Modèle d'agro-écosystèmes

LPJmL

(Lund-Potsdam-Jena managed Land)

Alberte Bondeau *alberte.bondeau@imbe.fr*

Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE)

Equipe « Macroécologie et Biogéographie des Changements Globaux » (MacroBio)

ECCOREV

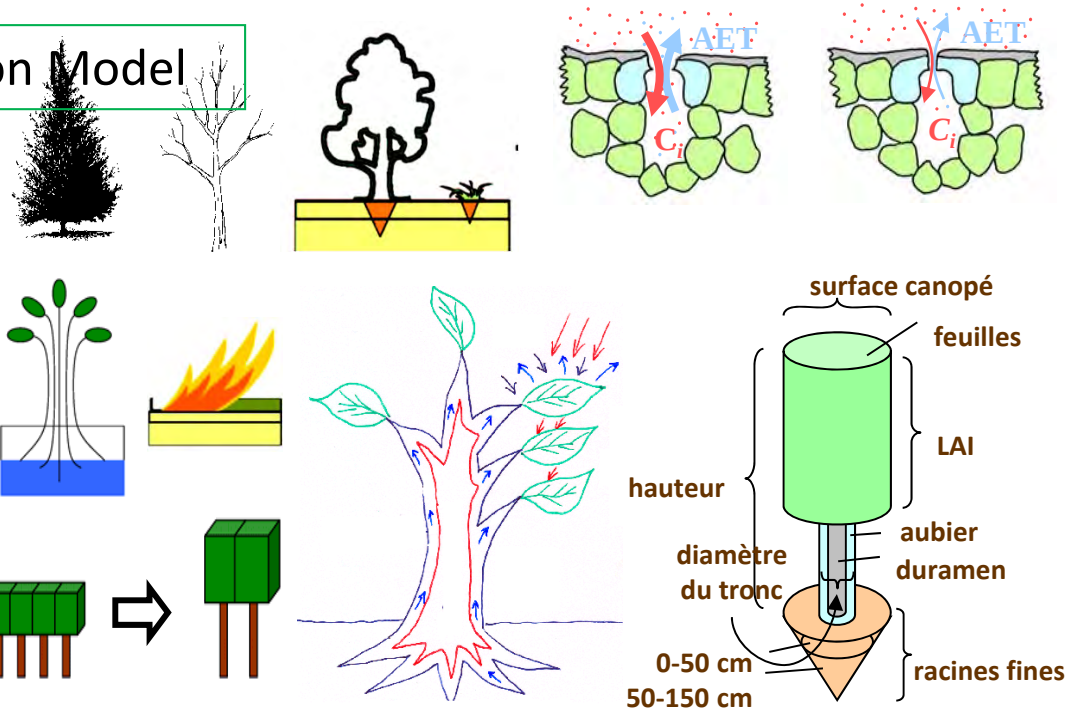
8 octobre 2014

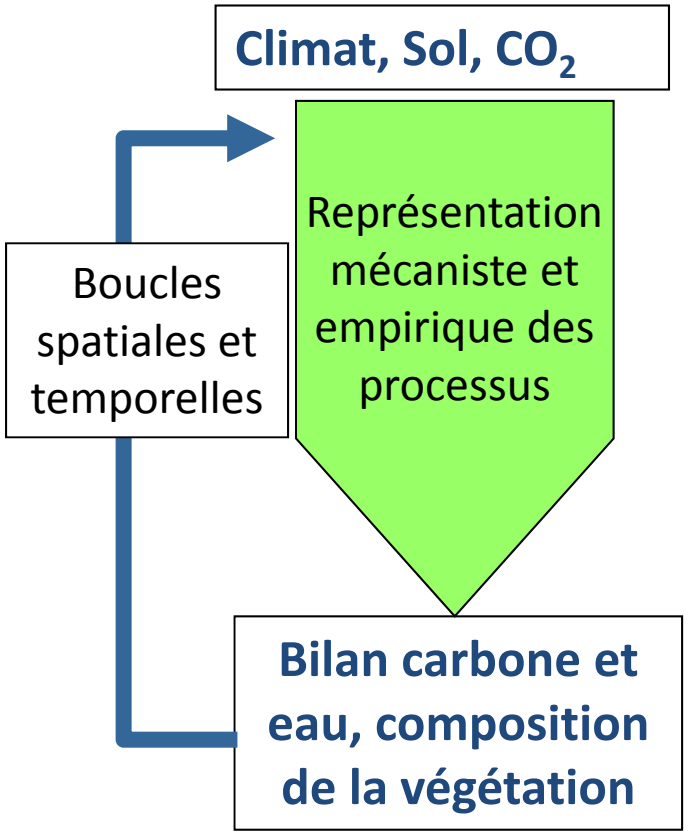
LPJ

LPJ-DGVM: Dynamic Global Vegetation Model

(Sitch et al. 2003)

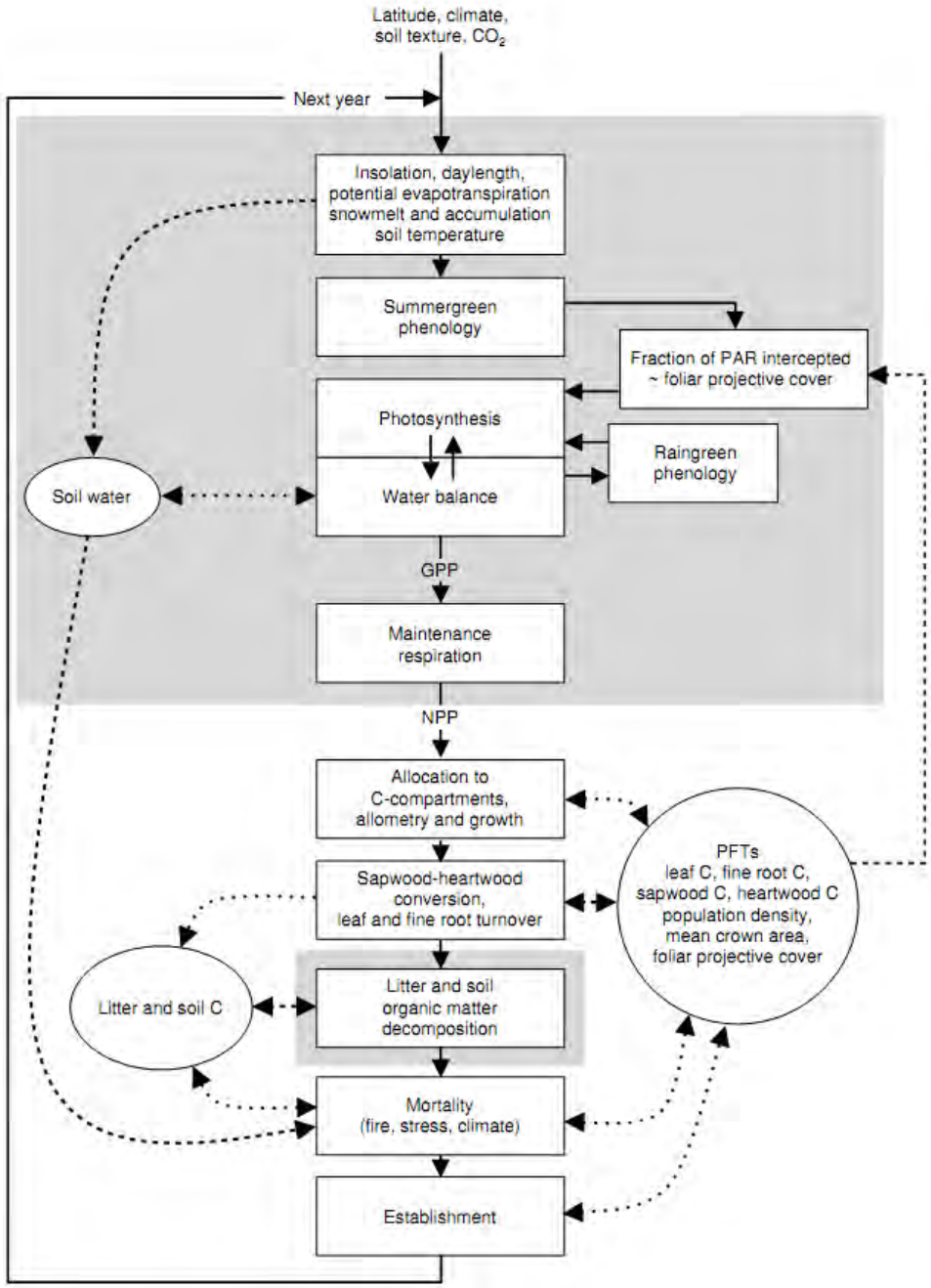
Modélisation du fonctionnement de la végétation naturelle potentielle





- 9 types fonctionnels de plantes
- Photosynthèse: cycles couplés CO_2 et H_2O
- Respiration autotrophe et hétérotrophe
- C allocation
- Pools de carbone (végétation: 4, litière + sol: 4)
- Hydrologie
- Compétition, mortalité, établissement
- Feux, permafrost

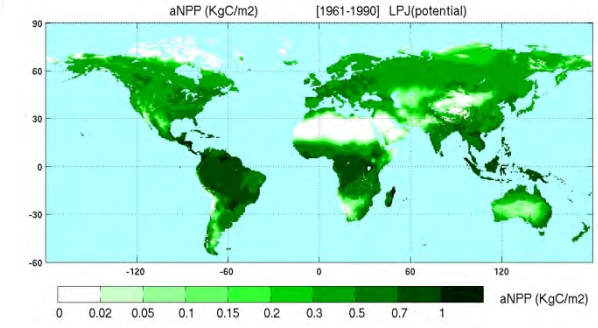
Structure de LPJ



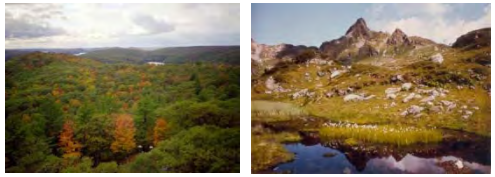
- Structure modulaire
- Simulation démarre à partir du sol nu
  - aboutit à un équilibre entre le sol, la végétation et le climat pour chaque élément de la grille (1000 à 5000 ans de spinup nécessaires)
- Cycles fermés de l'eau et du carbone

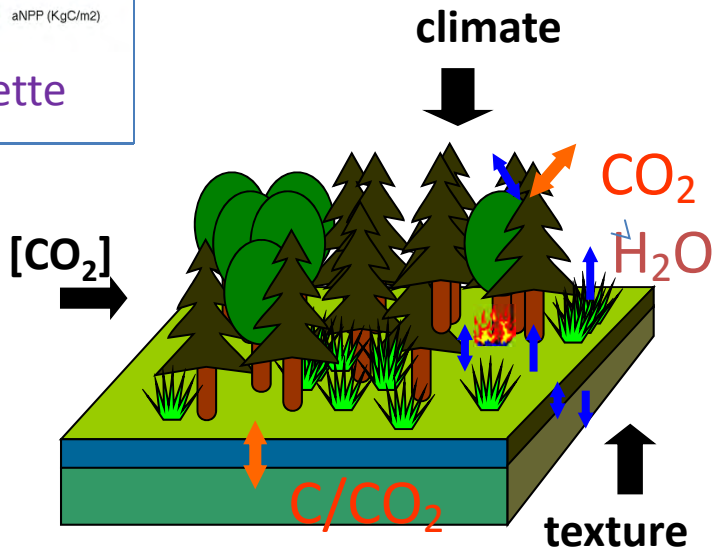
- Représentation mécaniste: photosynthèse, modèle de Farquhar généralisé
- Représentation empirique: phénologie, degrés-jours

