

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...

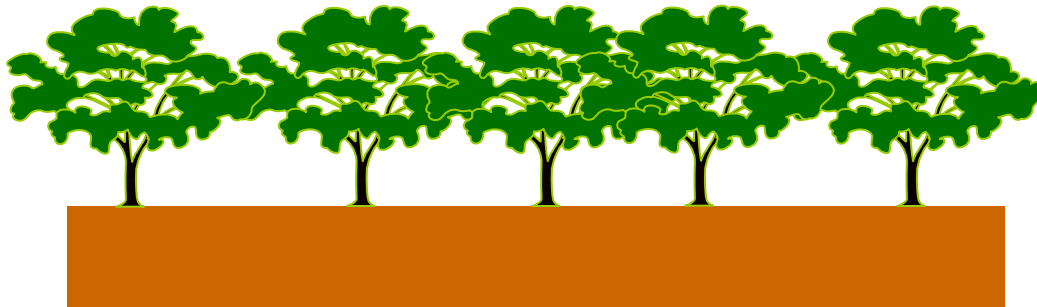
Végétation et climat



Climat:

- Rayonnement
- Températures
- Précipitations
- Vents

Structure, fonctionnement
et répartition de la
végétation



Végétation et climat



Climat:

- Rayonnement
- Températures
- Précipitations
- Vents

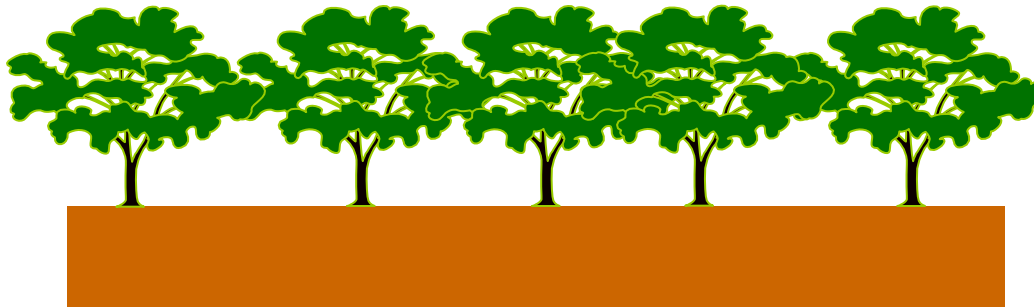
Composés chimiques:

CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 , Aérosols...



Flux biogéochimiques:

CO_2 , CH_4 , N_2O , poussières, COV



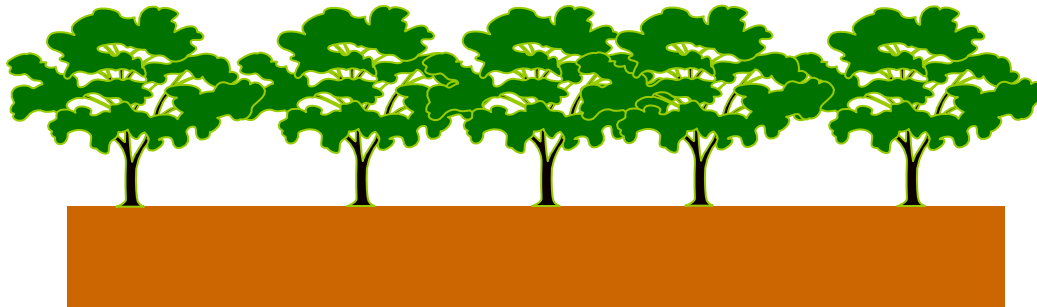
Végétation et climat



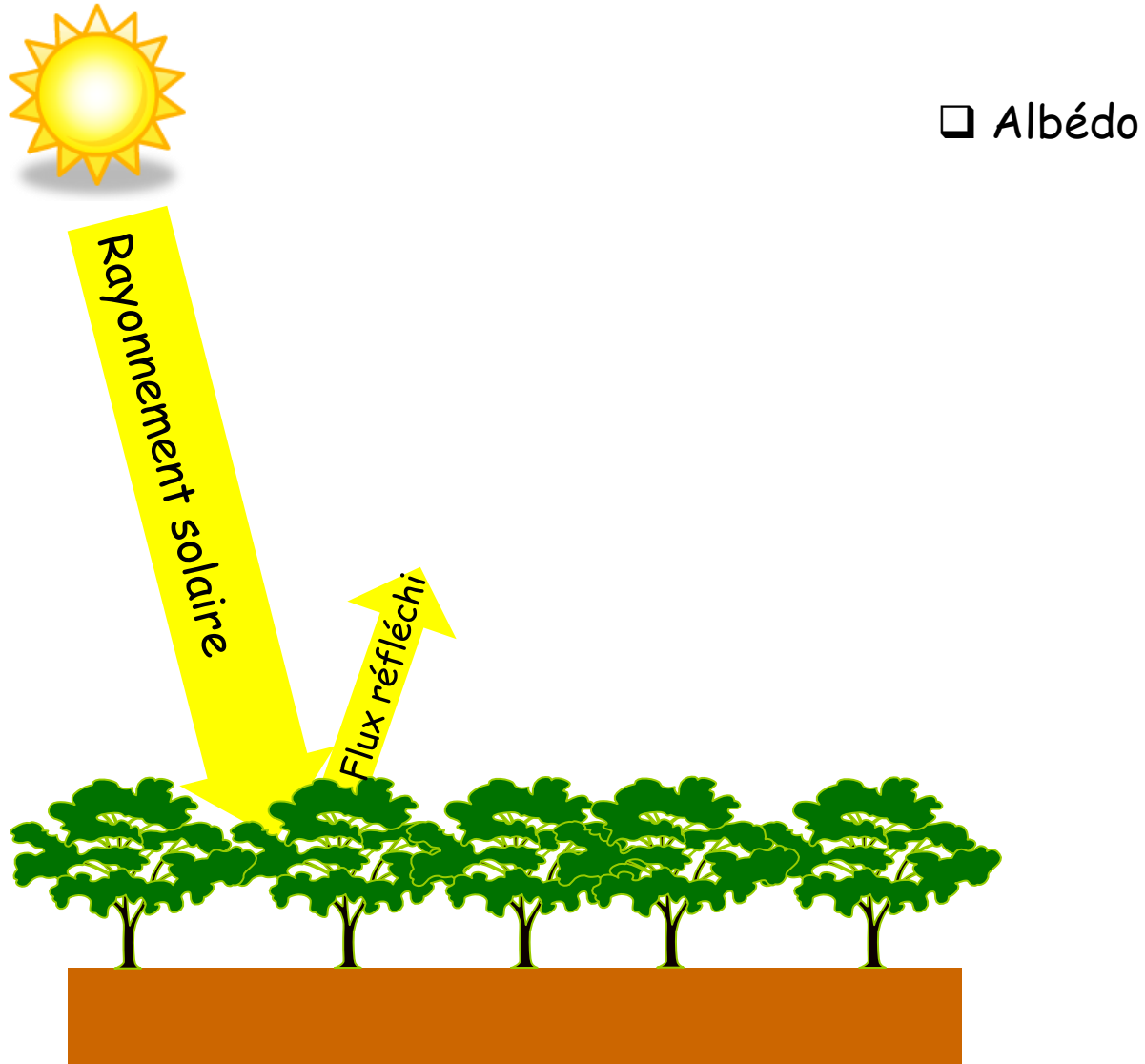
Climat:

- Rayonnement
- Températures
- Précipitations
- Vents

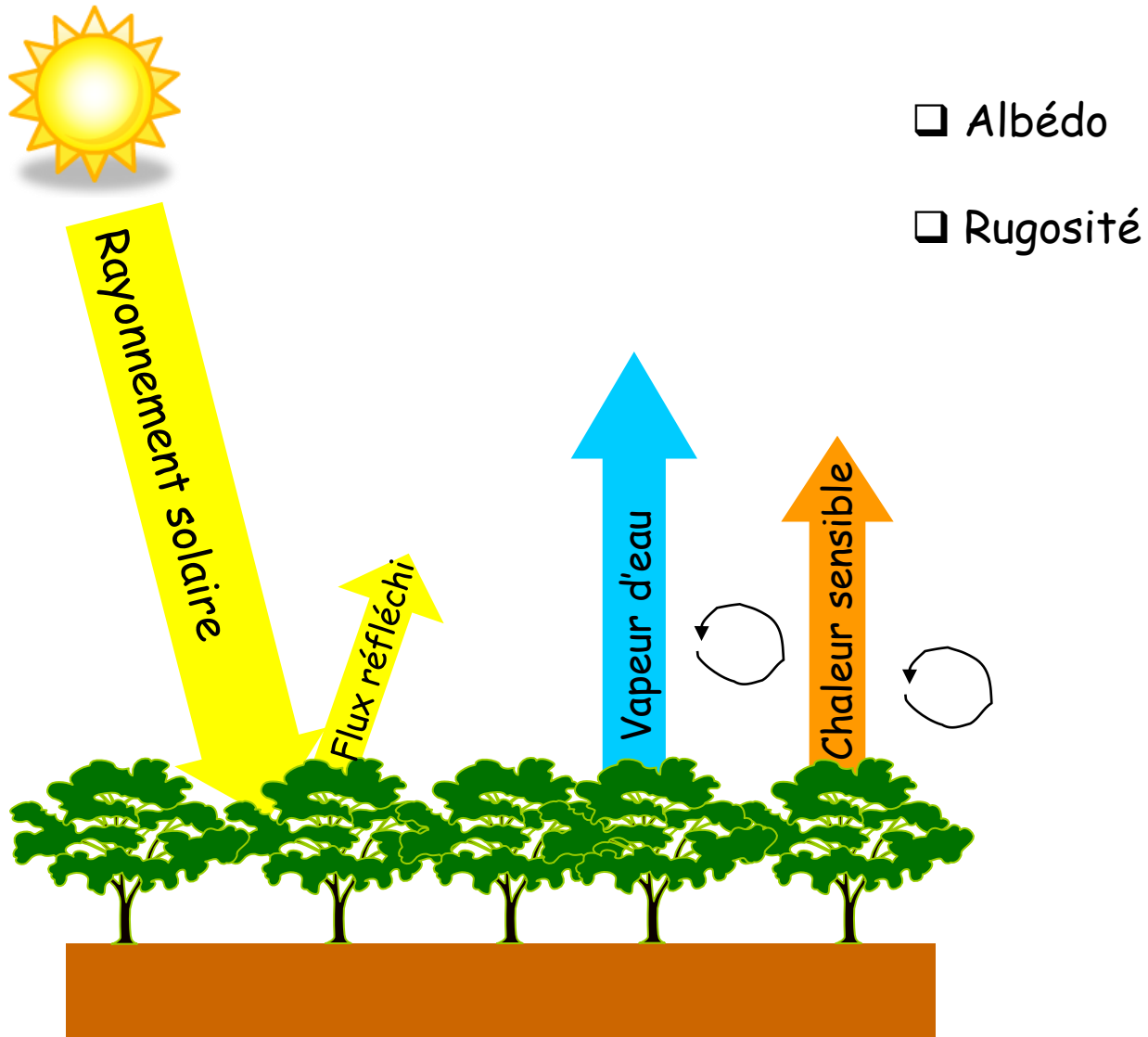
Flux biophysiques:
Énergie et eau



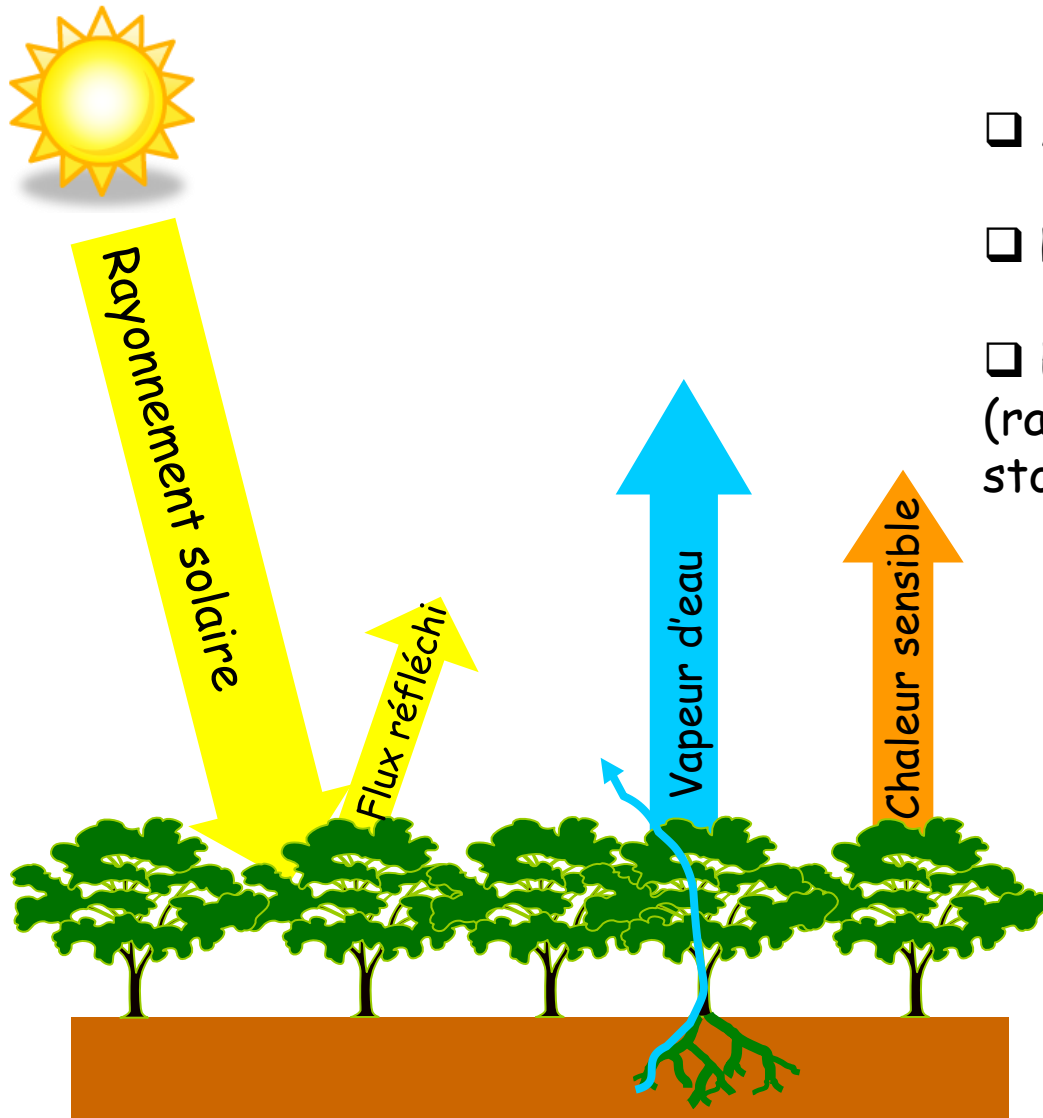
Influence biophysique de la végétation



Influence biophysique de la végétation



Influence biophysique de la végétation



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

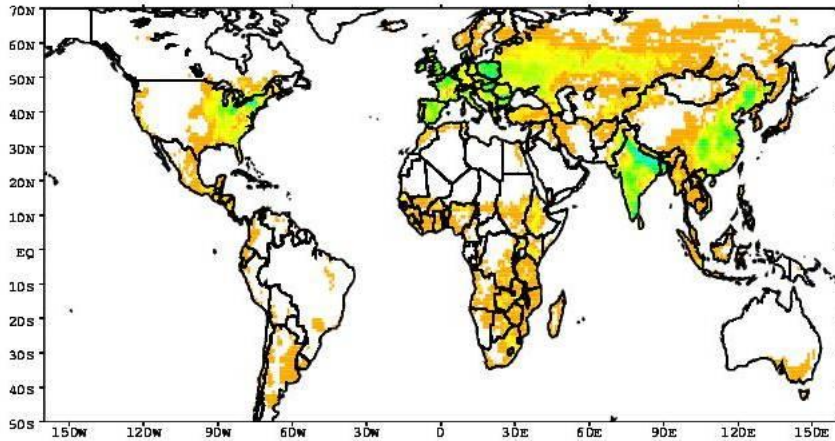
La surface va influencer sur le climat:

- 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 (CO₂, N₂O, CH₄)
 - Par l'impact sur la chimie de l'atmosphère

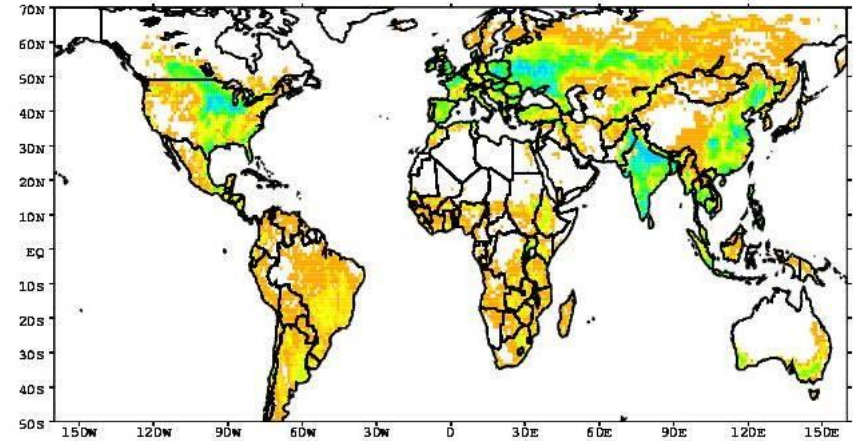
40% des surfaces continentales occupées par activités anthropiques.

