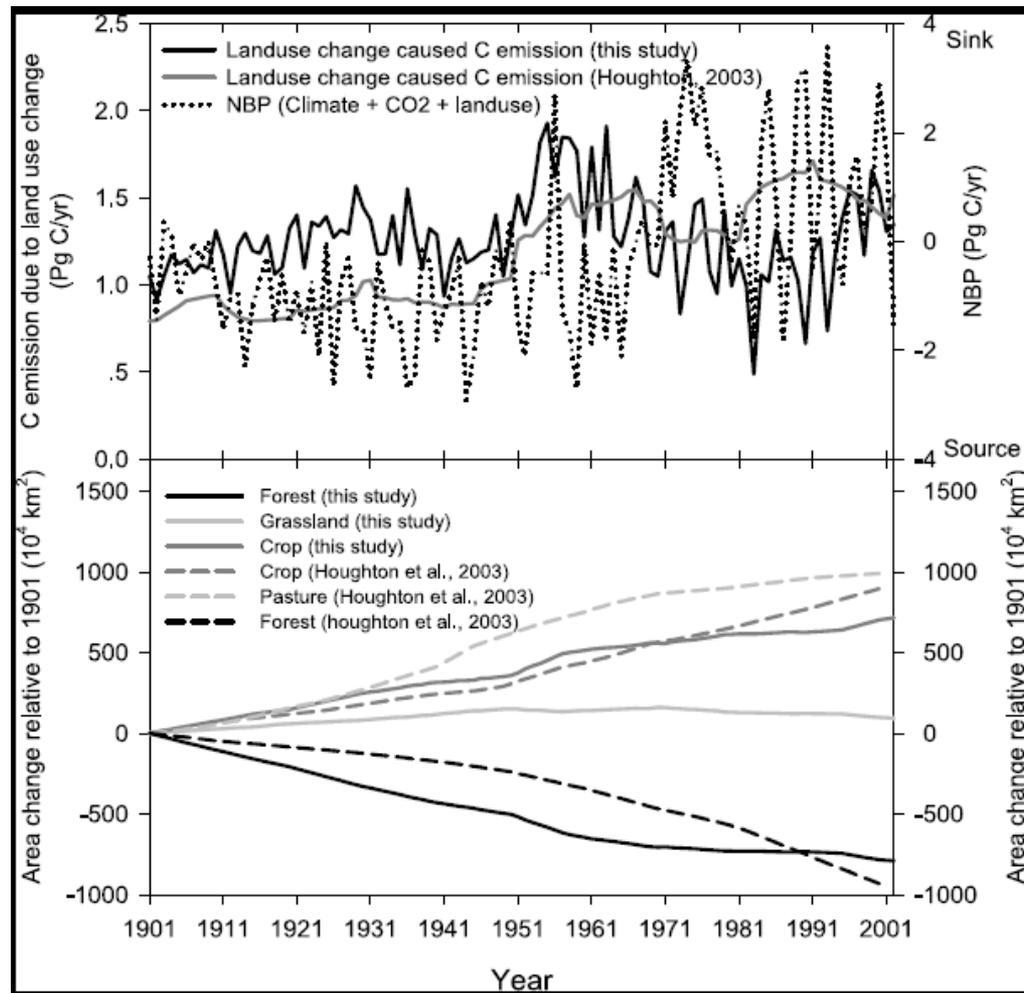


# Bilan du carbone pour l'Europe (résultat du projet Carboeurope)



**Les émissions de l'Europe sont de 1200 TgCy<sup>-1</sup>**

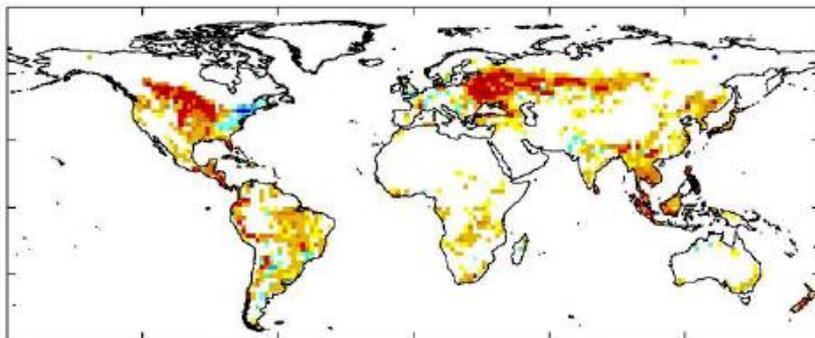
# Bilan de l'émission de CO<sub>2</sub> lié au changement d'utilisation des terres sur le 20<sup>ème</sup> siècles



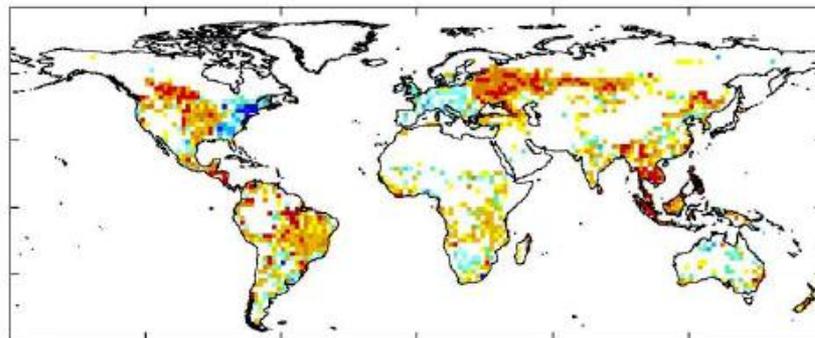
2 approches: 1/ Par inventaire  
2/ par modélisation