LPJ-DGVM

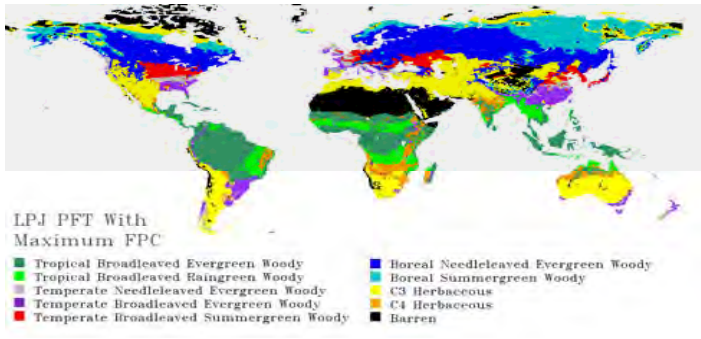


Production primaire nette

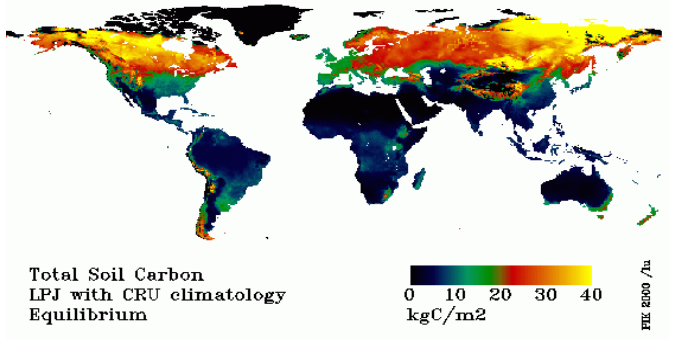




résolution spatiale: 0.5°

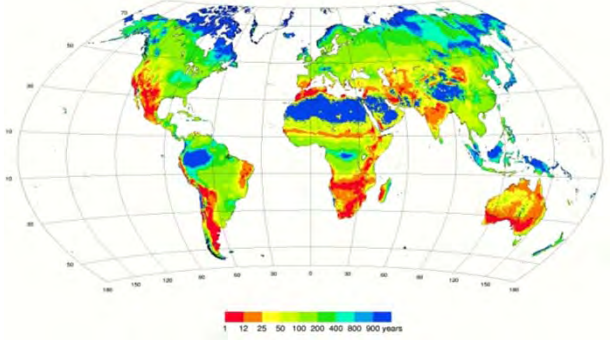


Distribution de la végétation

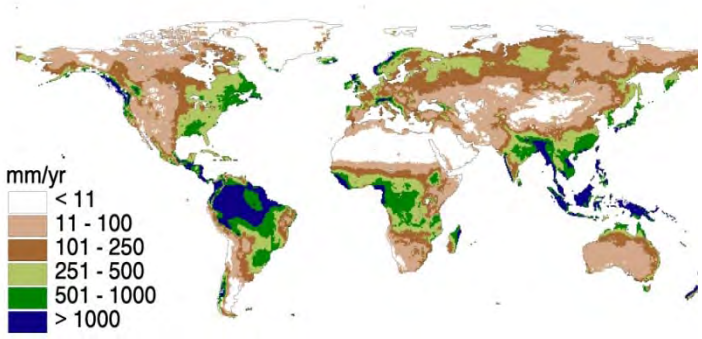


Carbone du sol

Modèle LPJ-DGVM pour la végétation naturelle potentielle: biogéographie, cycles de l'eau et du carbone *(Sitch et al. 2003, Gerten et al. 2004, Thonicke et al. 2010, Schaphoff et al. 2013)*



Fréquence des feux



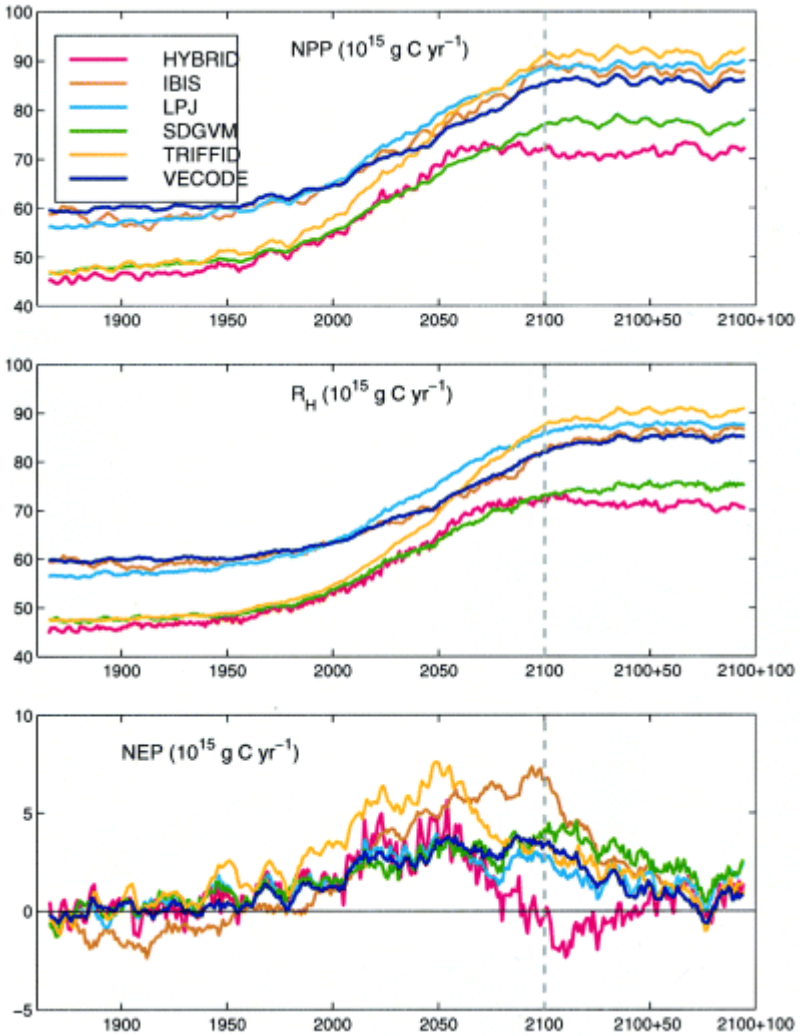
Ruissellement

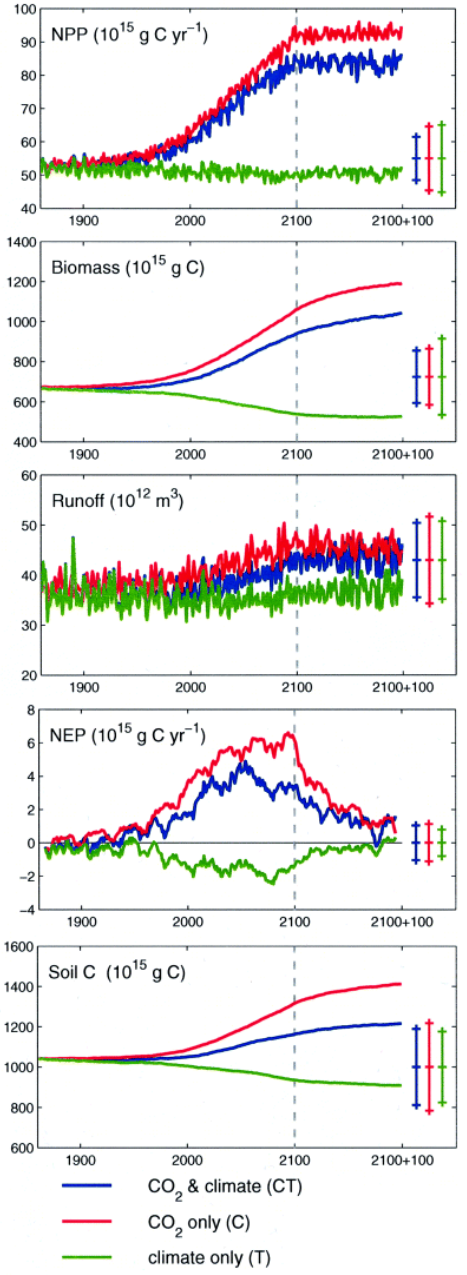
LPJ-DGVMs

Réponse des écosystèmes terrestres à l'augmentation de [CO_2] et au changement climatique

Intercomparaison de 6 DGVMs (Cramer et al. 2001):

L'augmentation de [CO_2] génère un large puits, réduit par le changement climatique
=> nécessité de prendre en compte les rétroactions dans les modèles climatiques

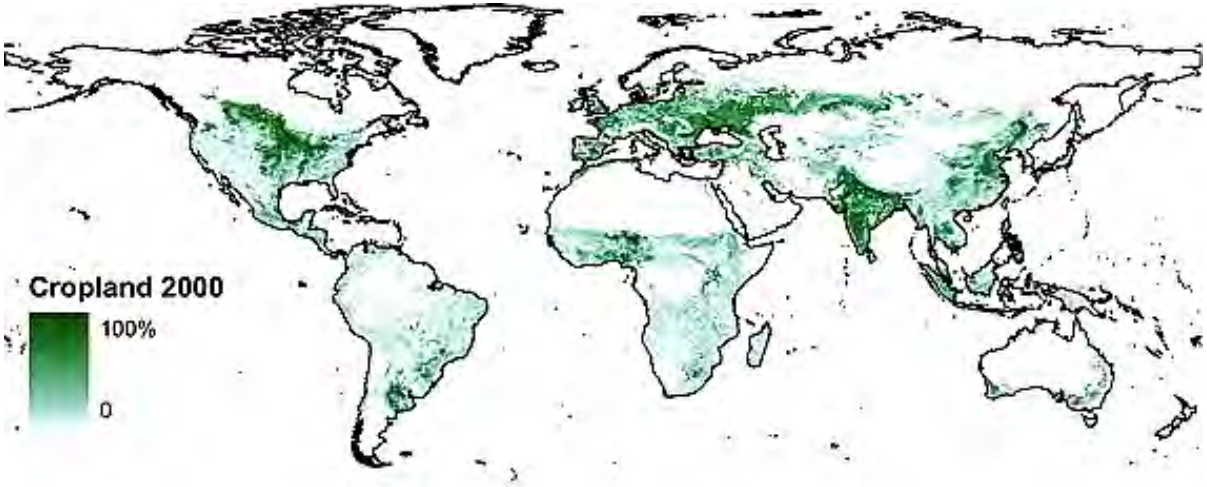




Occupation des sols

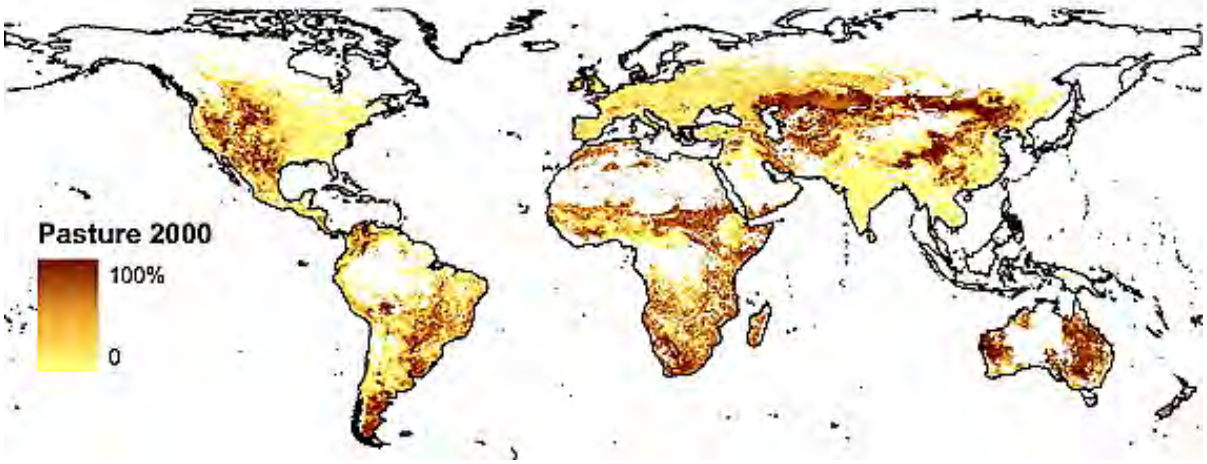
Plus de 50% de la superficie terrestre potentiellement couverte de végétation est utilisée pour l'agriculture:

cultures ou prairies



Ramankutty et al. (2008) Farming the Planet. 1: The Geographic Distribution of Agricultural Lands in the Year 2000

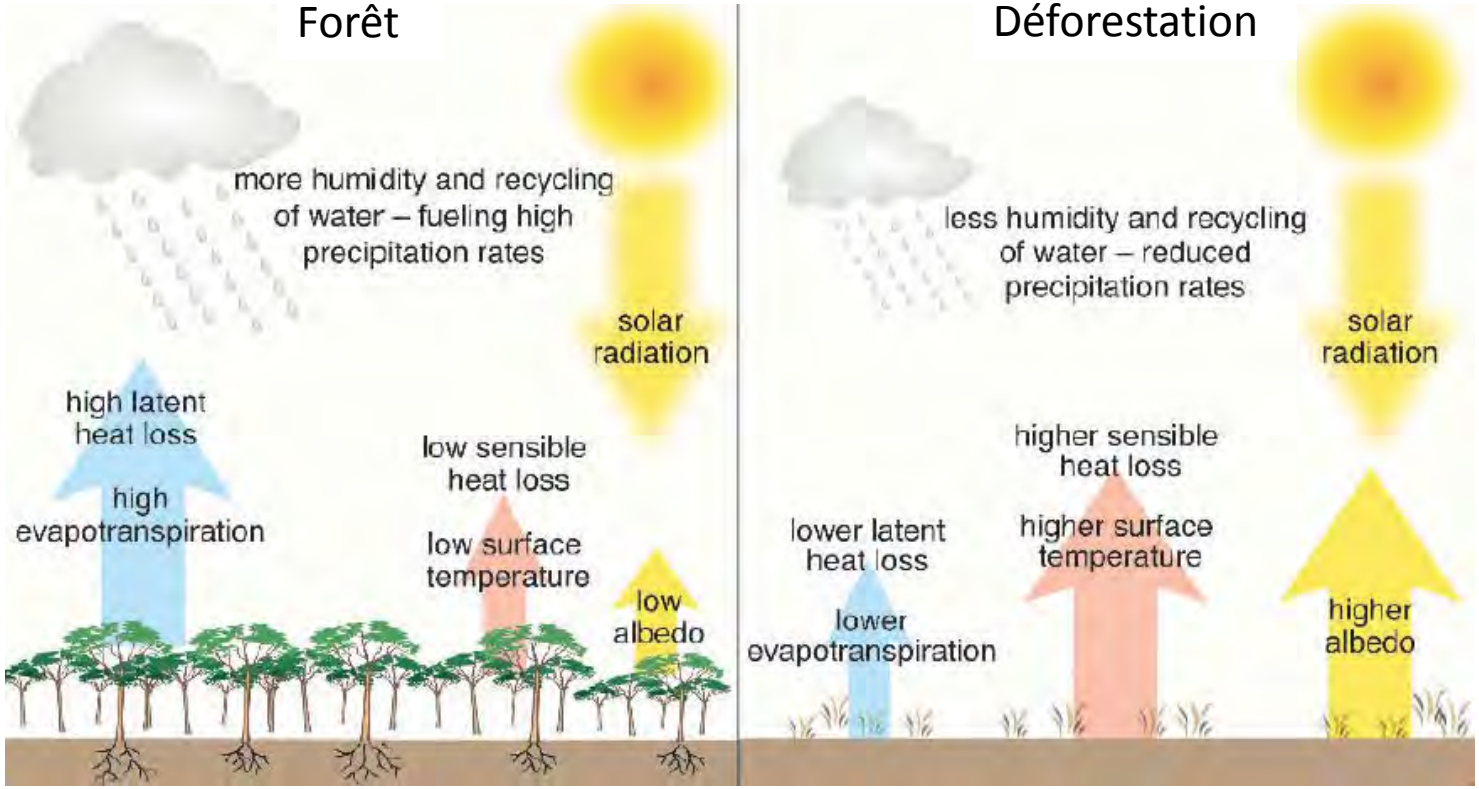
15.0 million km^2 of cropland
28.0 million km^2 of pasture



Agro-écosystèmes

Une profonde transformation des écosystèmes causée par l'homme: l'Anthropocène

=> Impacts biophysiques sur le système sol-végetation-atmosphère

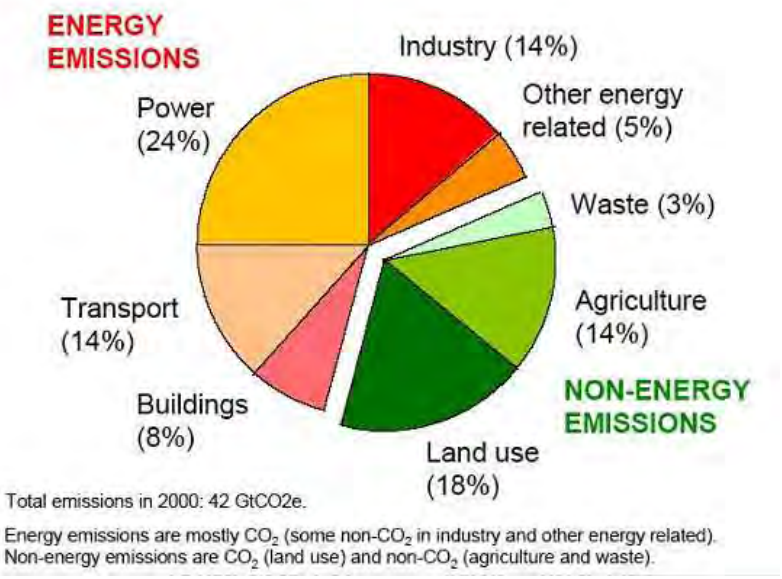


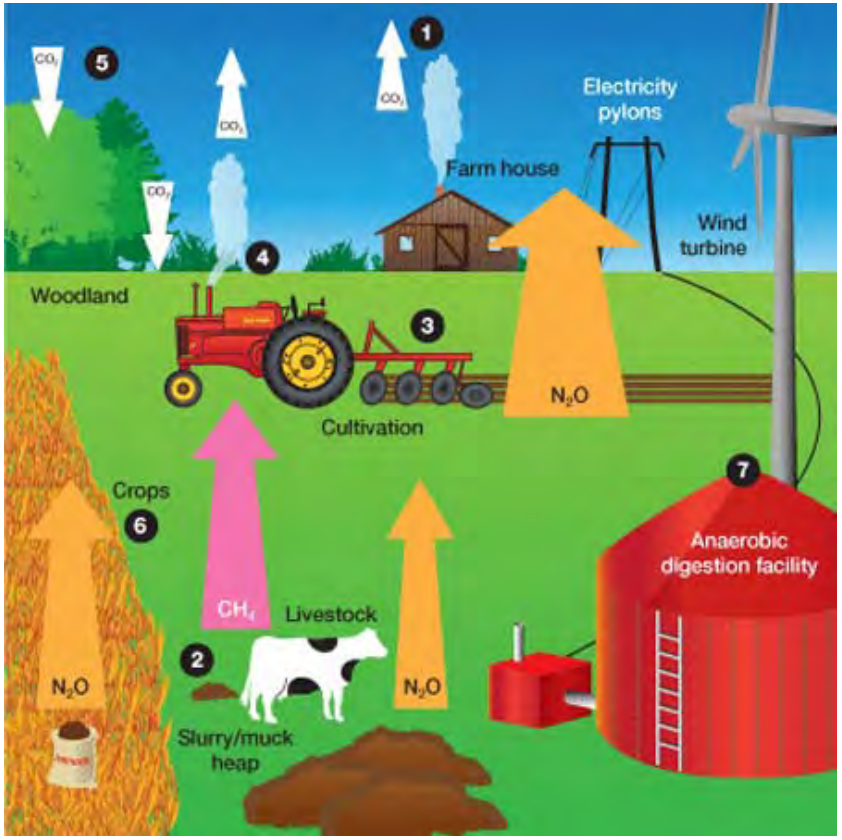
(Foley et al. 2003)

Agro-écosystèmes

=> Impacts biogéochimiques sur le système sol-végetation-atmosphère

Part de l'agriculture dans les émissions de gaz à effet de serre (CO_2, CH_4, N_2O)





Stern Review on the Economics of Climate Change (2006)

Agriculture dans LPJ-DGVM

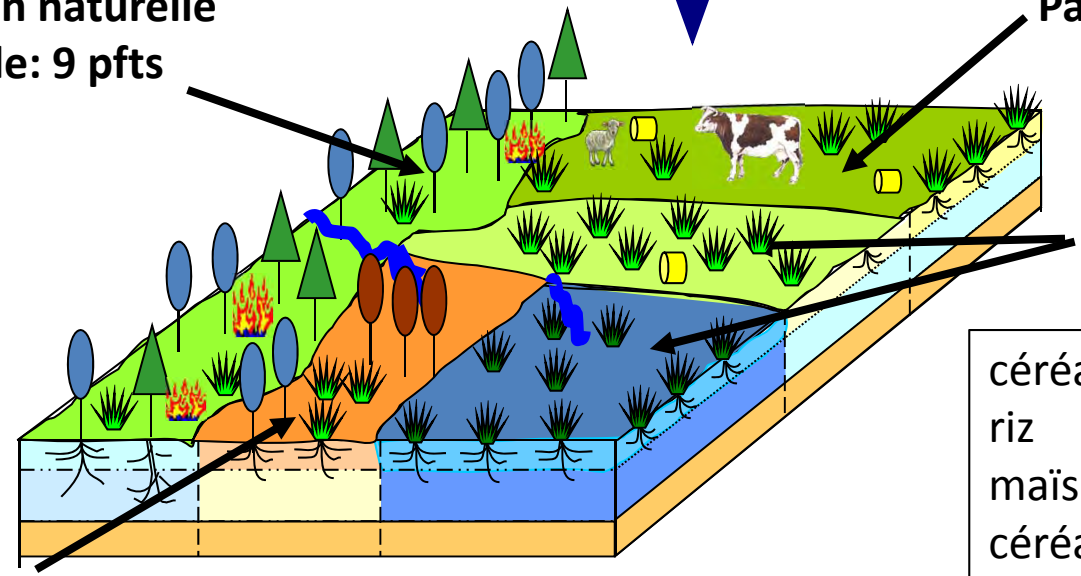
LPJmL (LPJ for managed Land)