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

pré-industriel

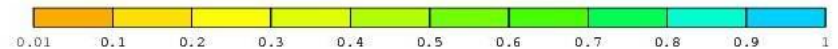
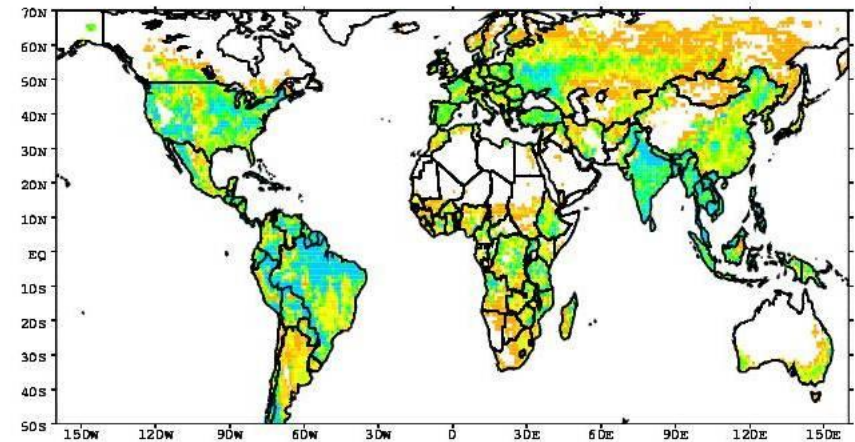


actuellement



*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

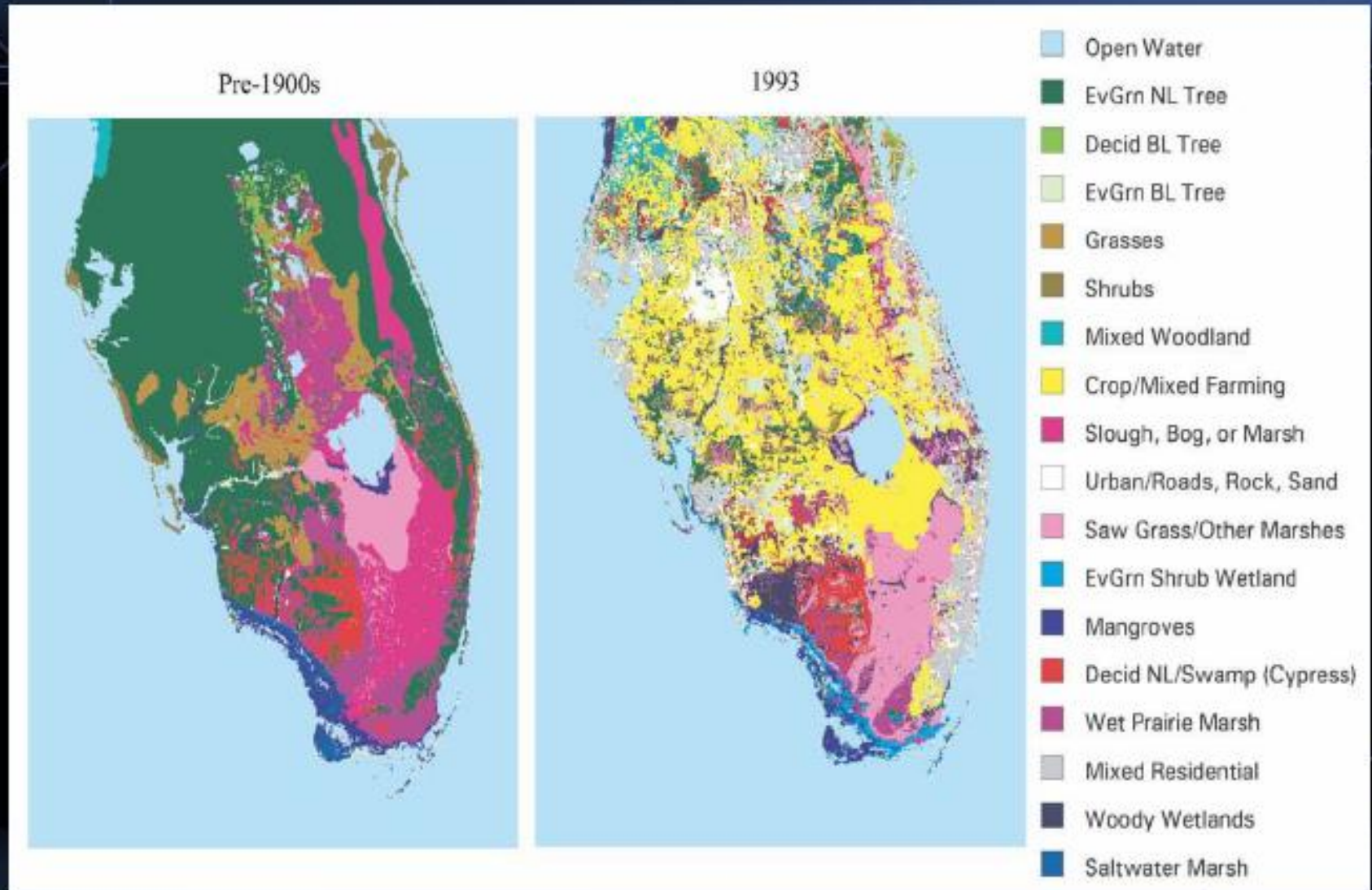
Marshall et al. (Nature 2003), Marshall et al. (Monthly Weather Review 2004)

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

afin

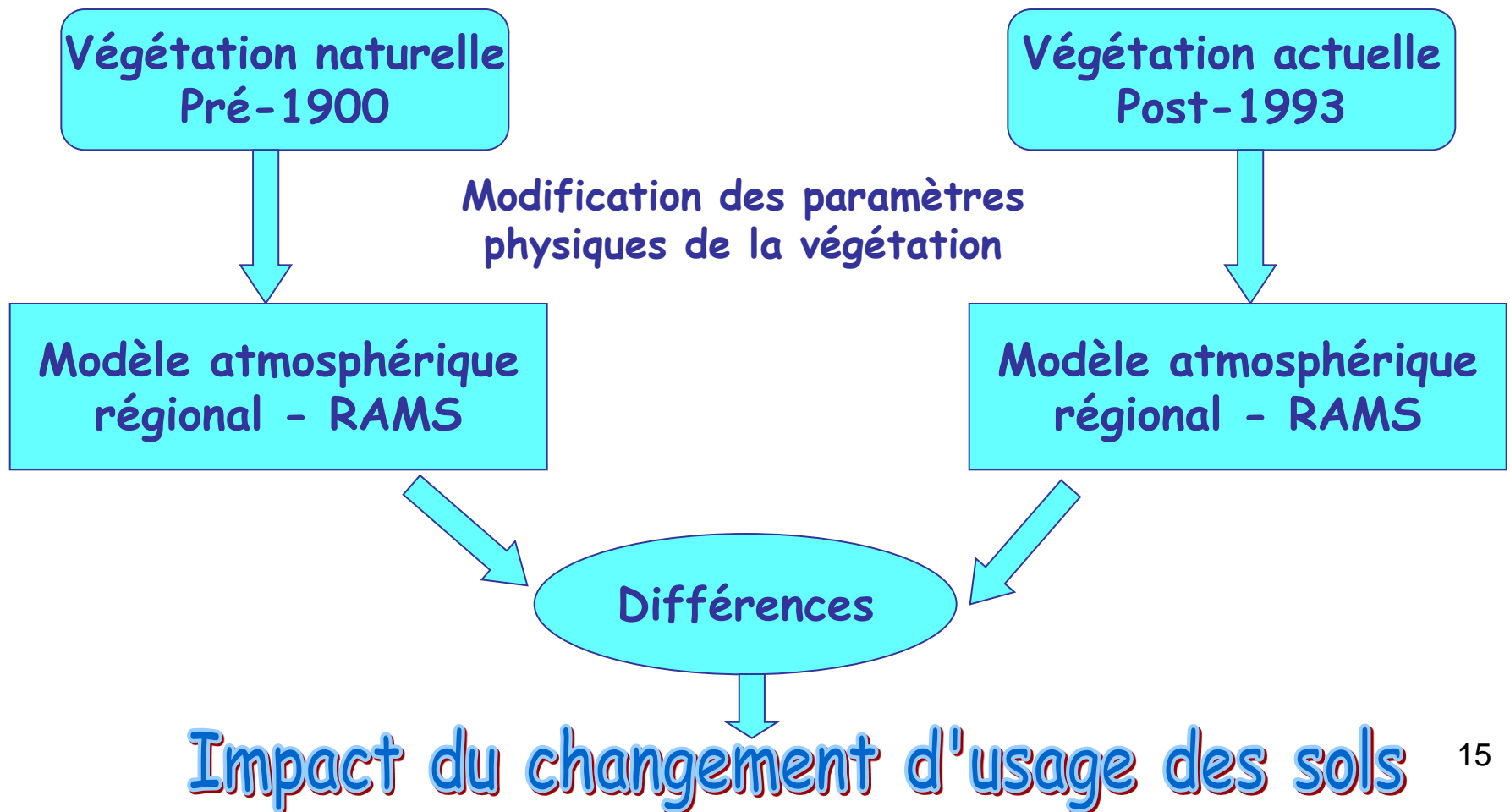
d'éviter les gelées dévastatrices
qui semblent moins fréquentes
dans ces nouvelles régions

en 1993, des cultures remplacent les marécages naturels

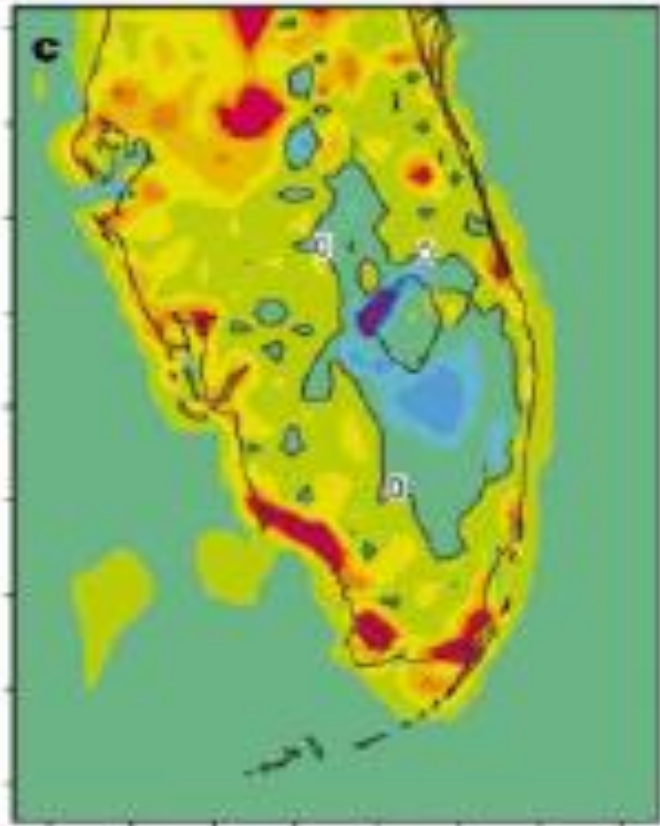


en 1997, des jours de gel intenses détruisent les récoltes

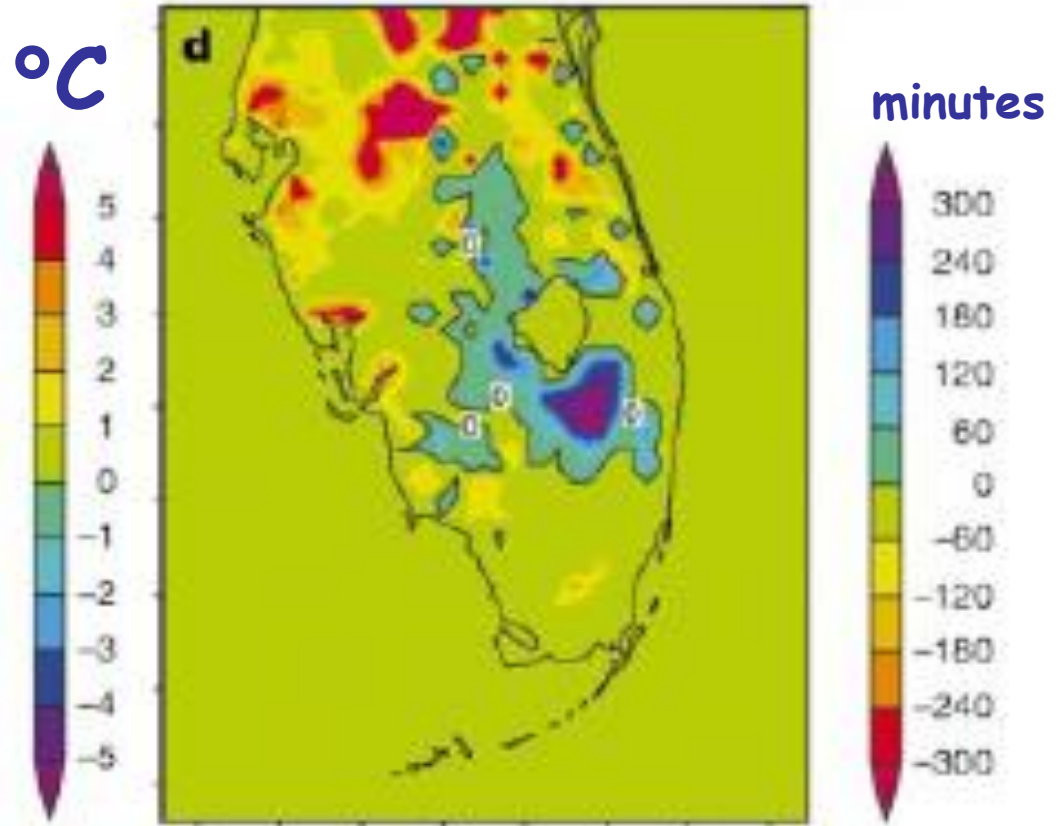
Ces jours de gel auraient-ils été aussi intenses si les marécages avaient été maintenus?



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



Températures plus froides après avoir drainé les marécages



Durée plus longue des gelées

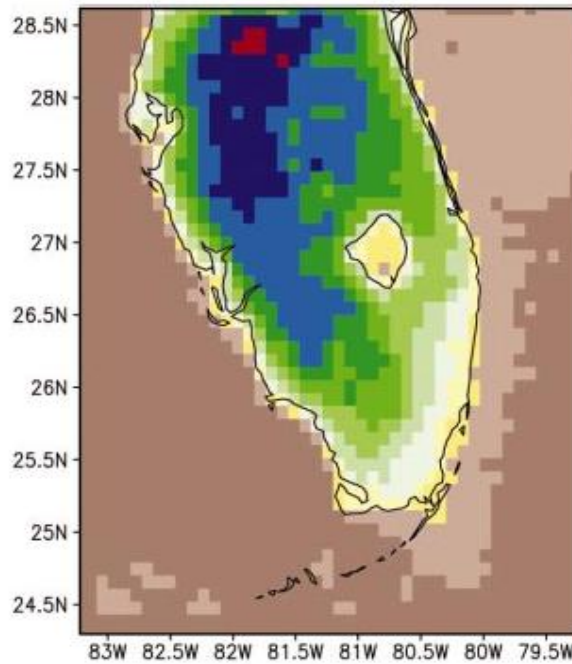
Pourquoi le drainage des zones marécageuses entraîne-t-il un refroidissement des surfaces et un allongement des périodes de gel?