# Répartition spatiale des flux d'émission et bilan de carbone

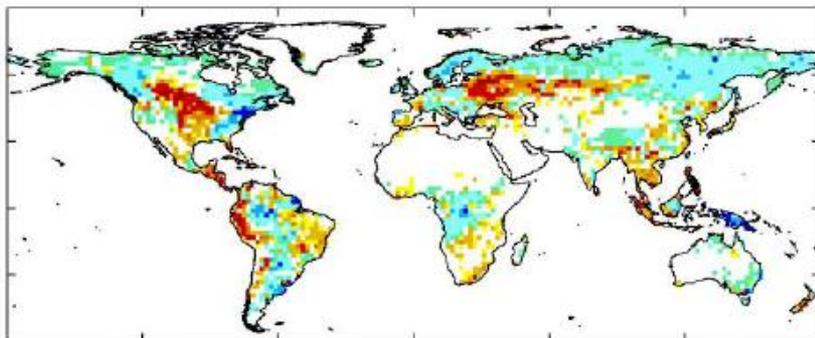
C emission due to land use change from 1901-1999



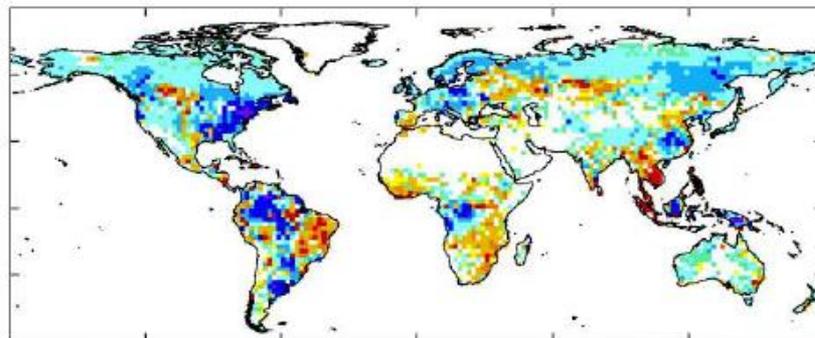
C emission due to land use change from 1980-1999



Average NBP from 1901-1999

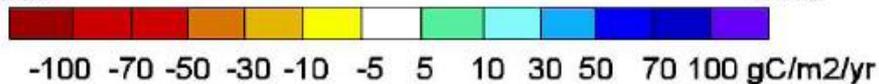


Average NBP from 1980-1999

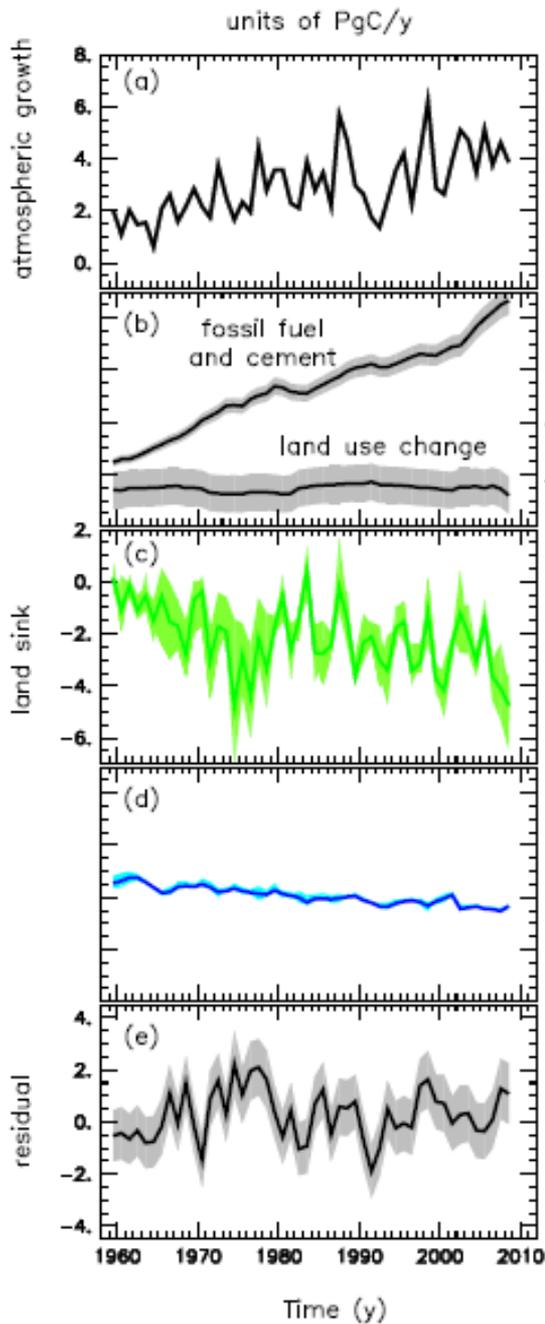


Source

Sink



# Un bilan complet du cycle du carbone



Croissance observée du CO<sub>2</sub>

Émissions anthropogéniques (fossile+ « land use »)

Puits biosphérique

Puits océanique

Résidu (bilan entre observation et comptabilité)

# Conclusion

- L'agriculture a un impact non négligeable sur le bilan des gaz à effet de serre via les sols ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ). Mais elle peut jouer un rôle de mitigation
- Ne pas négliger le rôle direct via le bilan d'énergie. Faible globalement mais potentiellement fort localement
- Quelle est le rôle sur la chimie de l'atmosphère (composés volatiles ?, poussière etc...)