Climat, [CO_2], structure du sol, occupation du sol

Végétation naturelle potentielle: 9 pfts

Pariries

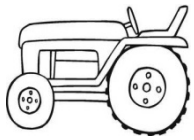
Cultures annuelles pluviales et irriguées: 12 cfts



3 plantations bioenergie

Phenologie

Pratiques agricoles

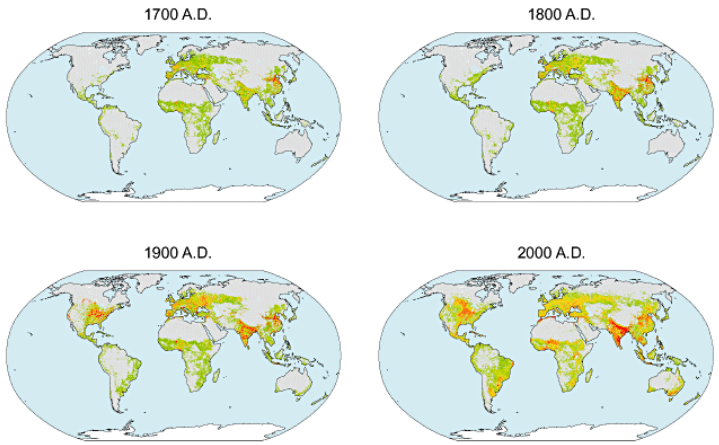


Production

céréales tempérées
riz
maïs
céréales tropicales
racines/tubercules tempérées
racines/tubercules tropicales
légumineuses
tournesol
soja
arachides
colza
canne à sucre

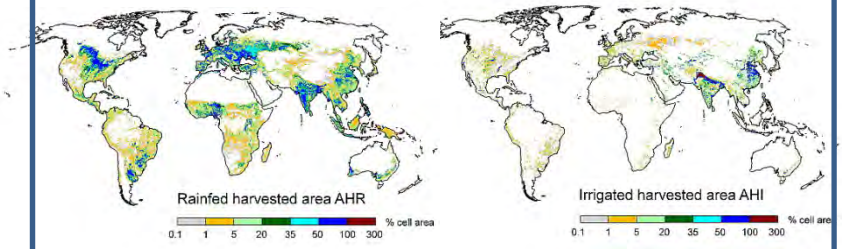
(Bondeau et al. 2007; Rost et al. 2008, Fader et al. 2010, Waha et al., 2012)

Données globales d'ocupation du sol



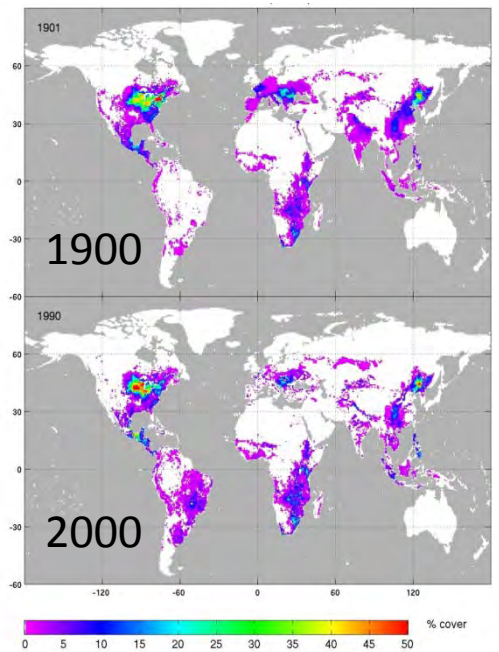
Distribution spatio-temporelles des cultures (Klein Goldewijk et al. 2010)

+

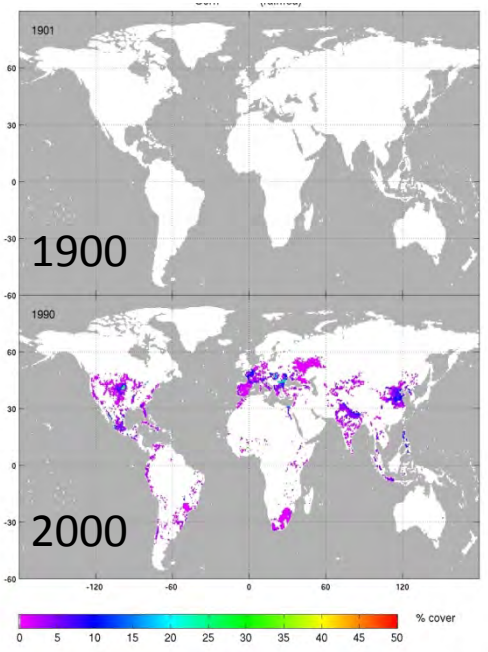


Surface des différentes cultures pluviales et irriguées en 2000 (Portmann et al. 2010)

Maïs pluvial



Maïs irrigué

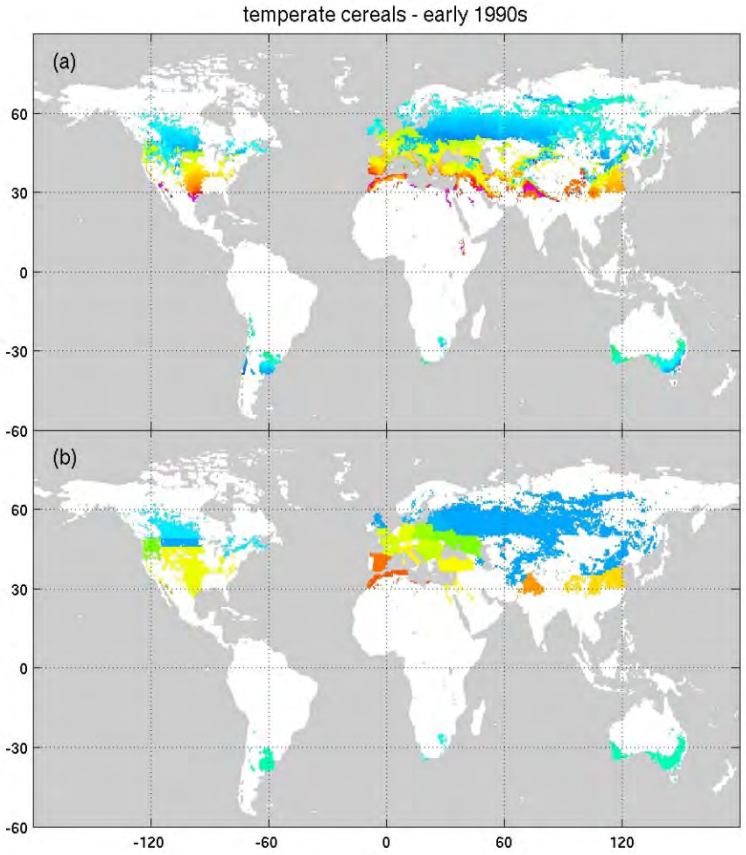


=> Distribution spatiale annuelle des différentes cultures pluviales et irriguées [1700-2005] (Fader et al. 2010)

Dates de semis

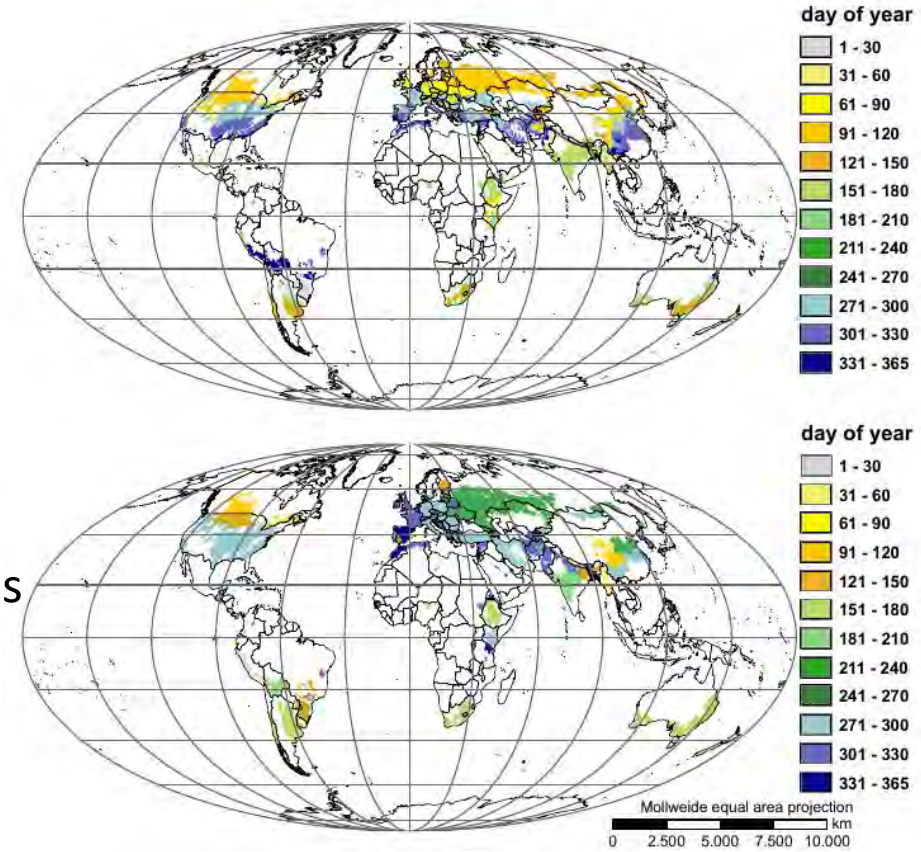
4 types de saisonalité: f(T), f(P), f(P&T), indifférent

Simulation de la date de semis pour les céréales tempérées: f(T), cultures d'hiver et cultures de printemps.