- 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

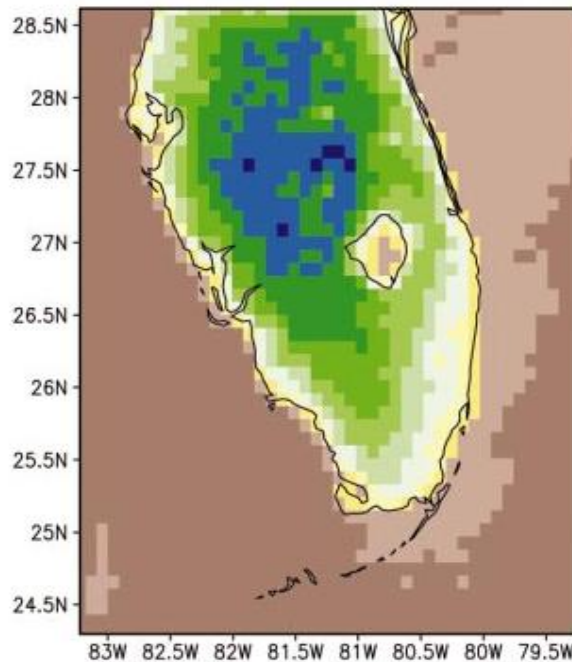
dans les

Précipitations convectives en Juillet-Août (mm)

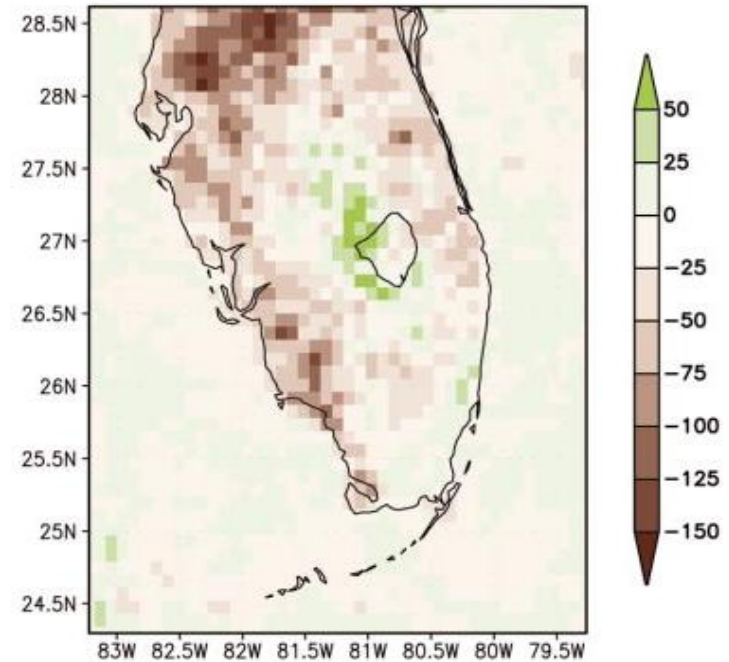


avant 1993

cultivé - marécages



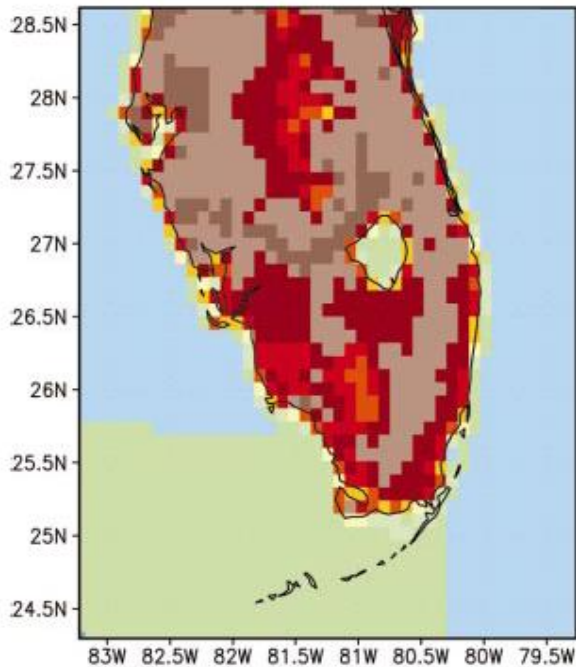
après 1993



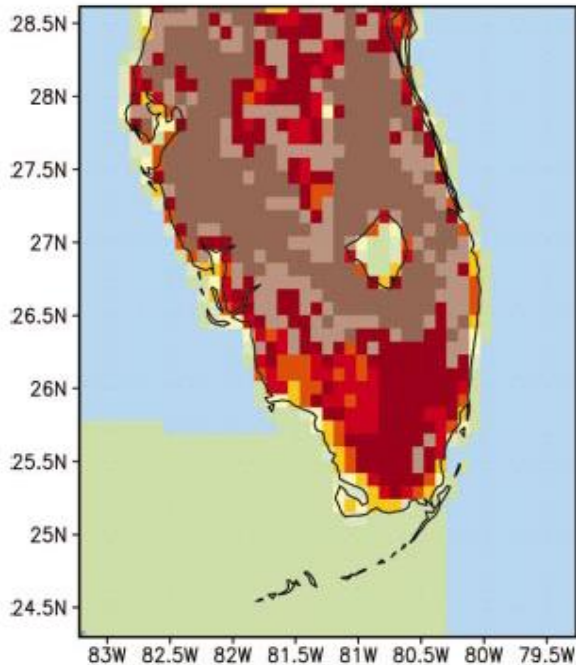
Les effets de ce drainage de marécages se voient également en été

dans les

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

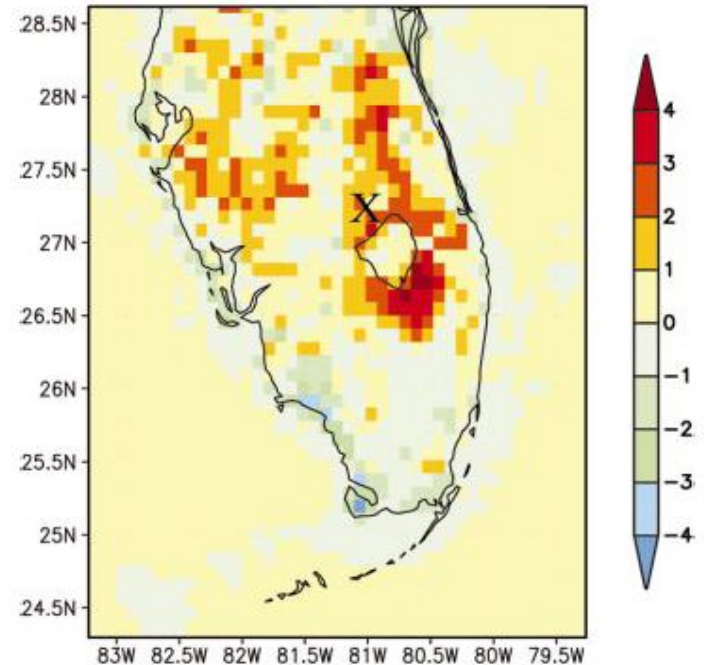


avant 1993



après 1993

cultivé - marécages



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

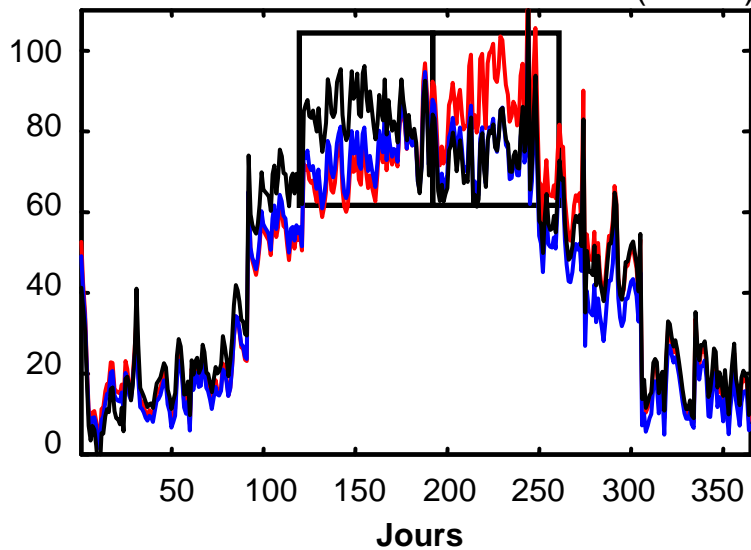
une décision contre-productive.

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

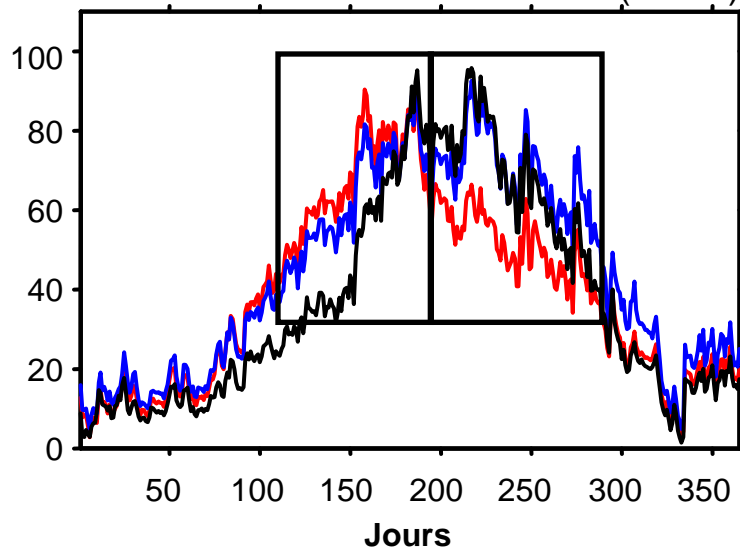
Exemple de la modélisation de
l'impact des cultures sur le climat:
comparaison prairie/culture

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

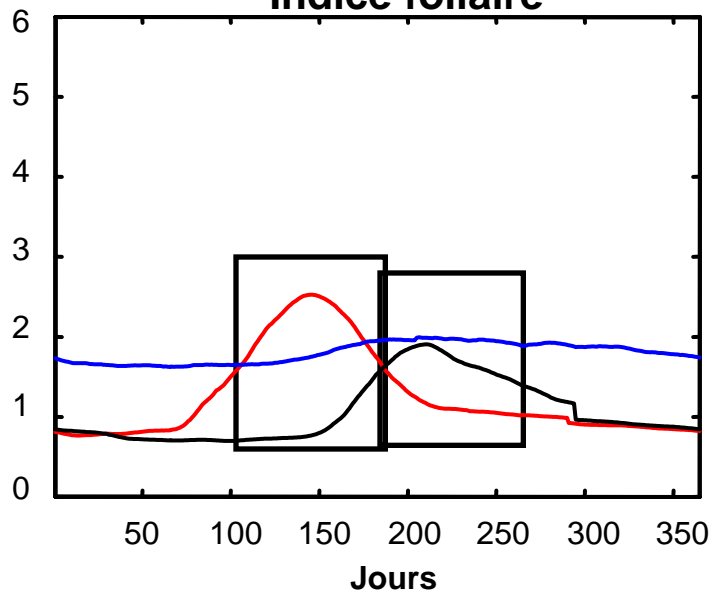
Flux de chaleur sensible ($W.m^{-2}$)



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



Indice foliaire



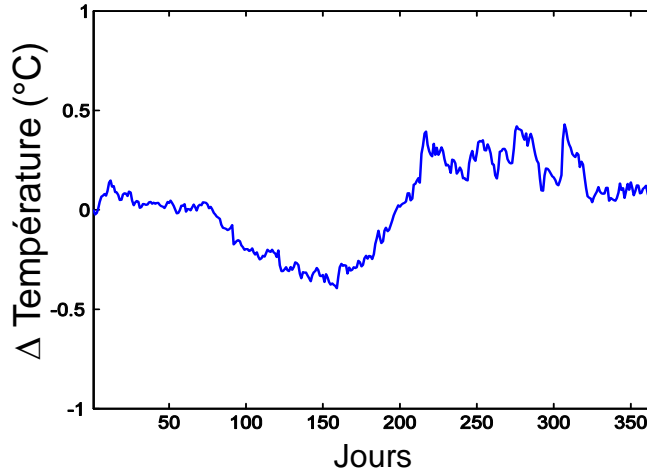
blé

soja

Couvert herbacé

La température de surface

Différences blé - prairie moyenne sur l'Europe



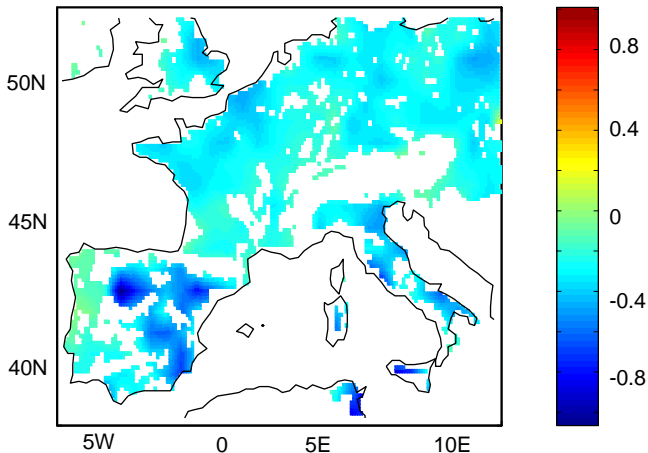
- Une diminution de la température de surface avec le blé pendant le plein développement du blé (mars – juin)
- + Une augmentation de la température de surface en été et au début de l'automne (le blé a fini son cycle; les terres en blé sont alors sans végétation)

Jours



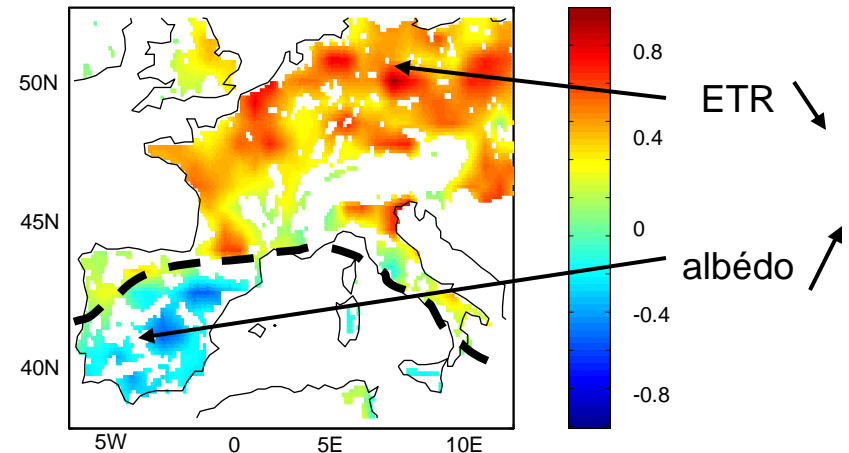
Δ Température de surface (°C)

jour 101 – jour 200



Δ Température de surface (°C)

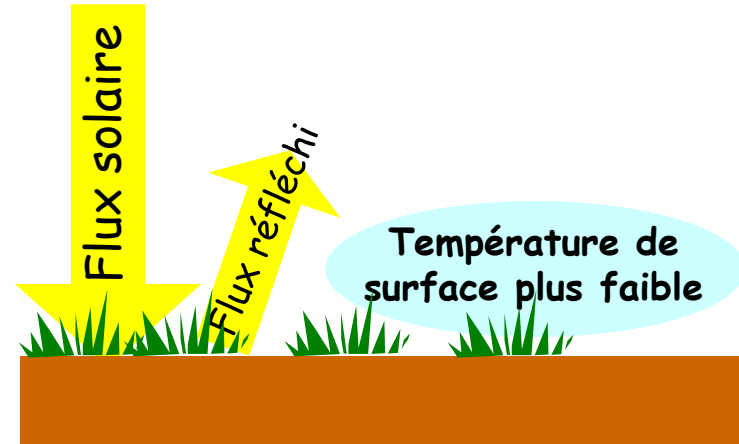
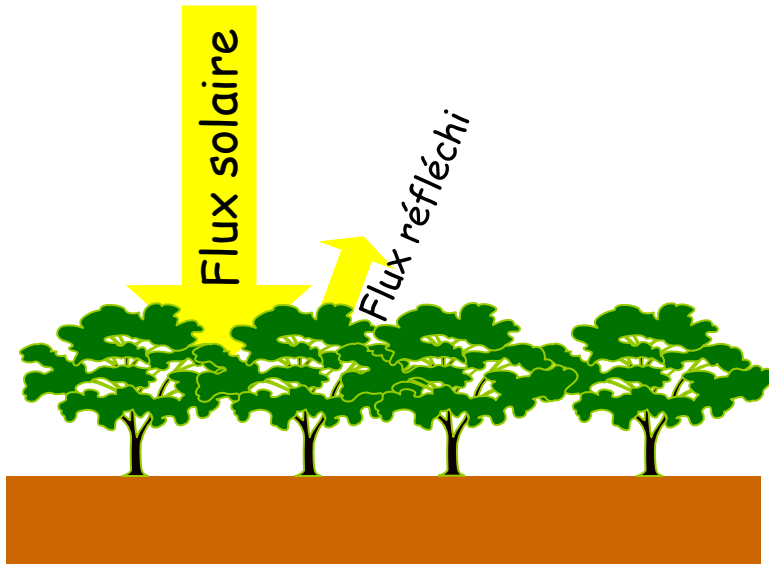
jour 201 – jour 300