LPJmL ⟷

données ⟷

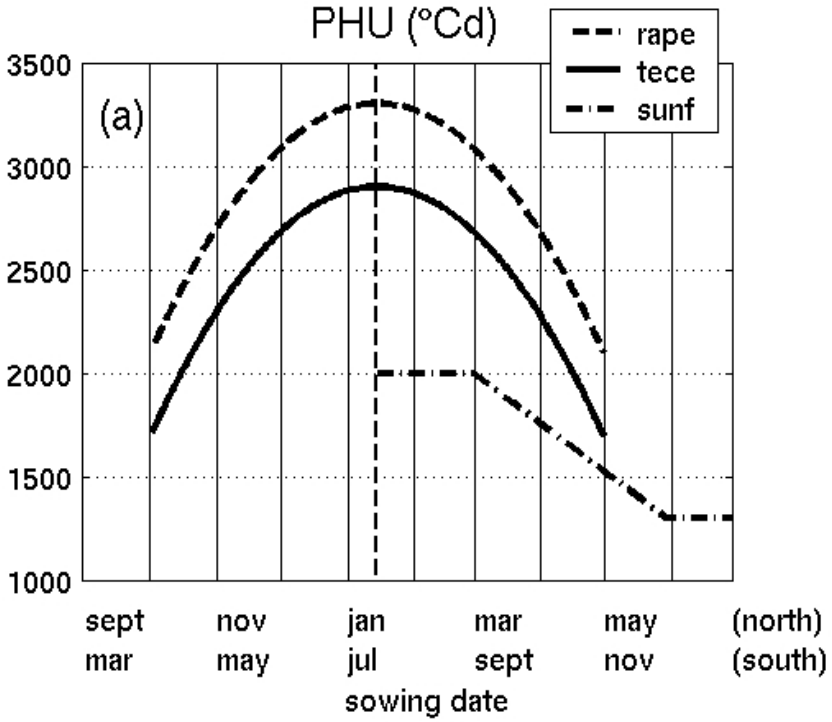


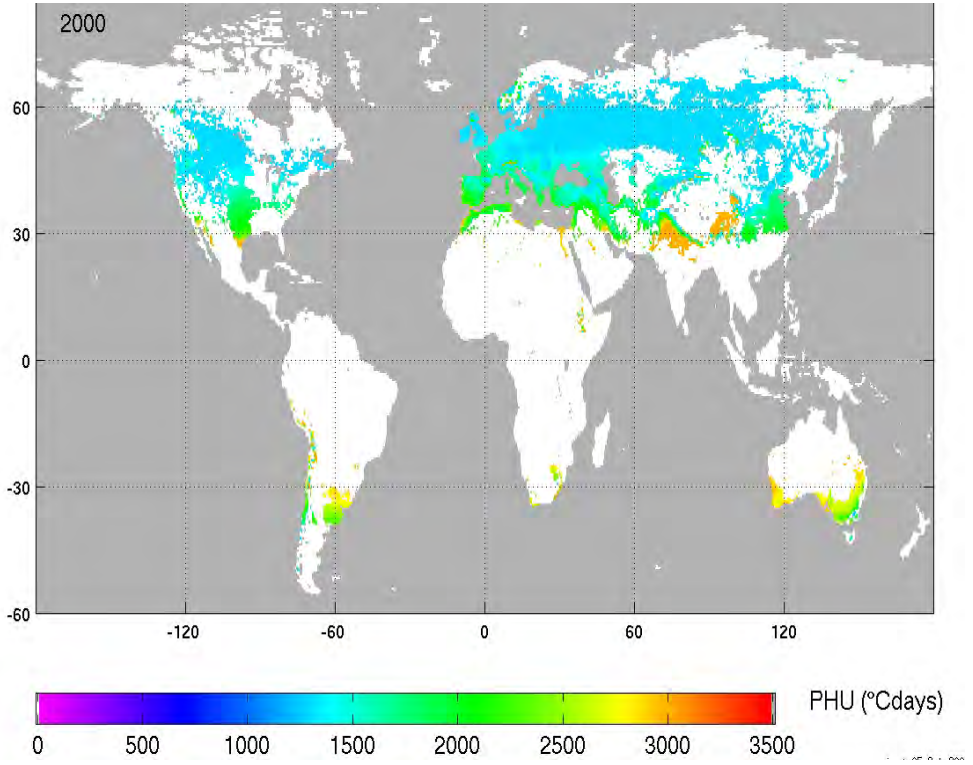
USDA vs. MIRCA2000,
(Bondeau et al. 2007, Waha et al. 2012)

Choix variétal

PHU: phenological heat unit (°Cd)

paramétré en fonction de la date de semis





PHU pour les céréales tempérées

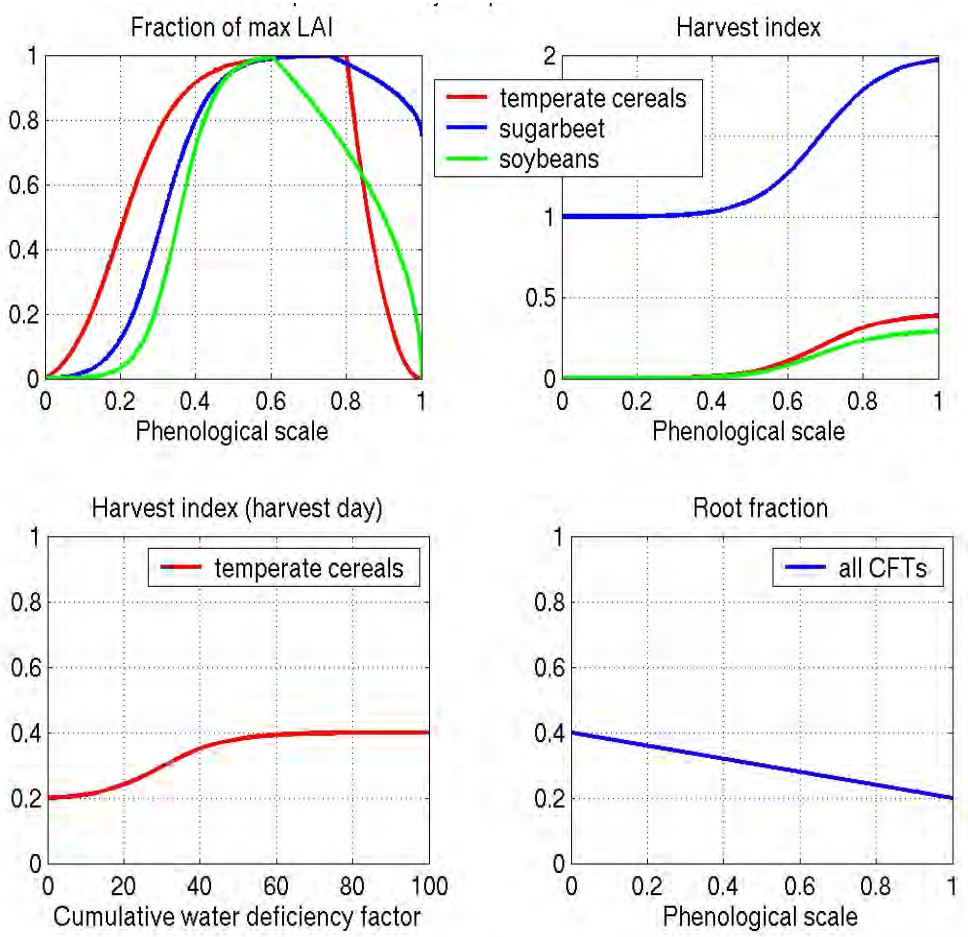
Profil LAI, croissance, rendement

Courbe d'évolution du LAI potentiel adaptée de SWAT (***Soil and Water Assessment Tool,*** *Arnold et al. 1994, Neitsch et al. 2005),*

Croissance racinaire et indice de récolte inspiré de SWIM (***Soil and Water Integrated Model,*** *Krysanova et al. 2000, 2005),*

4 pools pour les cultures:

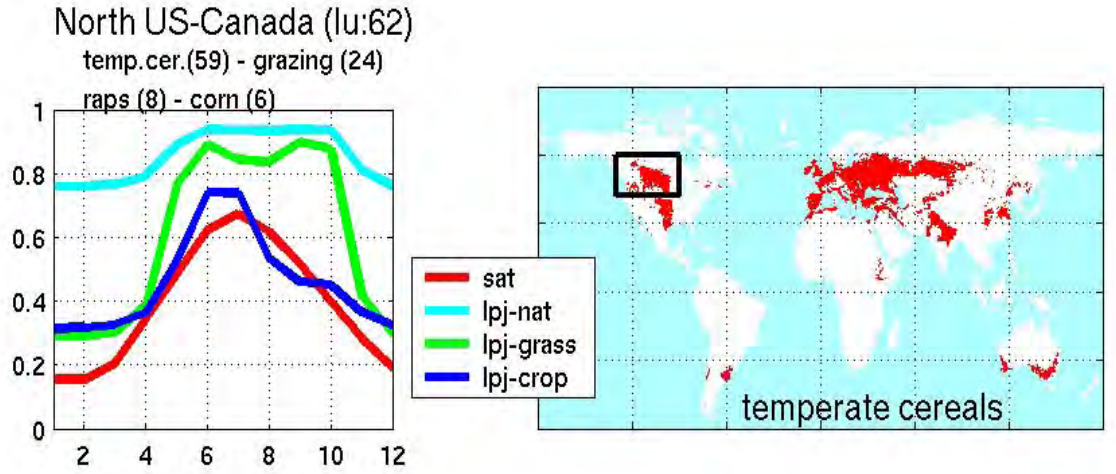
- racines
- feuilles
- organes de récoltes
- tiges + réserves mobiles

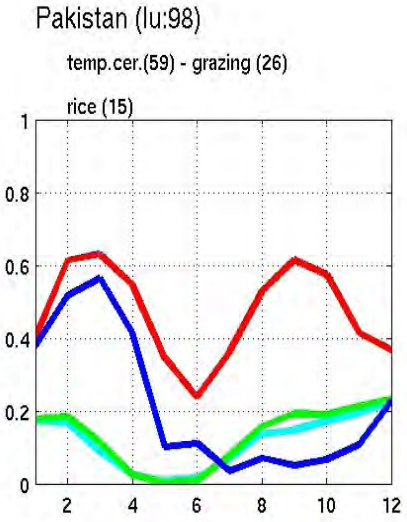


Phénologie globale

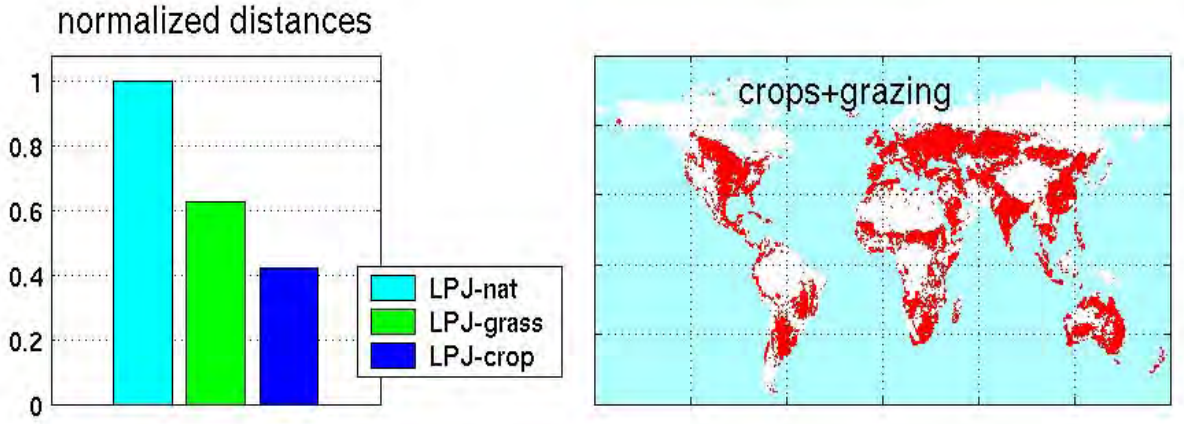
Test de la phénologie simulée:

Saisonalité du LPJmL-fPAR vs. FPAR satellitaire (GIMMS 1982-2000, *Myneni et al.1997*)

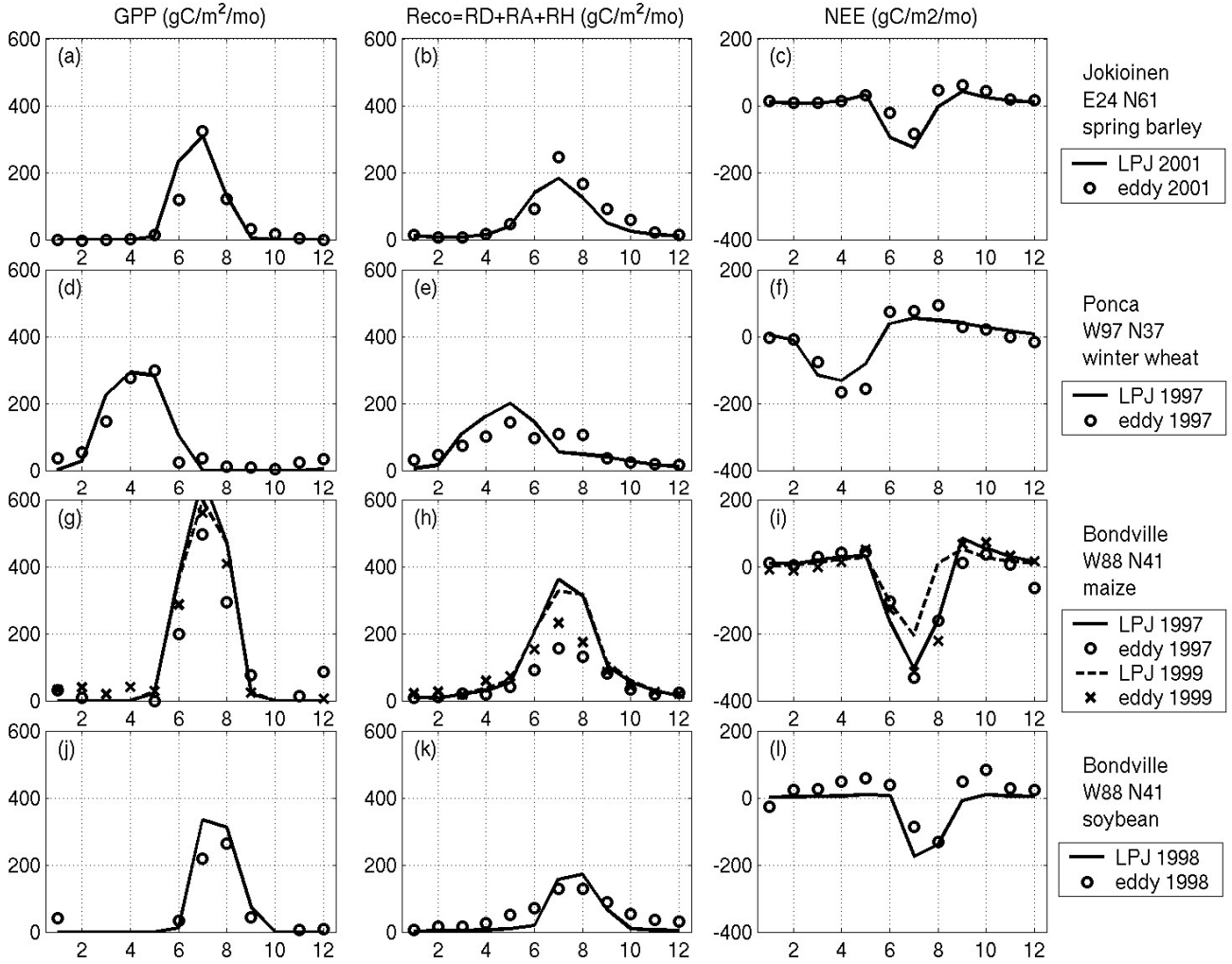




Exemple de mauvaise représentation d'un système agricole



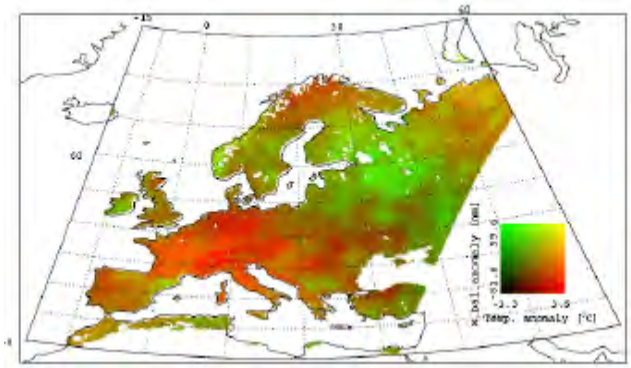
Flux de CO_2



GPP, Respiration de l'écosystème (autotrophique + hétérotrophique), flux net
Simulations LPJmL + données d'Eddy Covariance

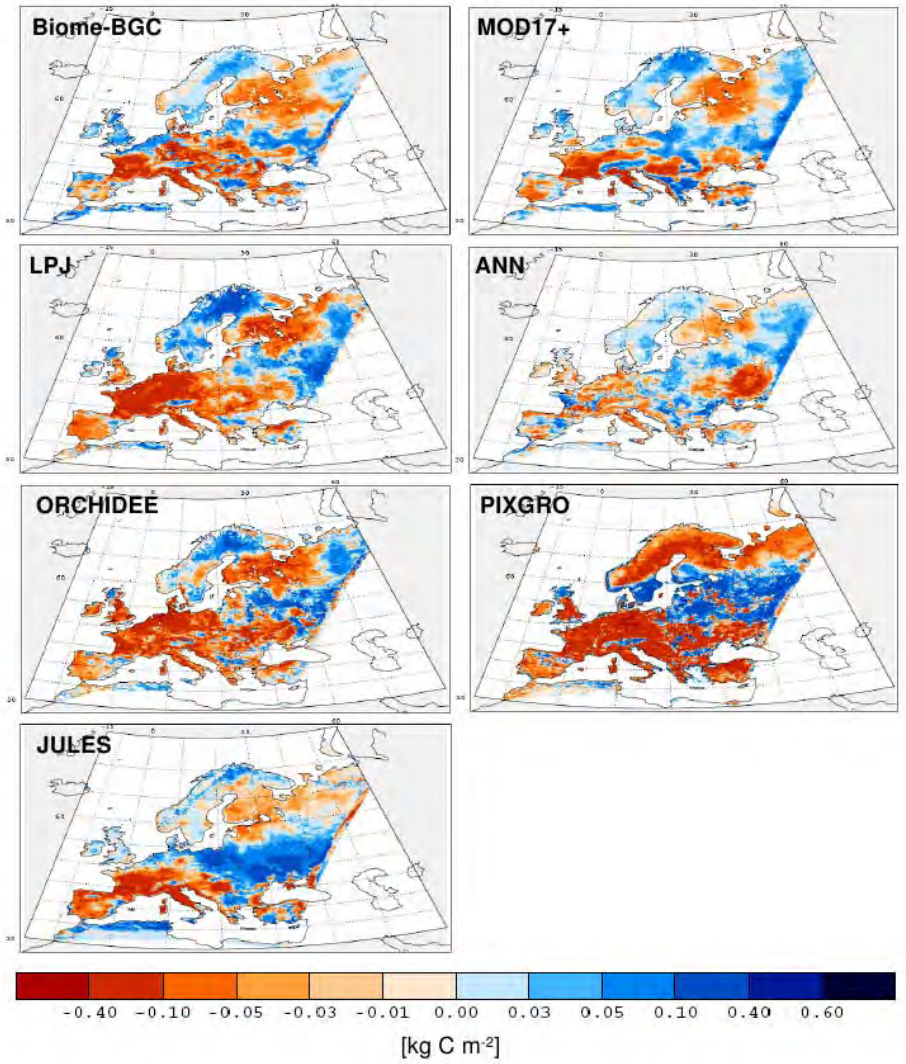
Canicule 2003

Canicule 2003



Anomalies de la temperature et de précipitation *(Vetter et al. 2008).*

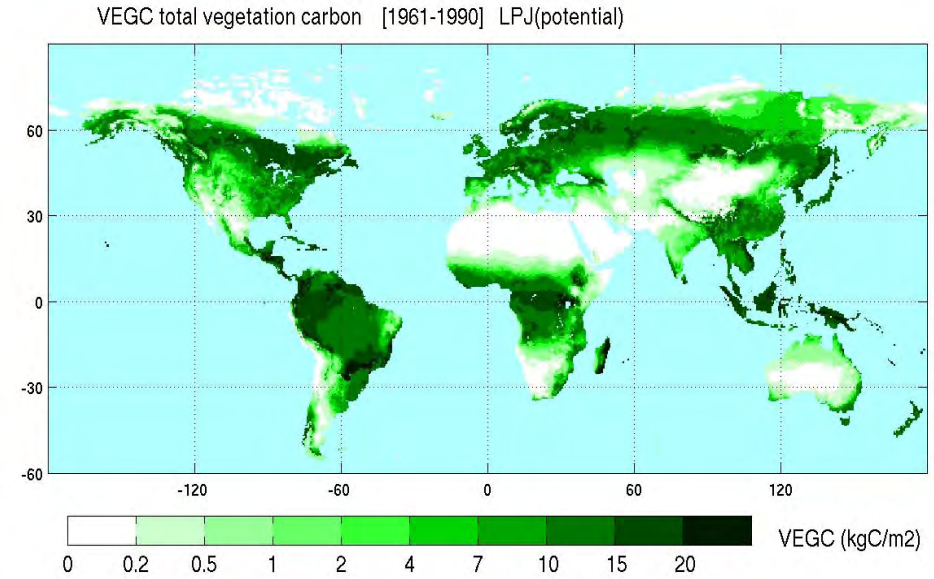
=> Anomalies des flux de carbone et d'eau



NEP

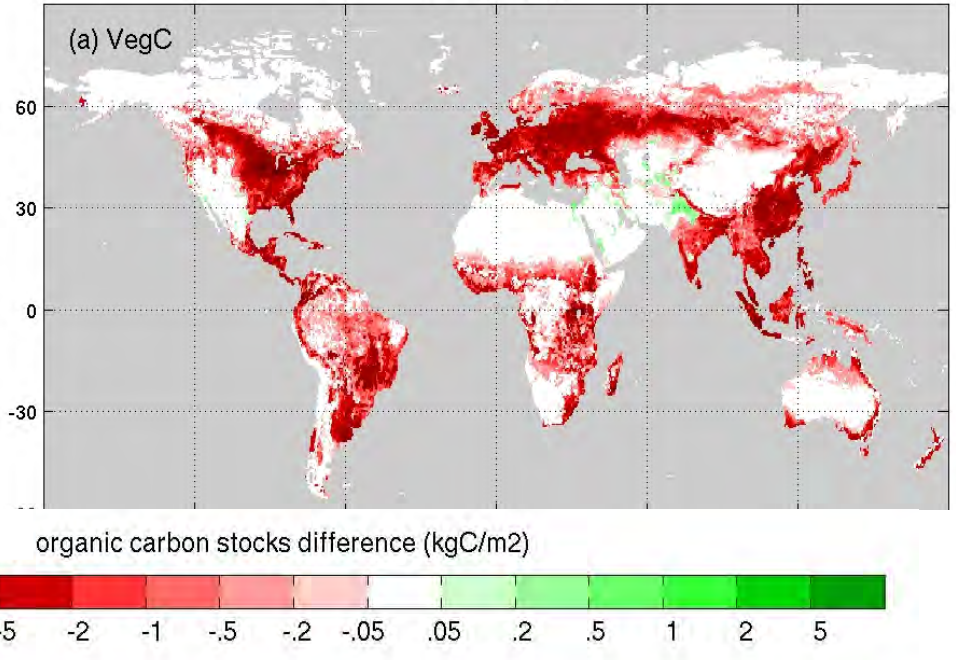
Biomasse

Réduction du stock de carbone dans la végétation due au changement d'occupation des sols



[1991-2000]

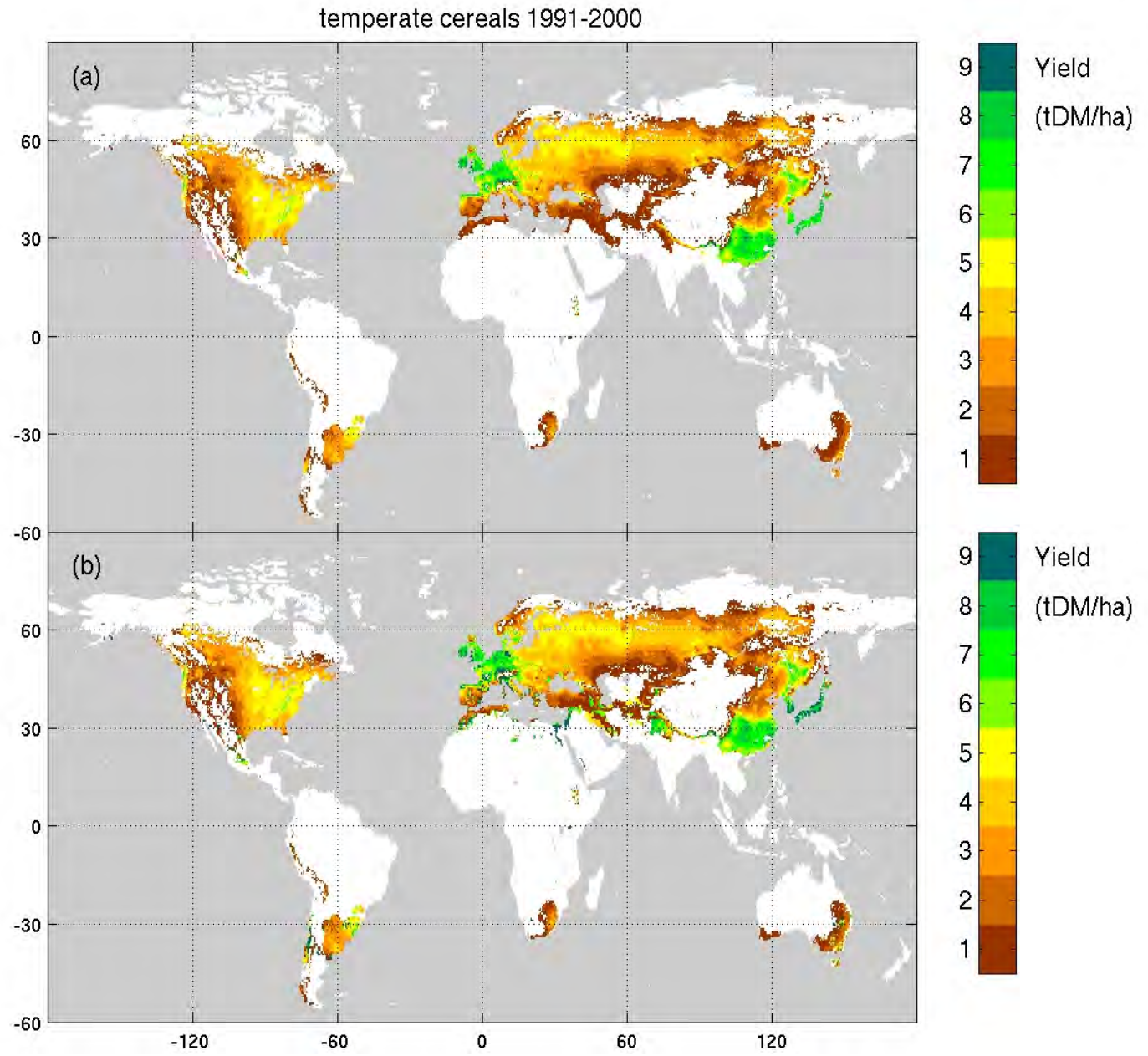
LPJmL-LPJ



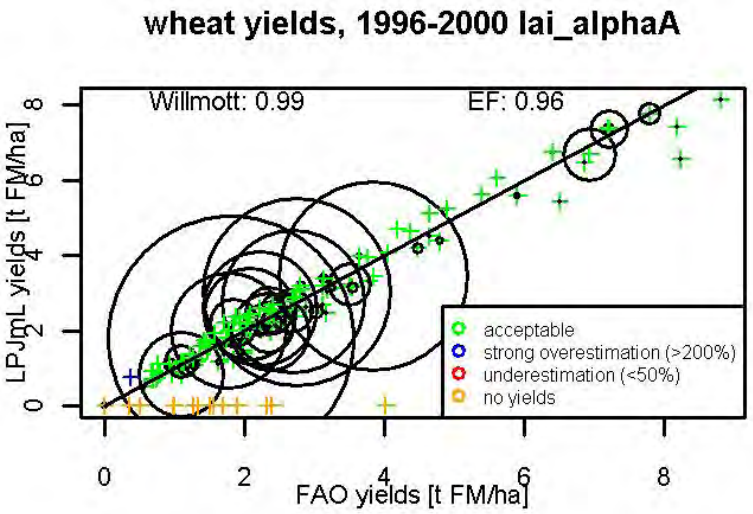
Rendements

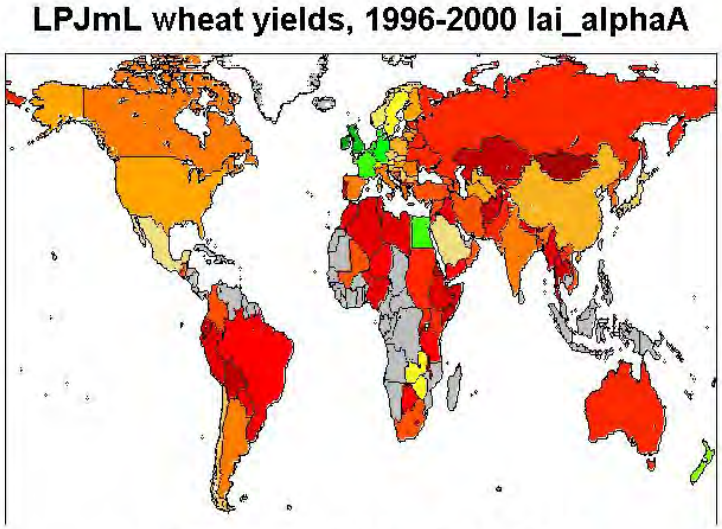
pluvial

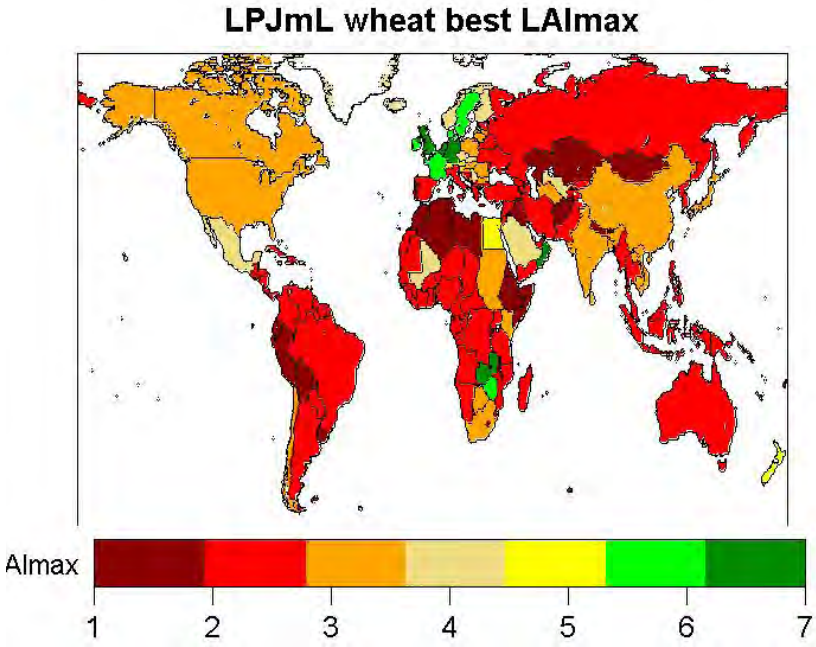
pluvial + irrigué

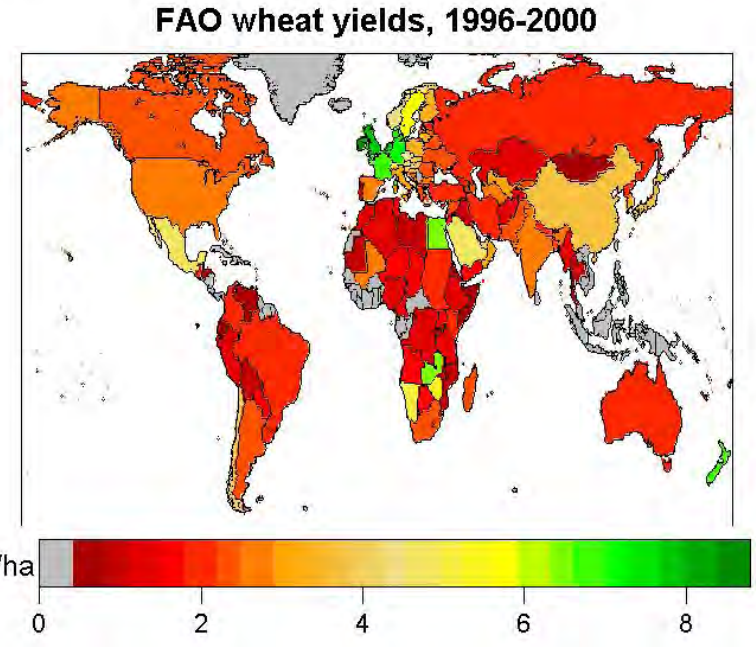


Evaluation des rendements









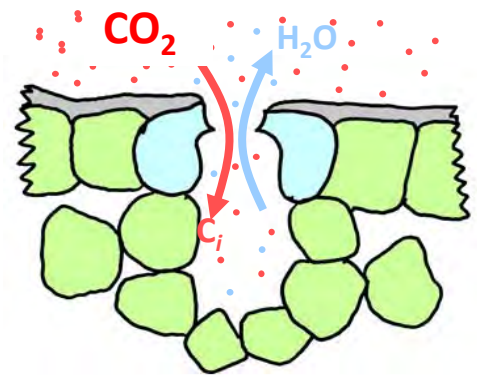
(Christoph Müller)