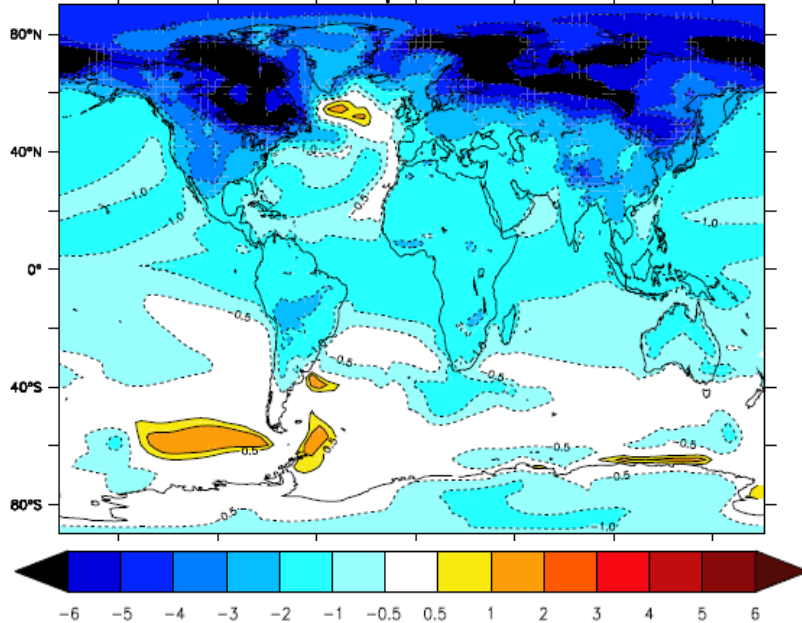
Expériences idéalisées

- ❑ 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

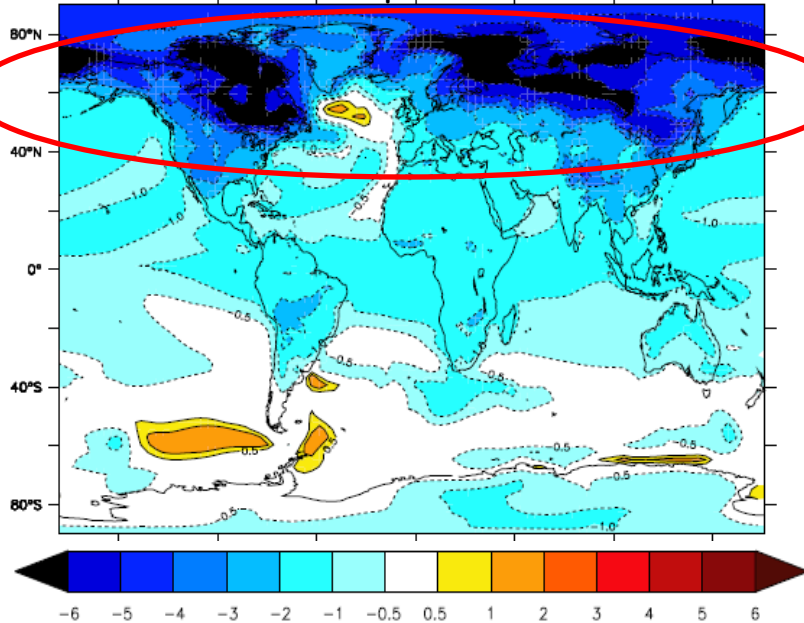


simulation qui limite l'effet de la déforestation au changement d'albédo

Rôle de l'albédo de surface



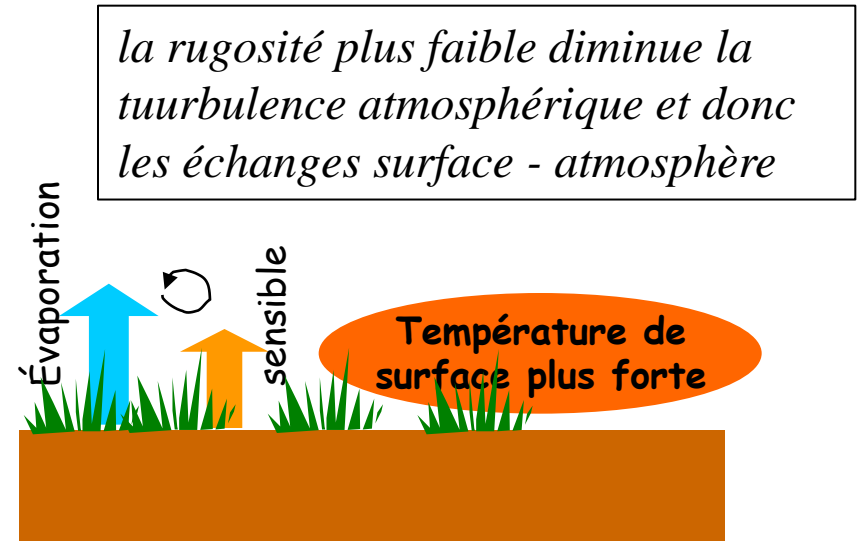
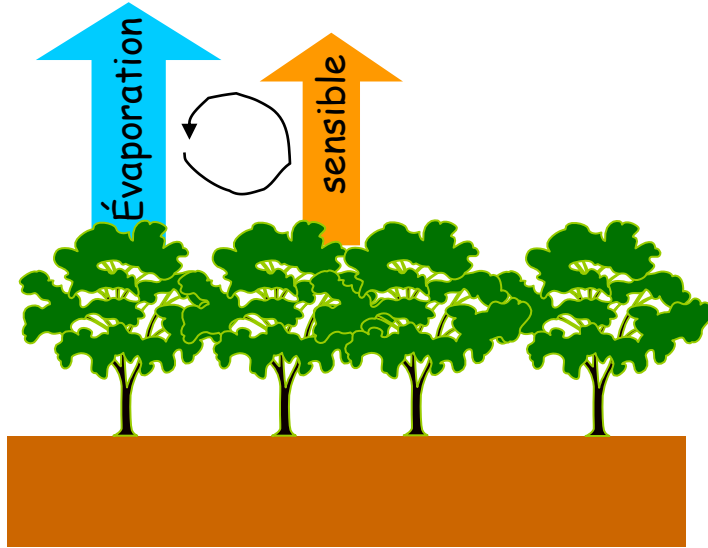
Anomalie de température de surface



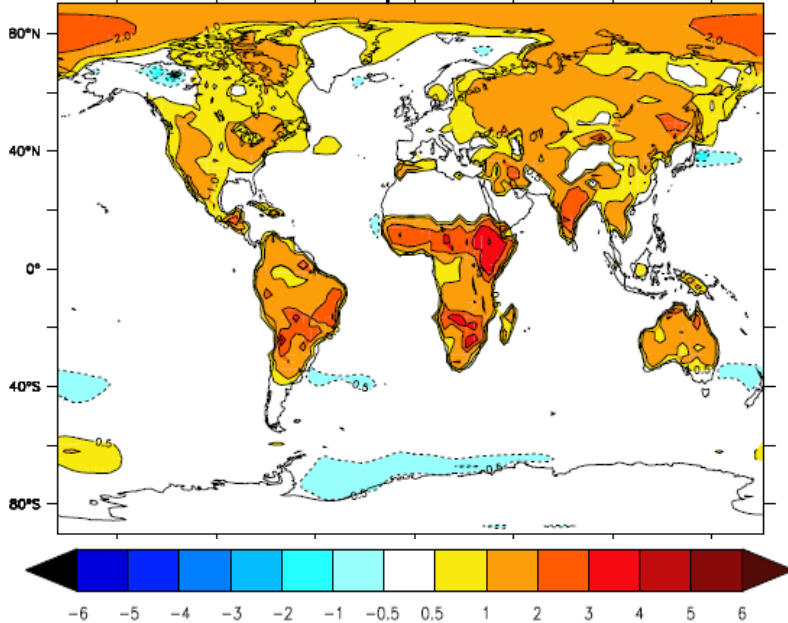
↑

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

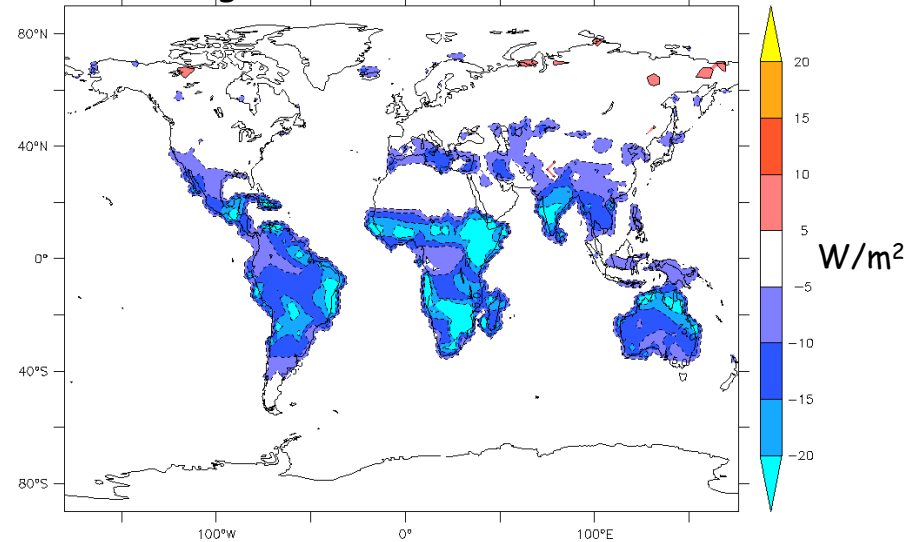
Rôle de la rugosité



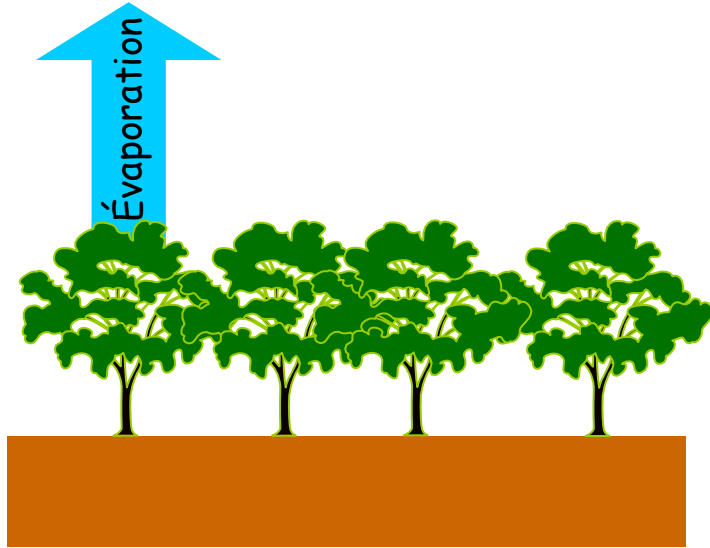
Anomalie de température de surface



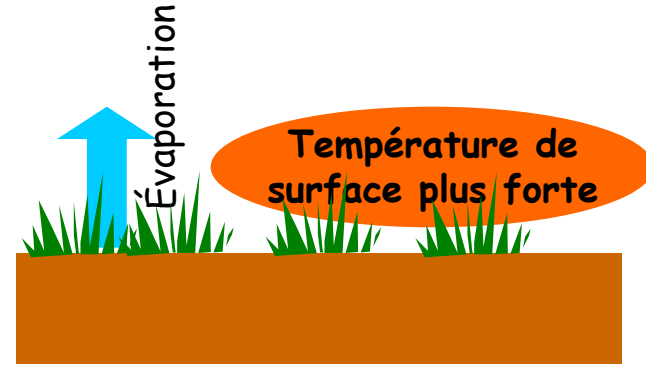
Changement des flux turbulents



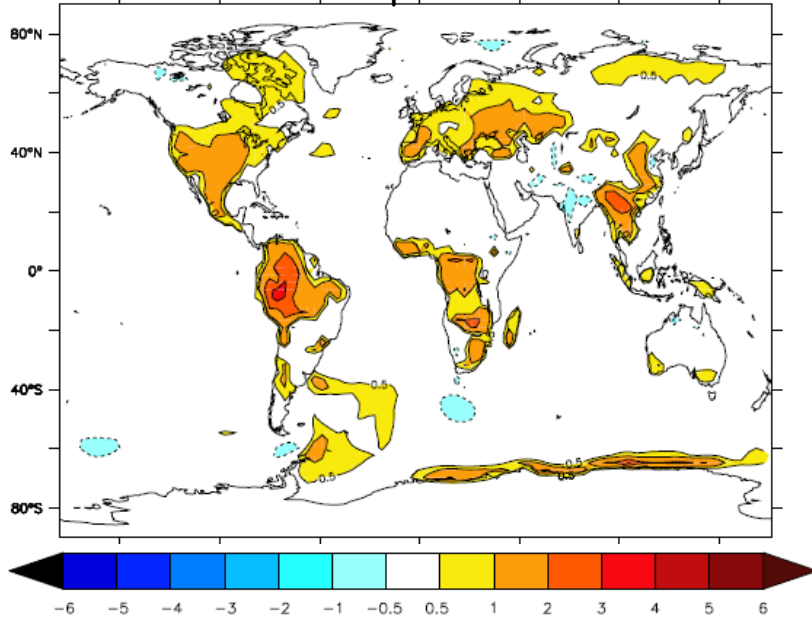
Rôle de l'efficacité évaporative



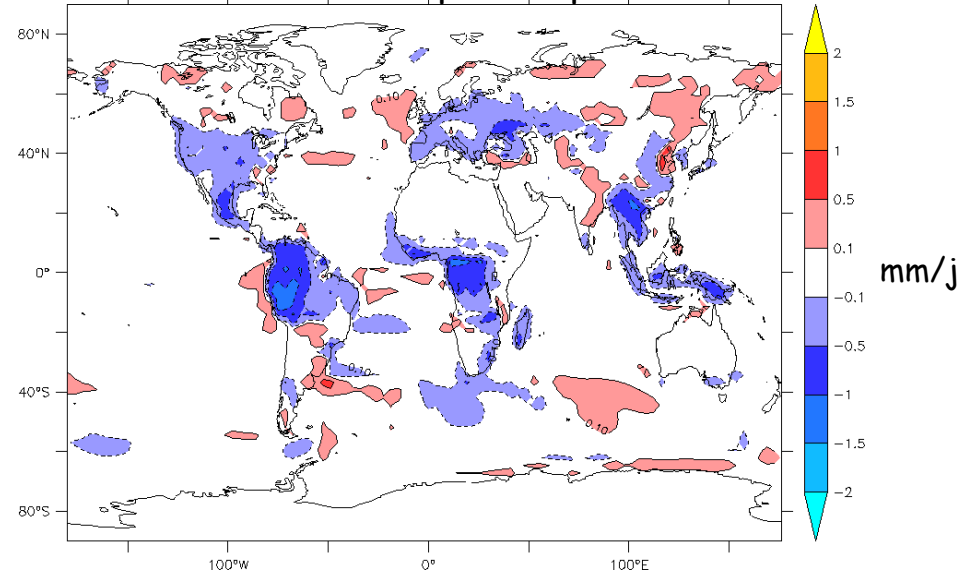
effet très inférieur à l'effet d'albédo



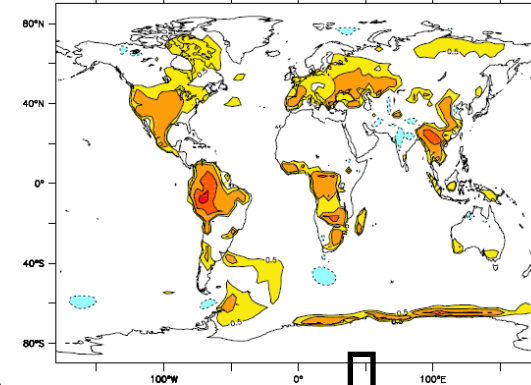
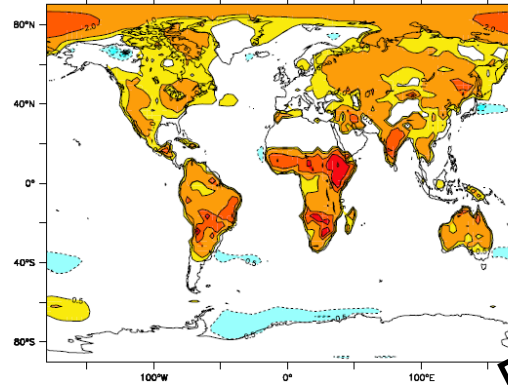
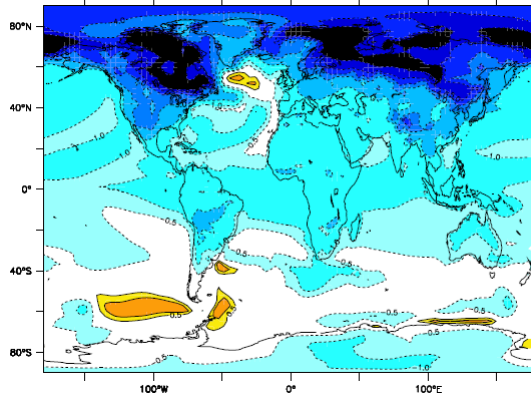
Anomalie de température de surface



Anomalie d'évapotranspiration



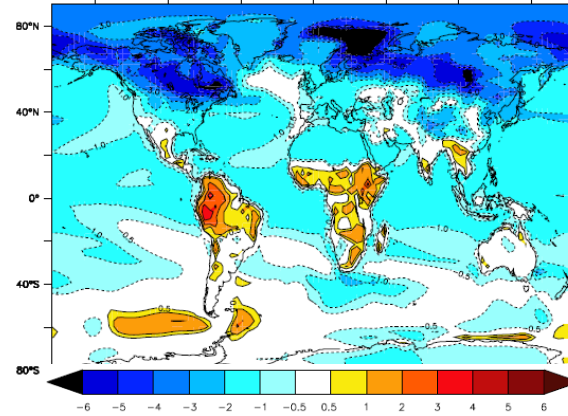
Deux types de processus très différents



Changement d'albédo	Changement de rugosité et d'efficacité évaporative
<input type="checkbox"/> Effet refroidissant	<input type="checkbox"/> Effet réchauffant
<input type="checkbox"/> Effet sur les continents et sur les océans	<input type="checkbox"/> Effet localisé sur les continents
<input type="checkbox"/> Effet plus marqué dans les régions froides	<input type="checkbox"/> Effet légèrement plus marqué dans les régions chaudes à forte évaporation
<input type="checkbox"/> Déséquilibre énergétique au sommet de l'atmosphère -> <u>forçage radiatif</u>	<input type="checkbox"/> Pas de déséquilibre énergétique au sommet de l'atmosphère -> <u>forçage non-radiatif</u>

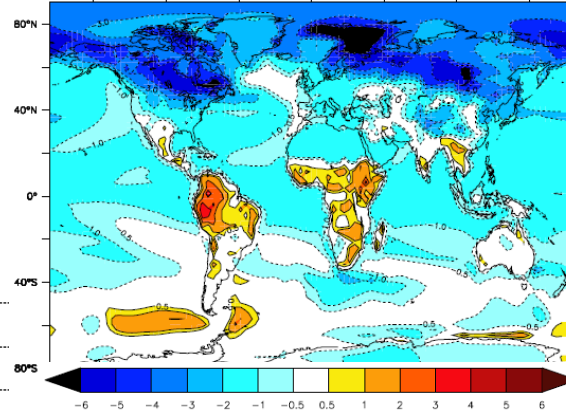
Effet biophysique total de la déforestation

Anomalie de température de surface

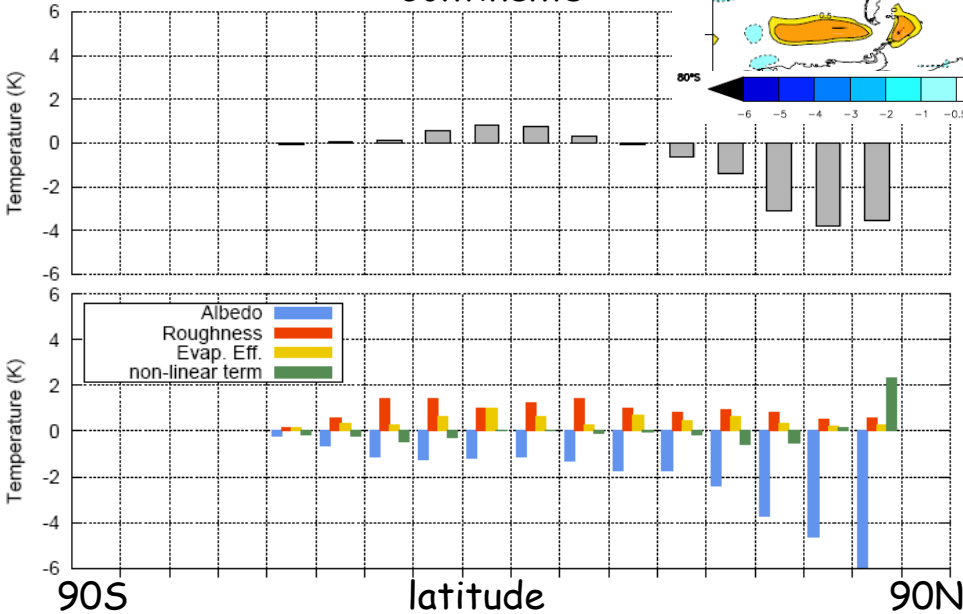


Effet biophysique total de la déforestation

Anomalie de température de surface



Continents



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

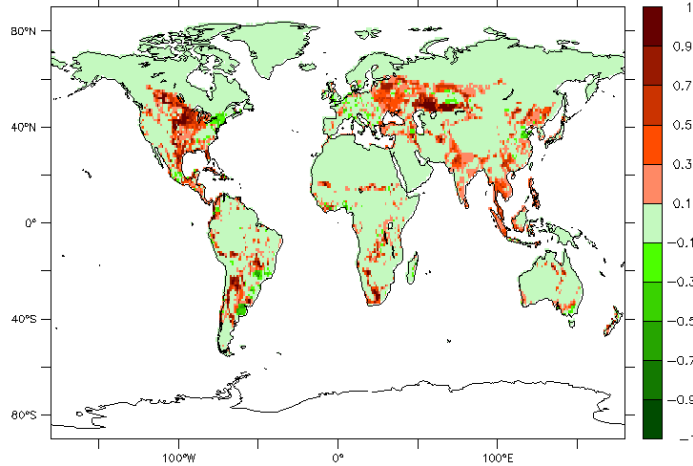
❑ Réchauffement dans les tropiques: effet non-radiatif dominant

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

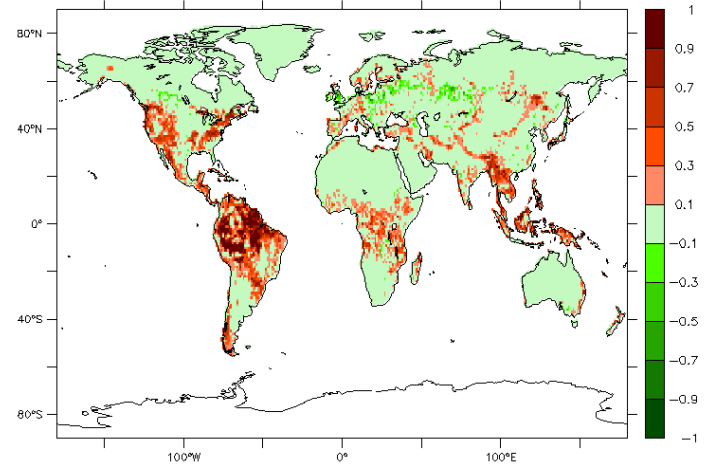
Conséquence du changement de l'utilisation des terres entre passé/présent Et présent/futur

Changement des surfaces cultivées

PRES – PASSE (observé)

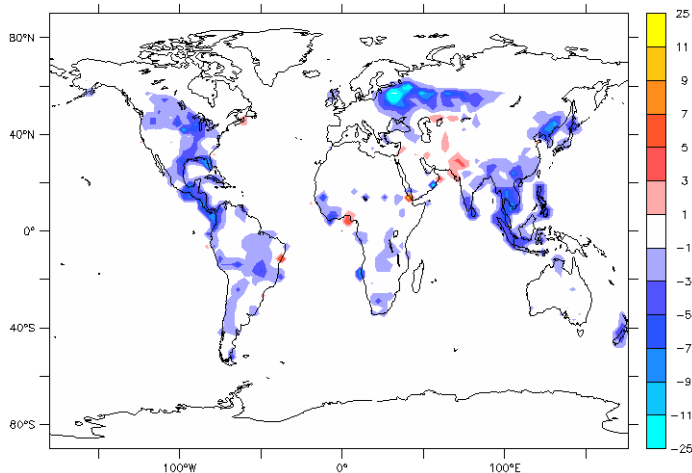


FUTU – PRES (simulé par IMAGE)

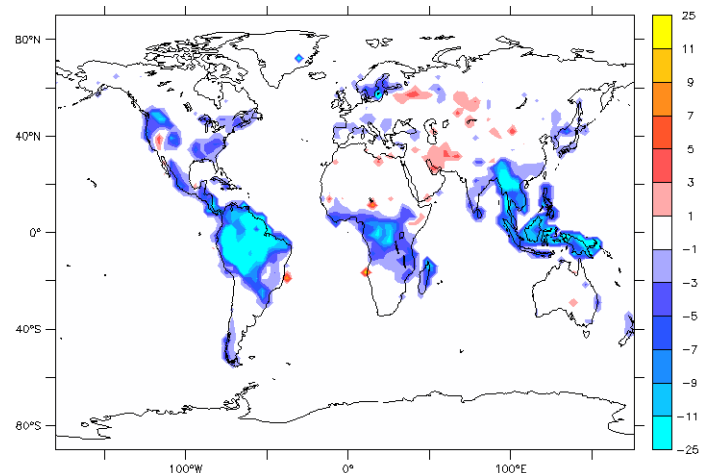


Changement du forçage radiatif (albedo + vapeur d'eau)

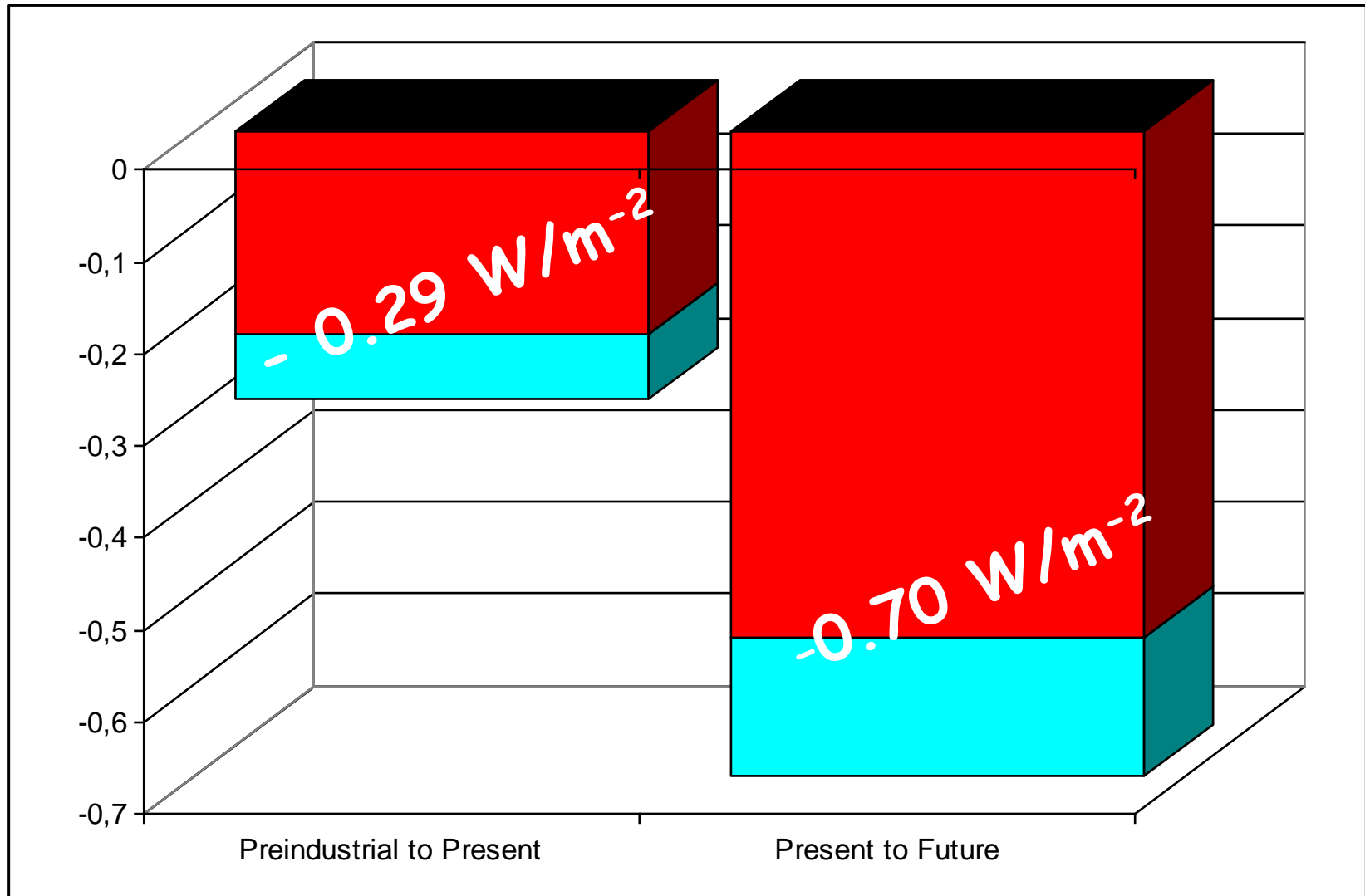
PRES – PASSE



FUTU - PRES



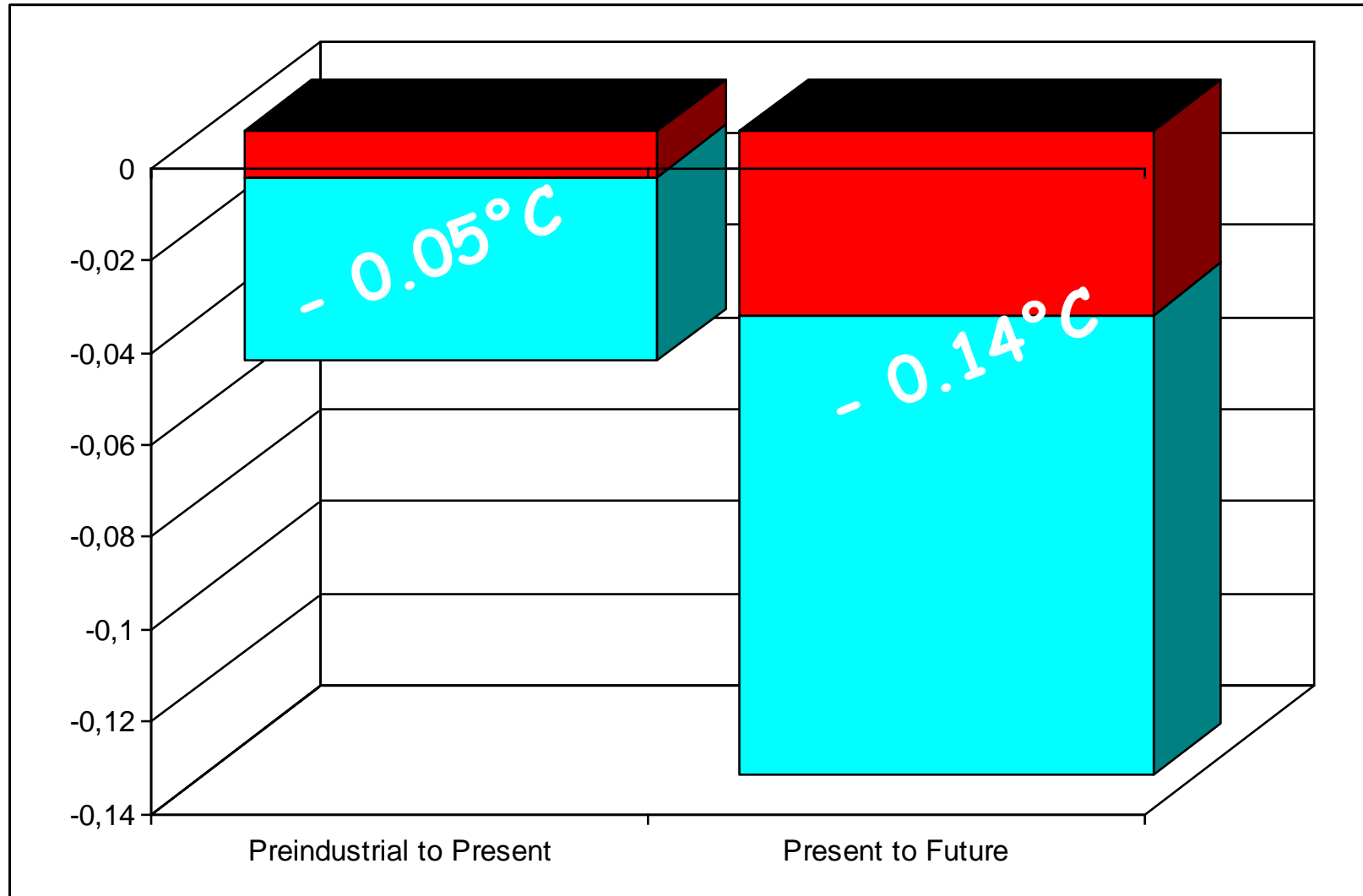
Changement du forçage radiatif global (W/m^{-2})



Changement d'albédo

Changement d'évapotranspiration

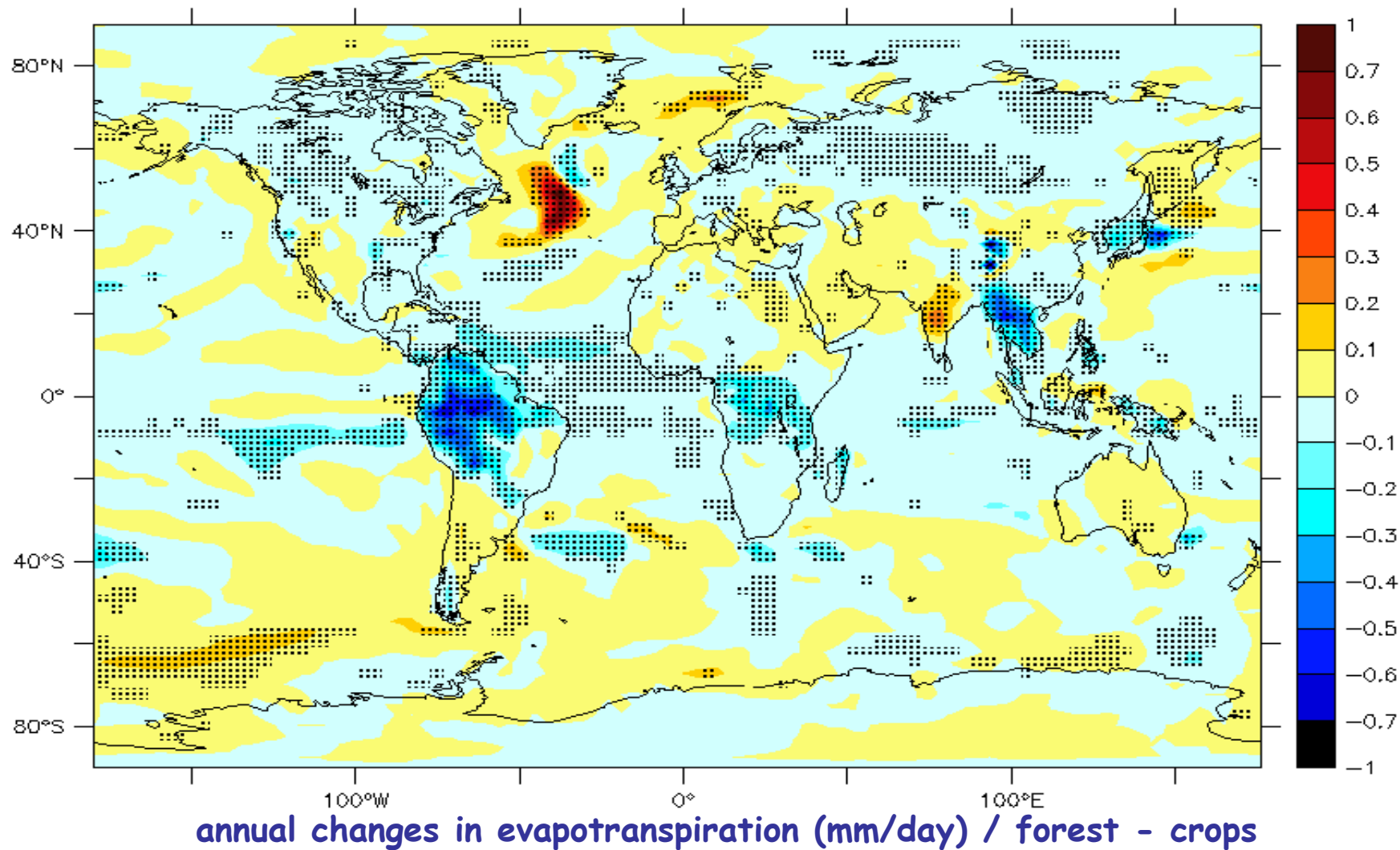
Changement de la température moyenne globale (°C)



Changement d'albédo

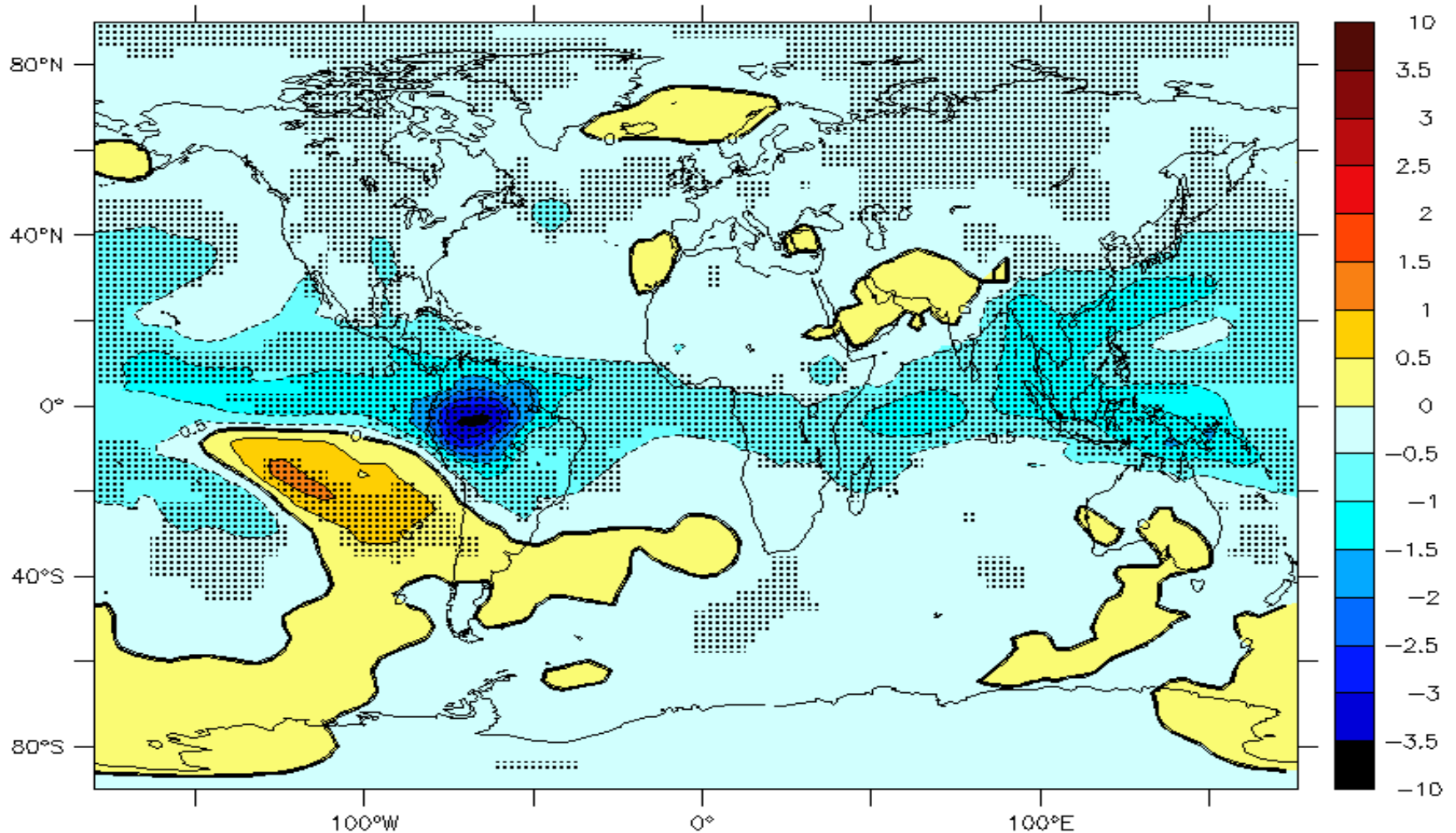
Changement d'évapotranspiration

Changement du cycle hydrologique: Une diminution de l'évapotranspiration



Changement du cycle hydrologique:

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

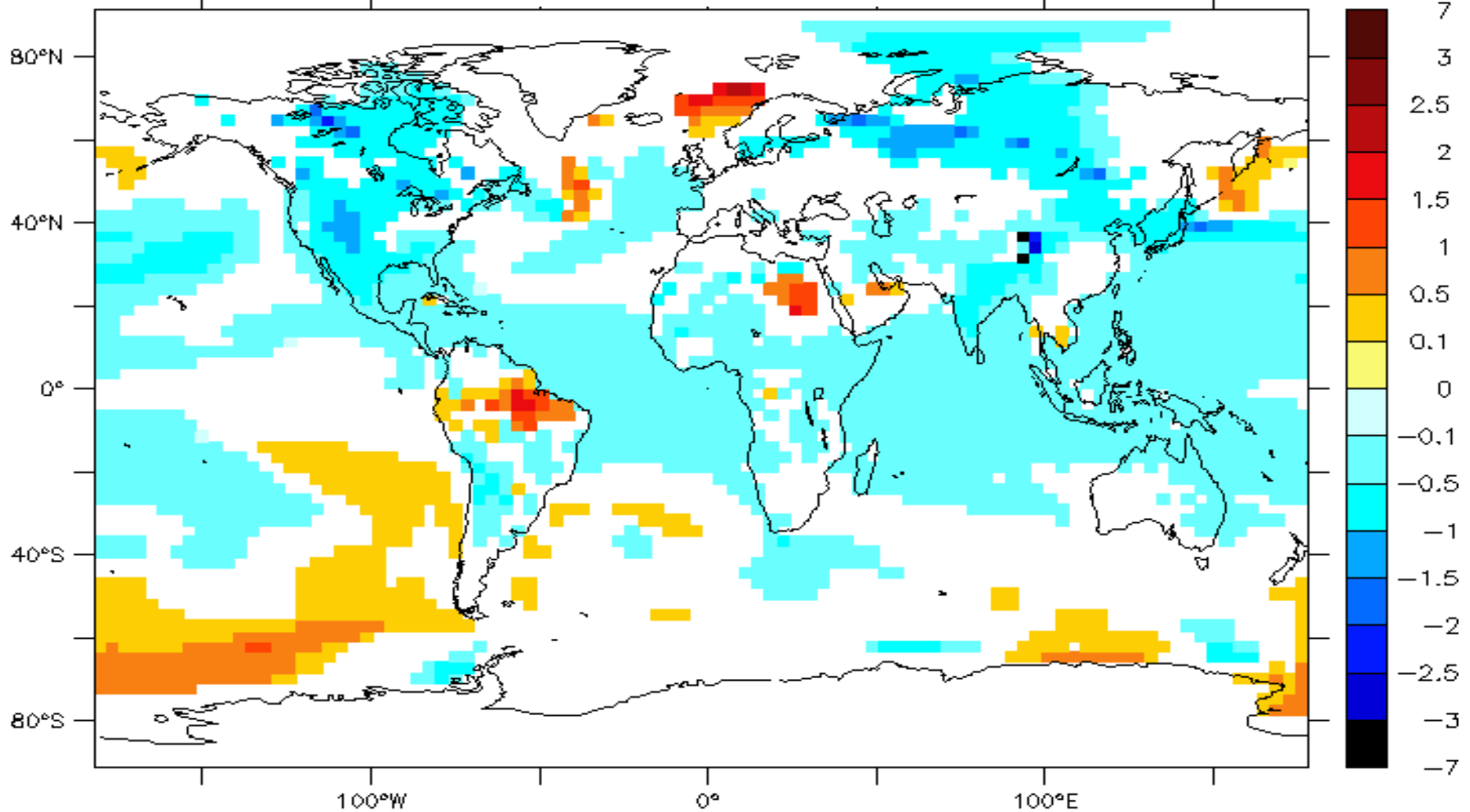


annual changes in precipitable water (kg/m²) / forest - crops

Consequences de la déforestation tropicale:

Un refroidissement

Dû à la combinaison des effets radiatifs et hydrologiques

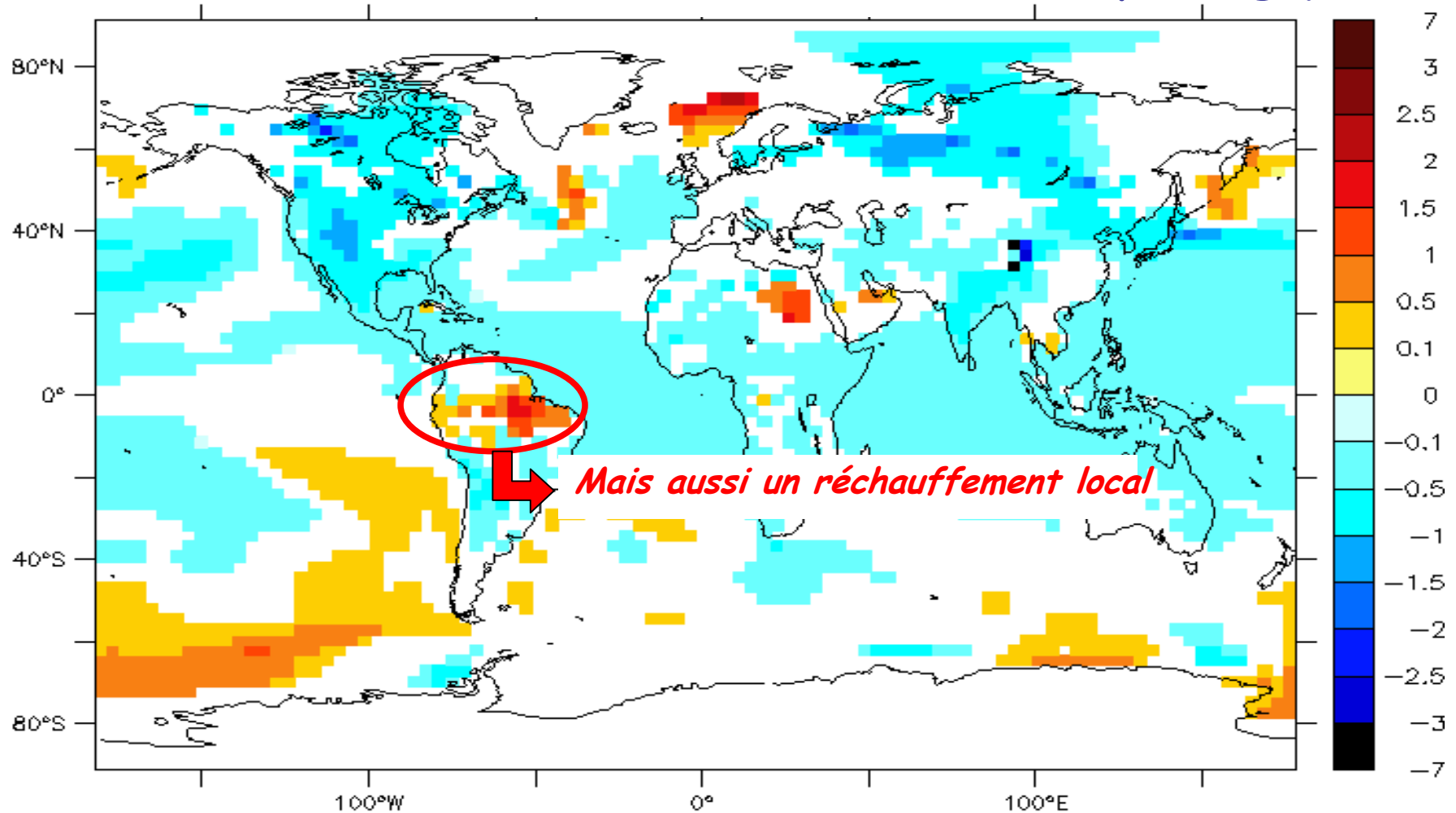


annual changes in surface air temperature (°C) / forest - crops

Consequences de la déforestation tropical:

Un refroidissement

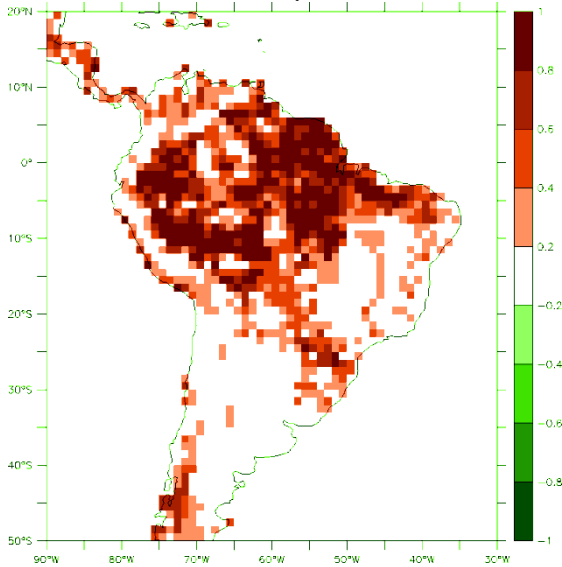
Due à combinaison des effets radiatifs et hydrologiques



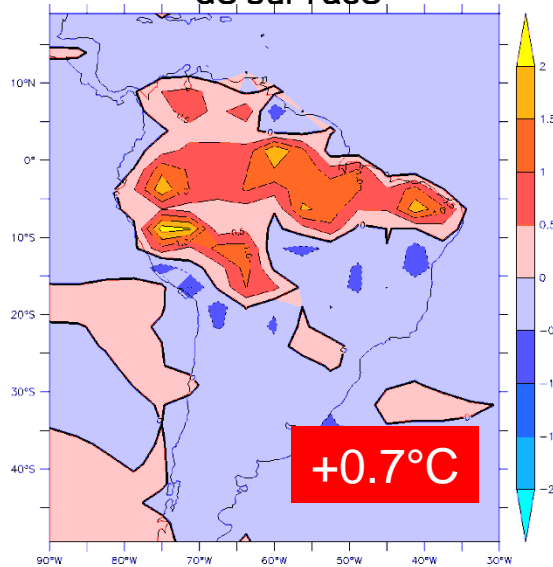
annual changes in surface air temperature (°C) / forest - crops

Impact régional de la déforestation amazonienne

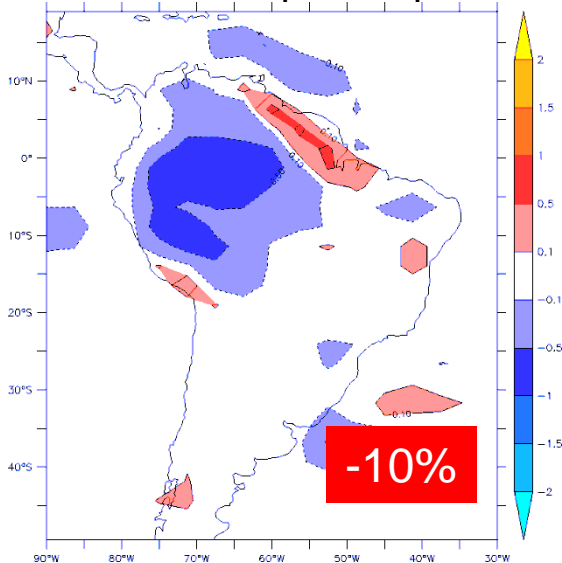
Fraction déforestée



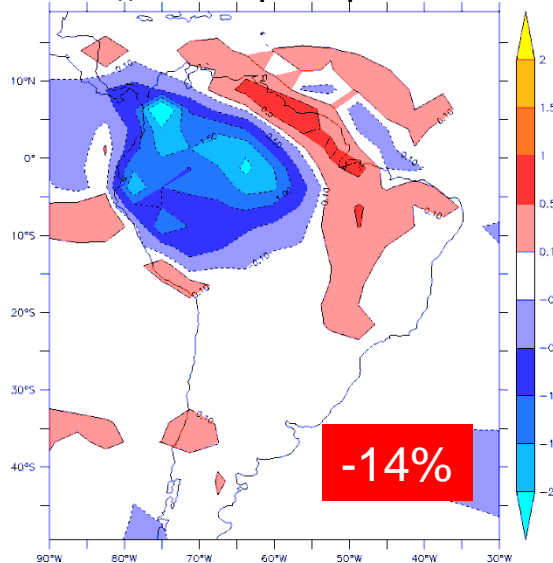
Anomalie de température de surface



Anomalie d'évapotranspiration



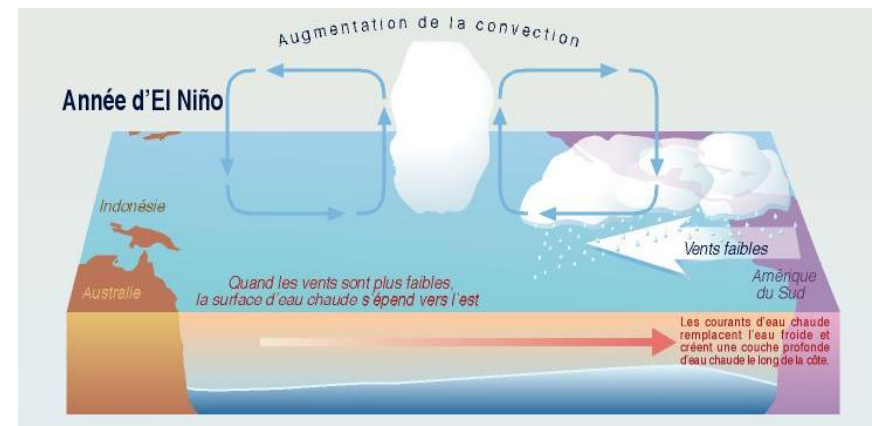
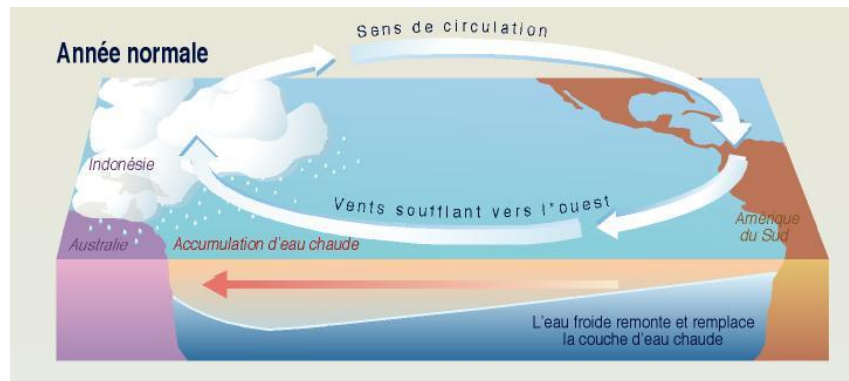
Anomalie de précipitations



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

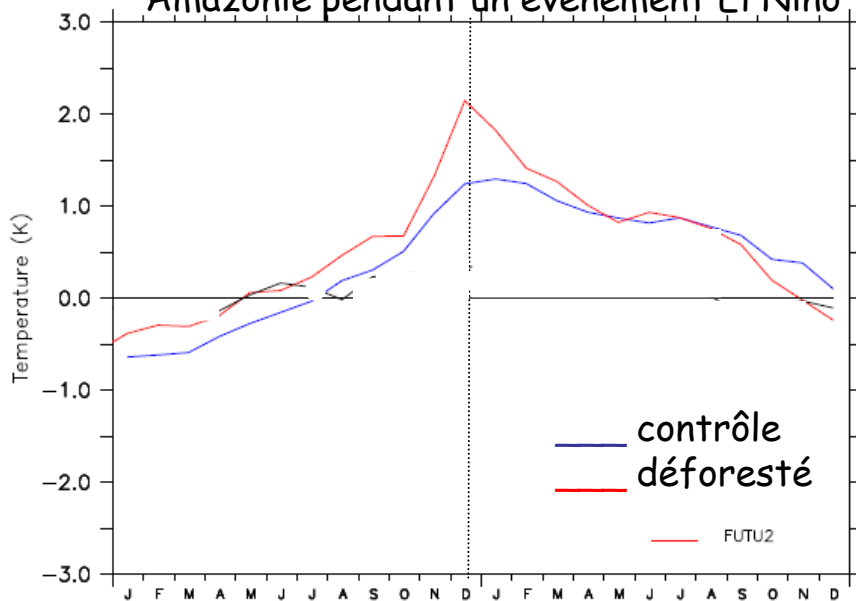
- ❑ La variabilité du climat est particulièrement importante pour les écosystèmes et la population humaine.
- ❑ Dans les tropiques, et notamment en Amazonie, un des principaux modes de variabilité à l'échelle interannuelle est le phénomène El Niño.



- ❑ 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

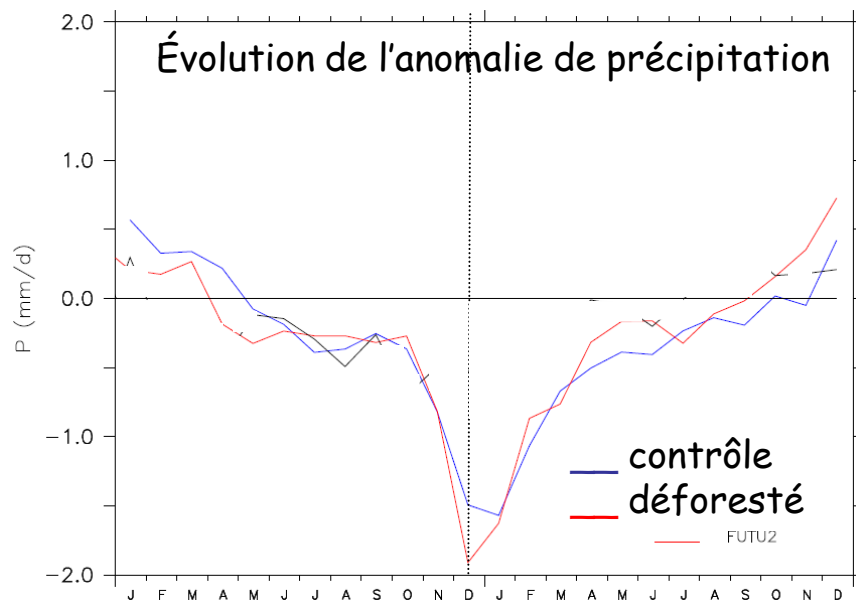
Évolution de l'anomalie de température en Amazonie pendant un événement El Niño



□ 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

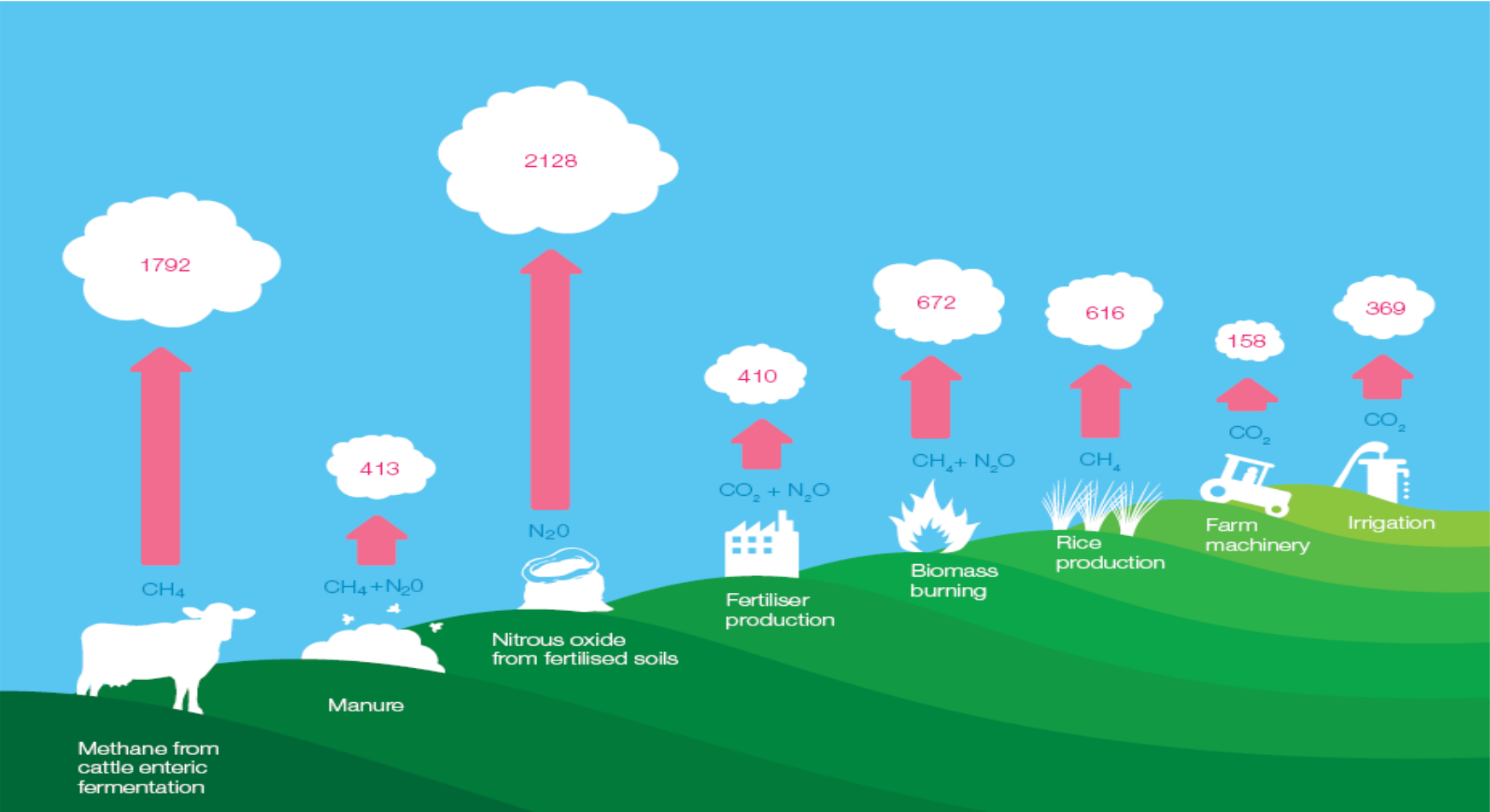


□ El Niño correspond également à une anomalie de sécheresse sur l'Amazonie.

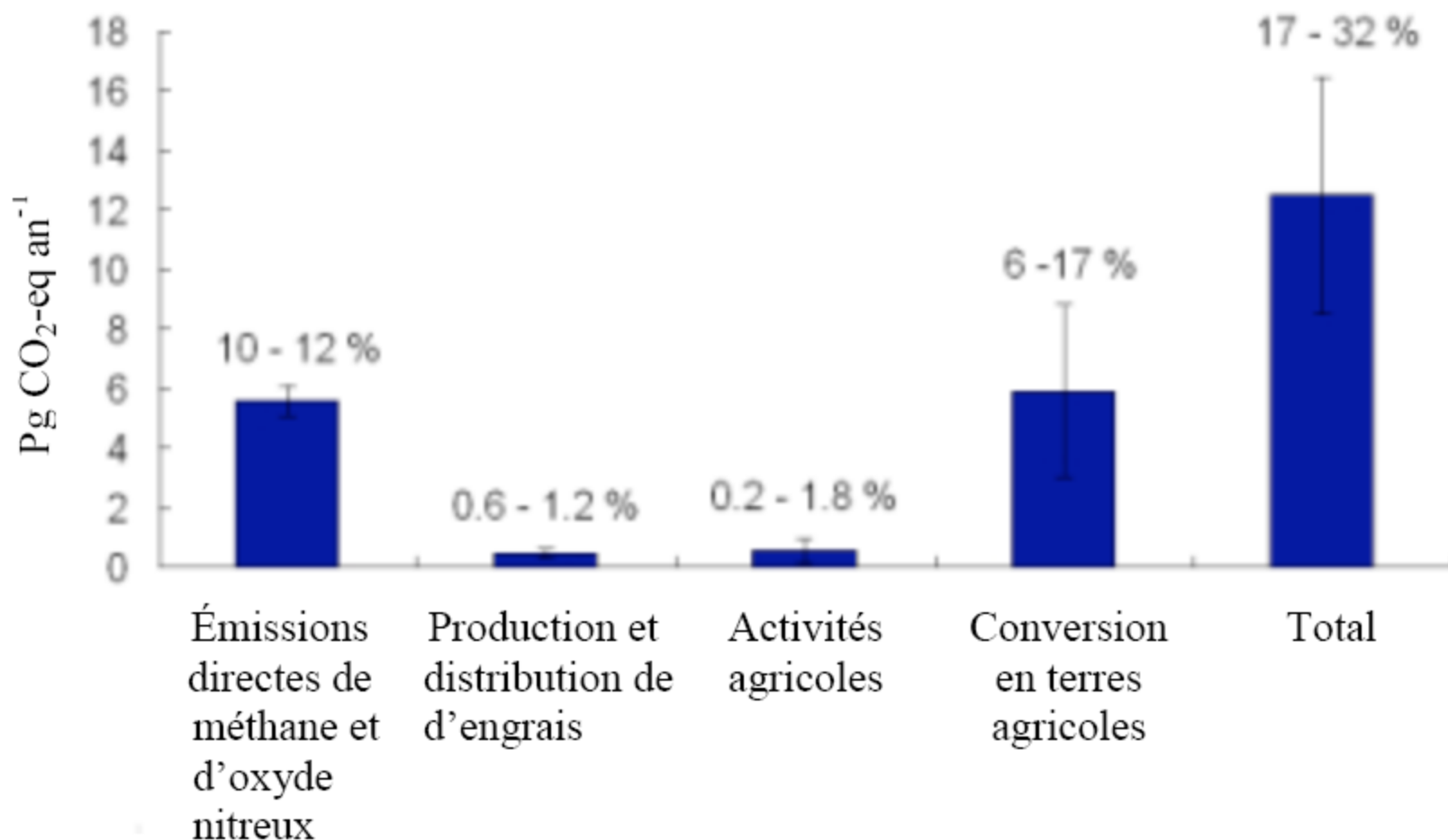
Mise en évidence de l'impact
indirect de l'agriculture sur le climat

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

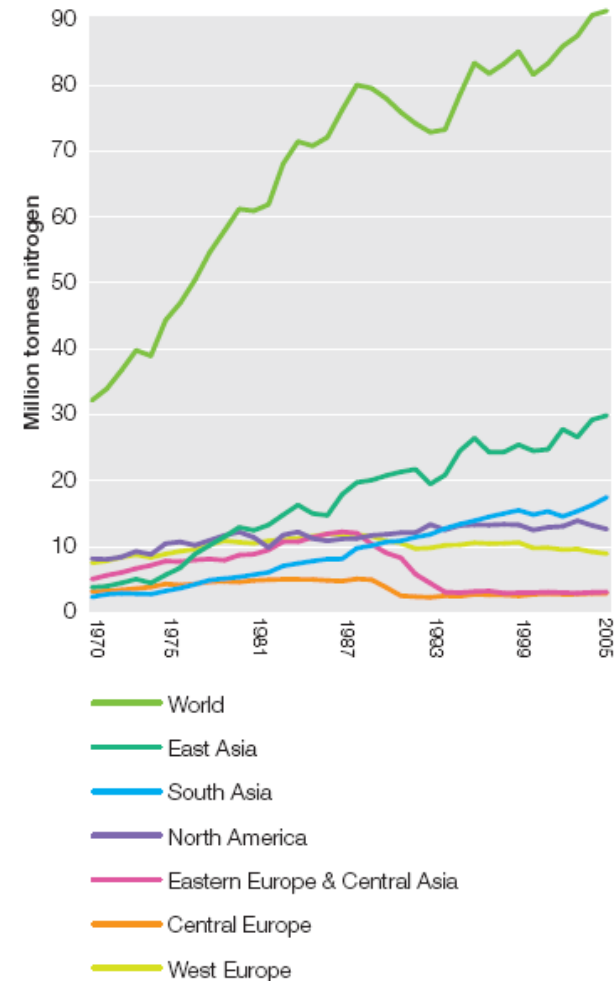
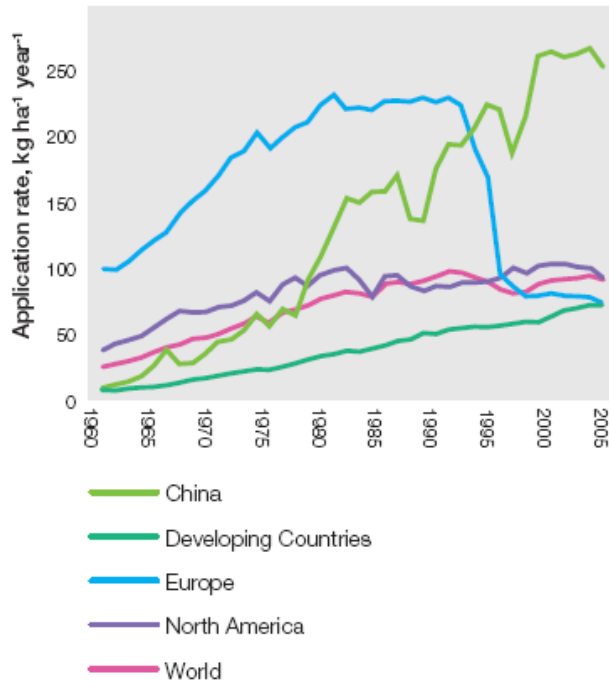
Mt CO₂-eq



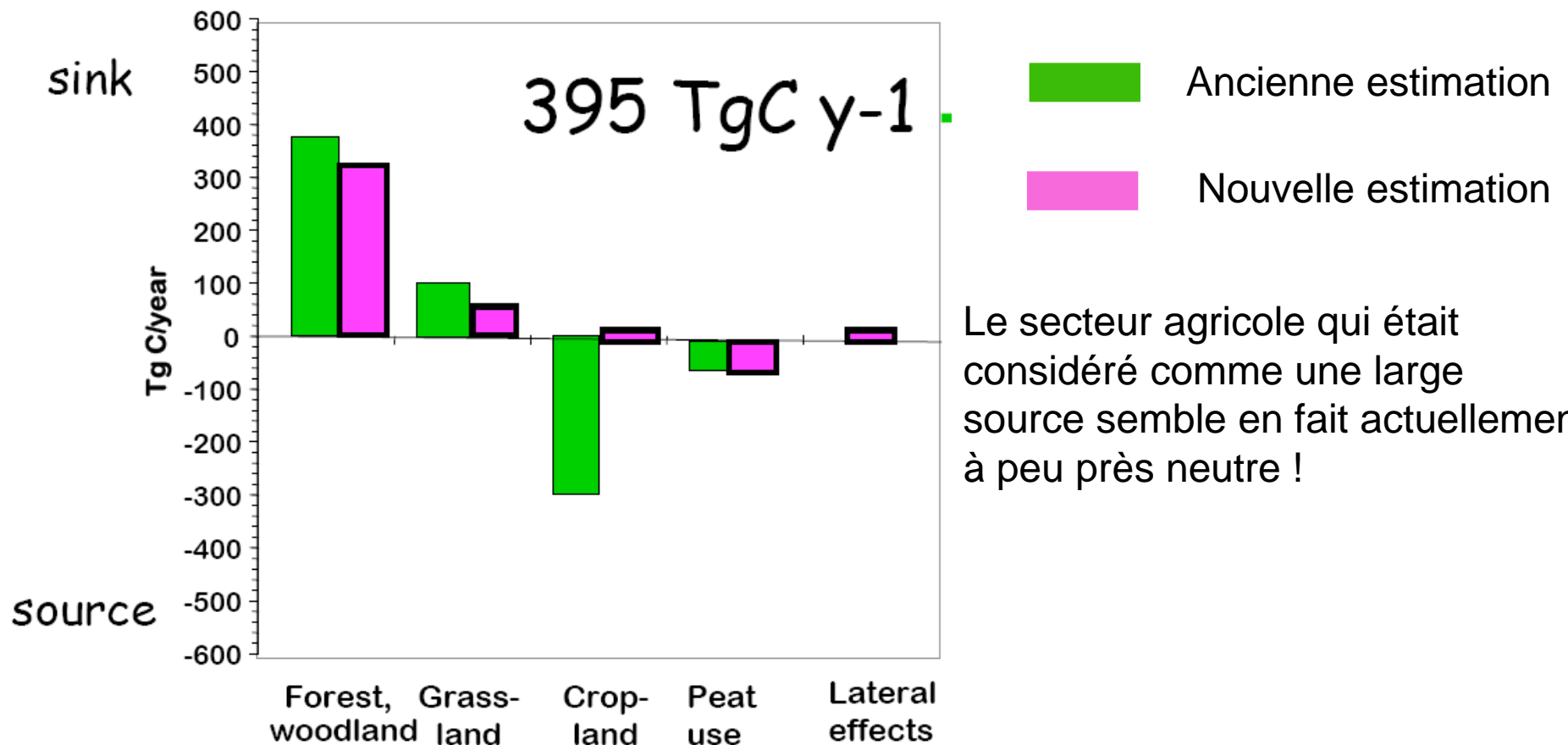
Contribution mondiale du secteur agricole aux émissions de gaz à effet de serre



Evolution des apports d'engrais

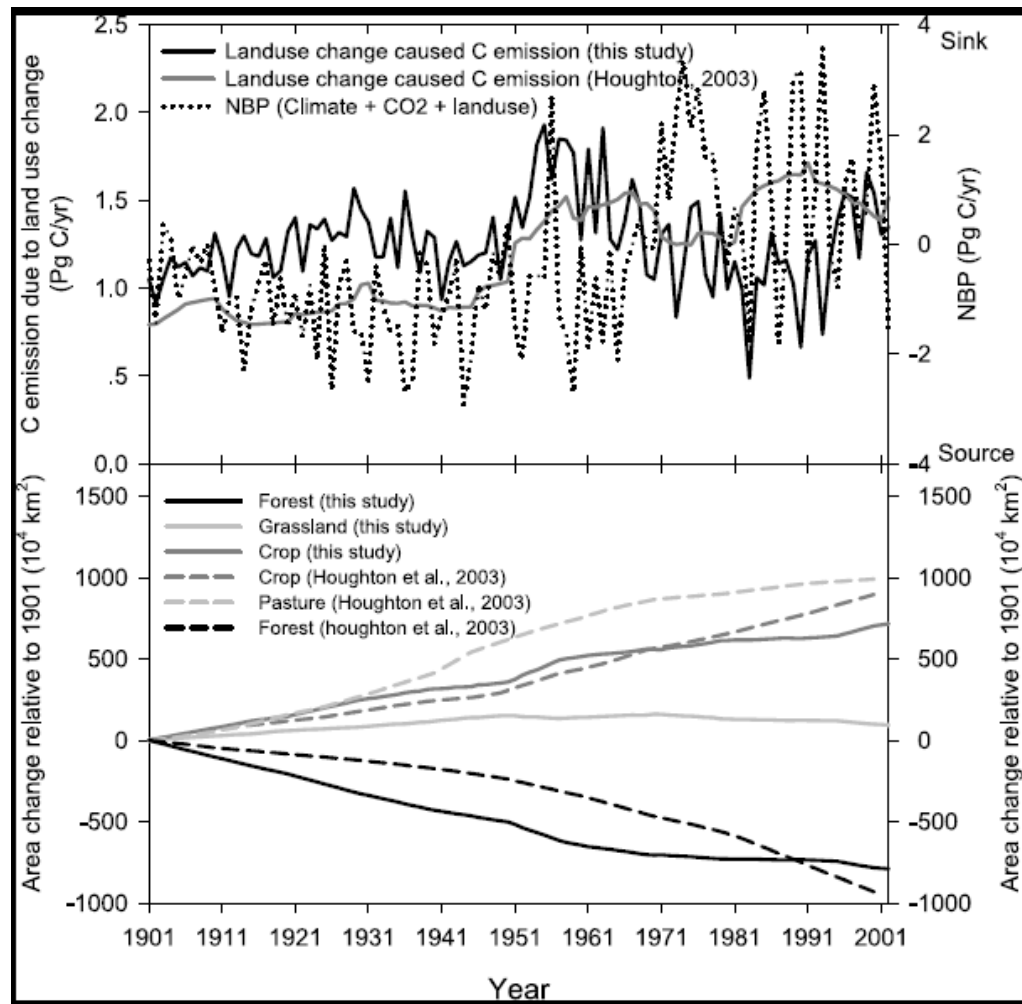


Bilan du carbone pour l'Europe (résultat du projet Carboeurope)



Les émissions de l'Europe sont de 1200 TgCy-1

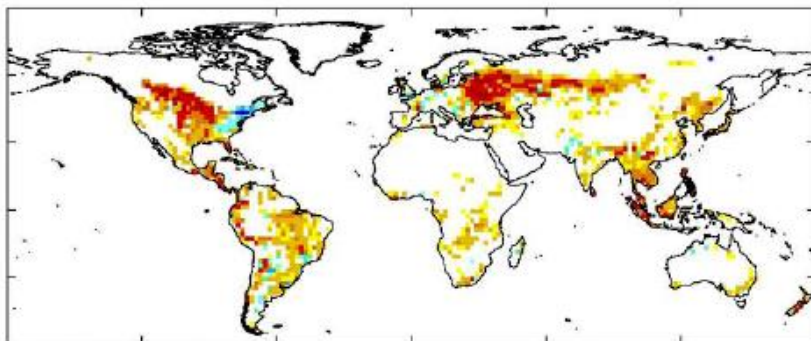
Bilan de l'émission de CO₂ lié au changement d'utilisation des terres sur le 20^{ème} siècles



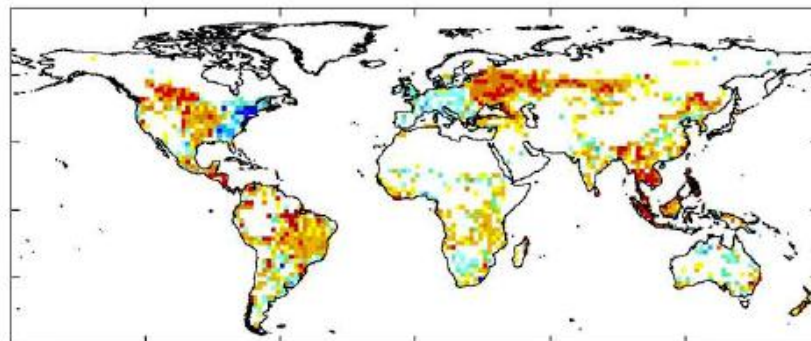
2 approches: 1/ Par inventaire
2/ par modélisation

Répartition spatiale des flux d'émission et bilan de carbone

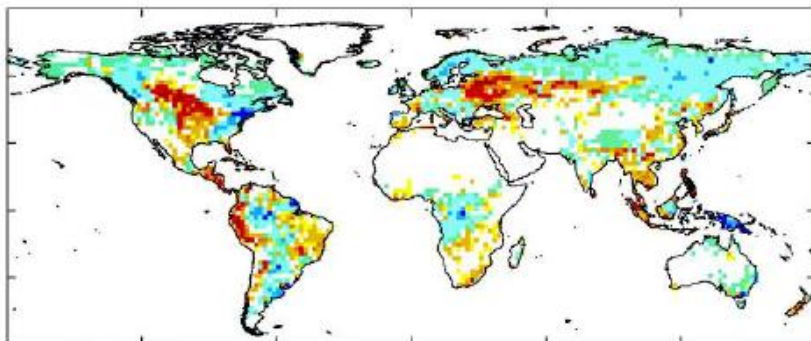
C emission due to land use change from 1901-1999



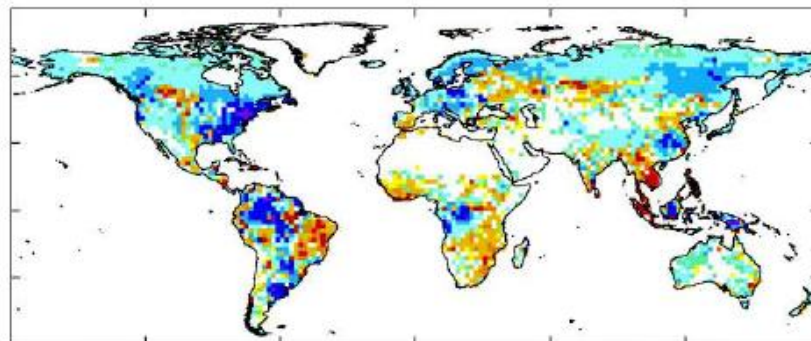
C emission due to land use change from 1980-1999



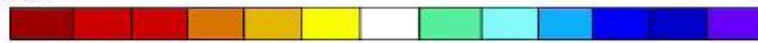
Average NBP from 1901-1999



Average NBP from 1980-1999



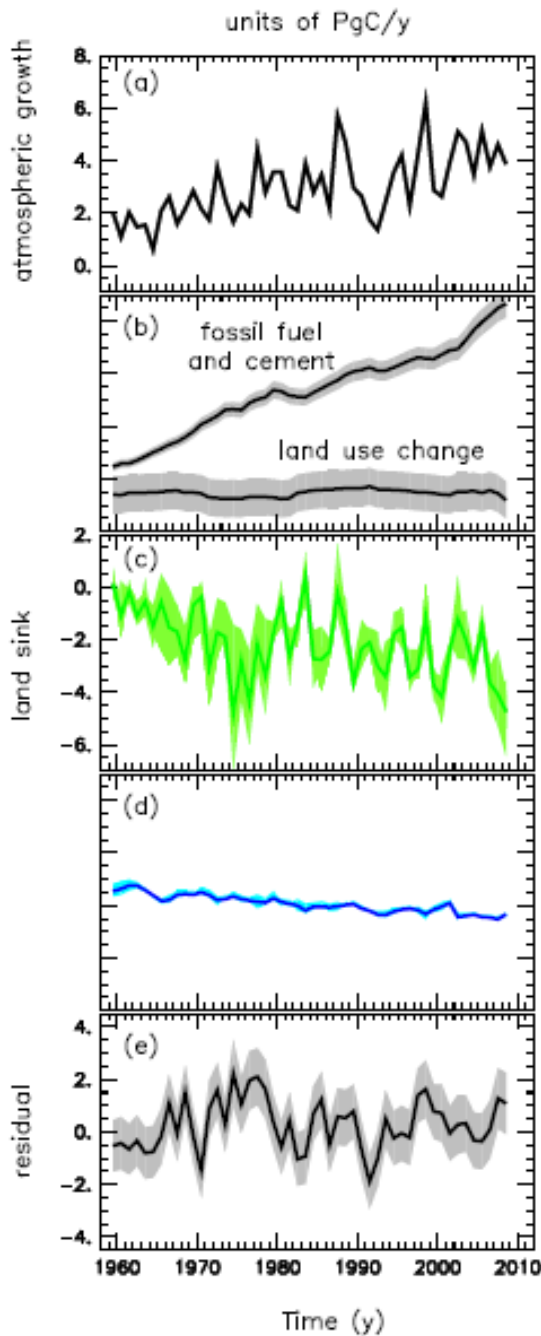
Source



-100 -70 -50 -30 -10 -5 5 10 30 50 70 100 gC/m²/yr

Sink

Un bilan complet du cycle du carbone



Croissance observée du CO₂

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 (CO_2 , N_2O , 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...)