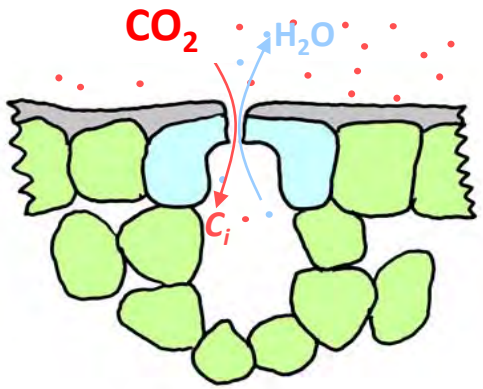
Fertilisation CO_2

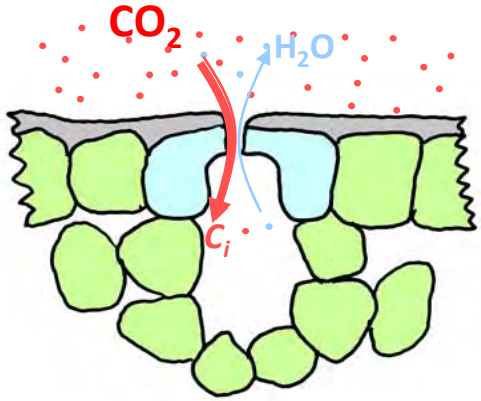
Conditions humides

Conditions arides

[CO_2] élevée (futur)







(Dieter Gerten, PIK)

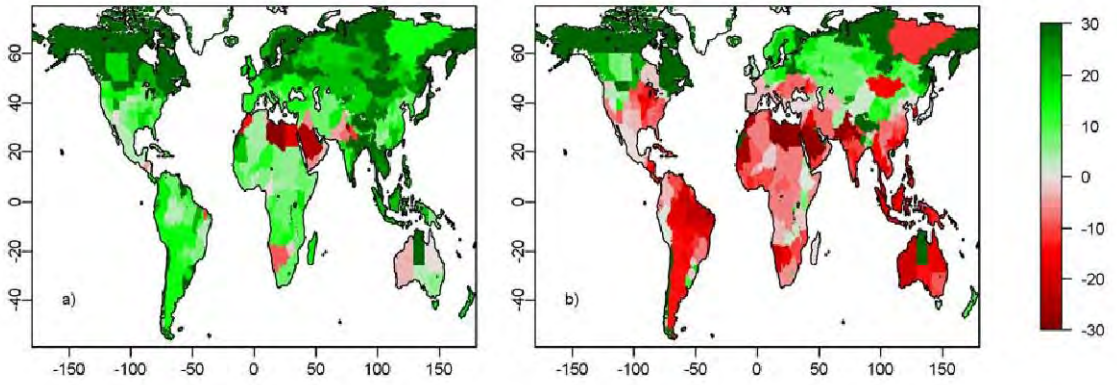
=> fertilisation CO_2

Les impacts négatifs de O_3 sont réduits sous une augmentation de CO_2

Importants débats autour de sa quantification

Changement climatique

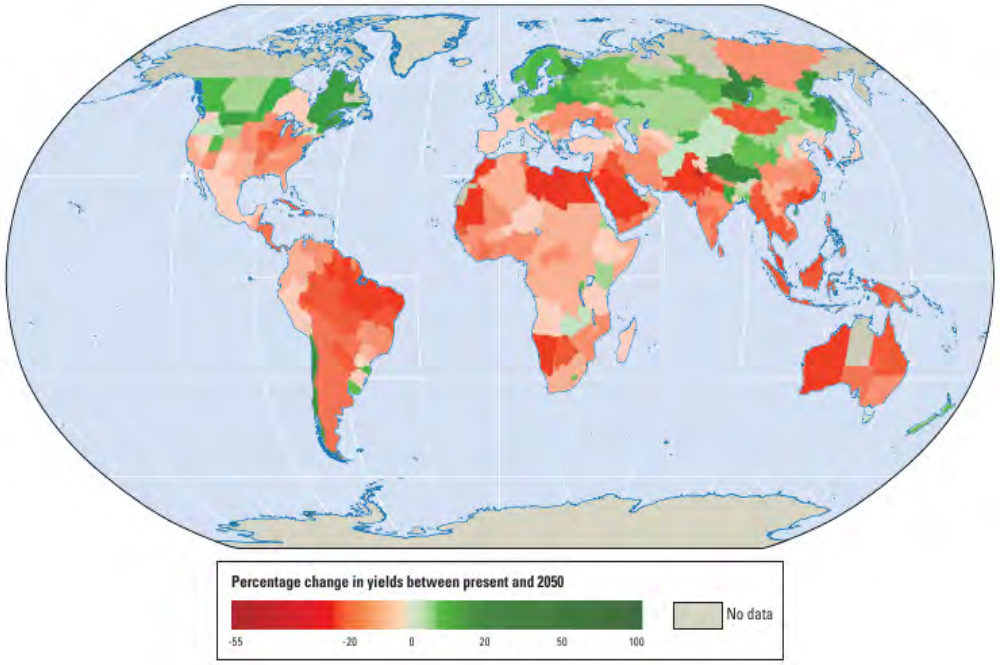
Vulnérabilité des agriculture nationales face au changement climatique



% changement projeté des récoltes des 11 cultures principales:
[2046-2055] vs. [1996-2005]

3 SRES x 5 GCMs,

avec et sans fertilisation CO_2



Le changement climatique va vraissemblablement réduire les récoltes dans la plupart des pays en 2050, d'après les pratiques agricoles courantes et les variétés utilisées.

Müller et al. *(World Bank 2009)*

Couplage - modèle LUC

MAgPIE

(Lotze-Campen et al., 2008, 2010)

Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment

Structure du Modèle

[*i*] **régions économiques** (10)
[*j*] **cellules spatiales** (2178, 3° résolution ~ 300x300km)
[*k*] **activités** (32): culture, élevage, irrigation, biofuels, etc
[*m*] **contraintes**: limites biophysiques, rotations, bilan économique

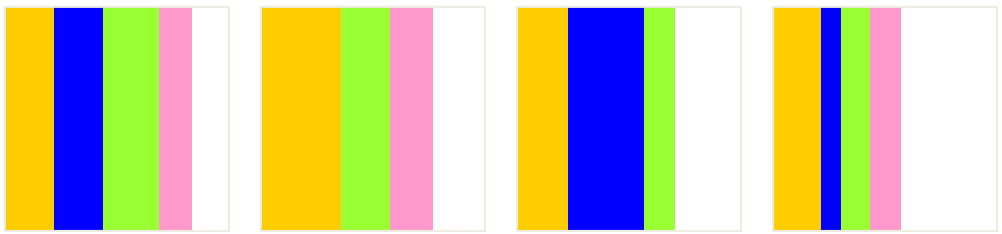
Contraintes biophysiques (LPJ)
terre, eau, climat

Rendements (LPJmL)

Contraintes socio-économiques (GTAP, FAO)
demande, coûts structurels

Algorithme d'optimisation (Linear Programming) [LP]
Minimisation des coûts de production, sous des contraintes économiques et environnementales

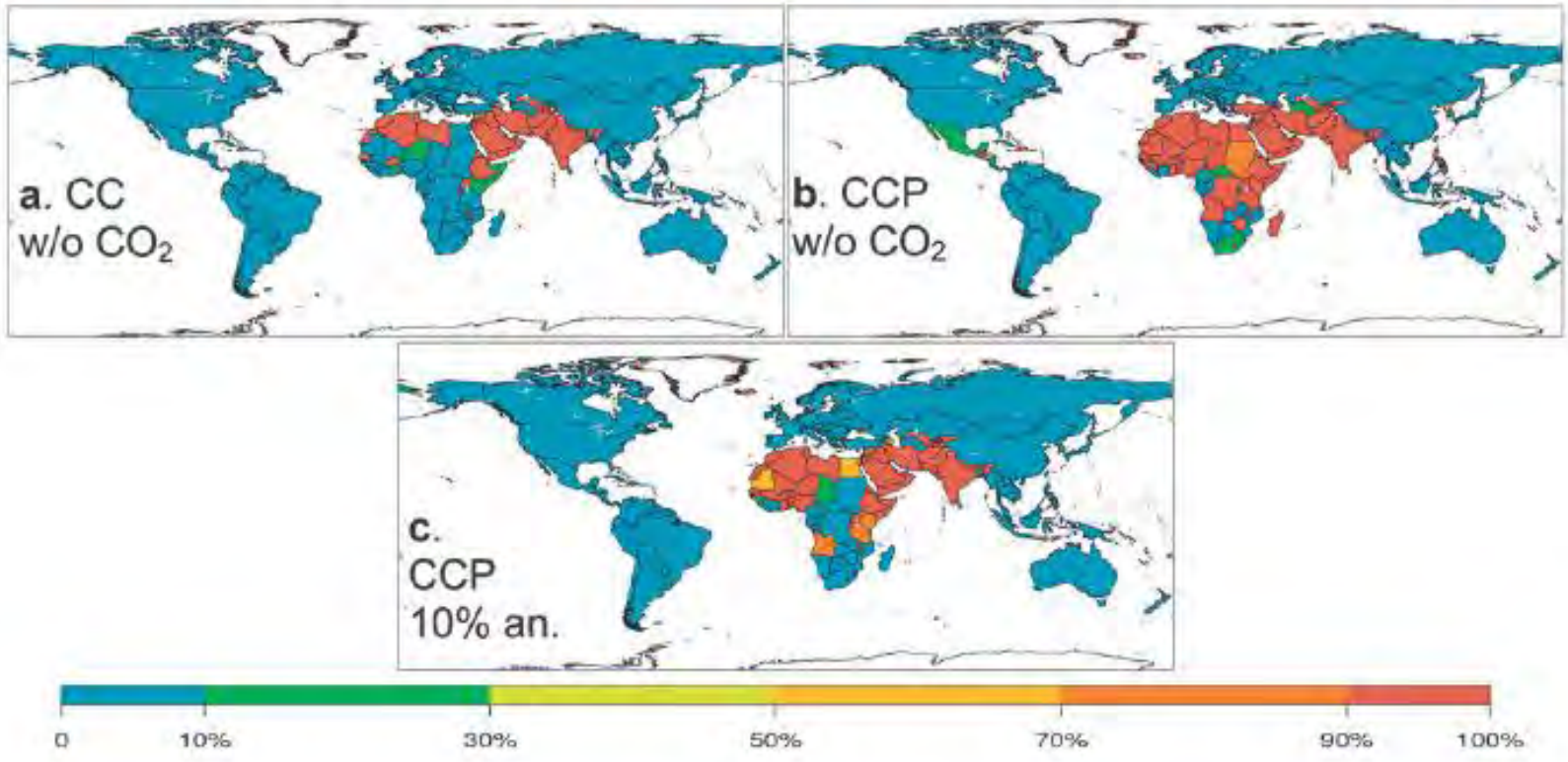
occupation du sol dans les cellules de LPJ mL (%)



Autres sorties du modèle

- production
- utilisation d'intrants, main d'oeuvre
- coûts (terre, eau)
- échanges entre les régions

Disponibilité en eau



Probalitité de manque d'eau pour la production alimentaire en 2080.

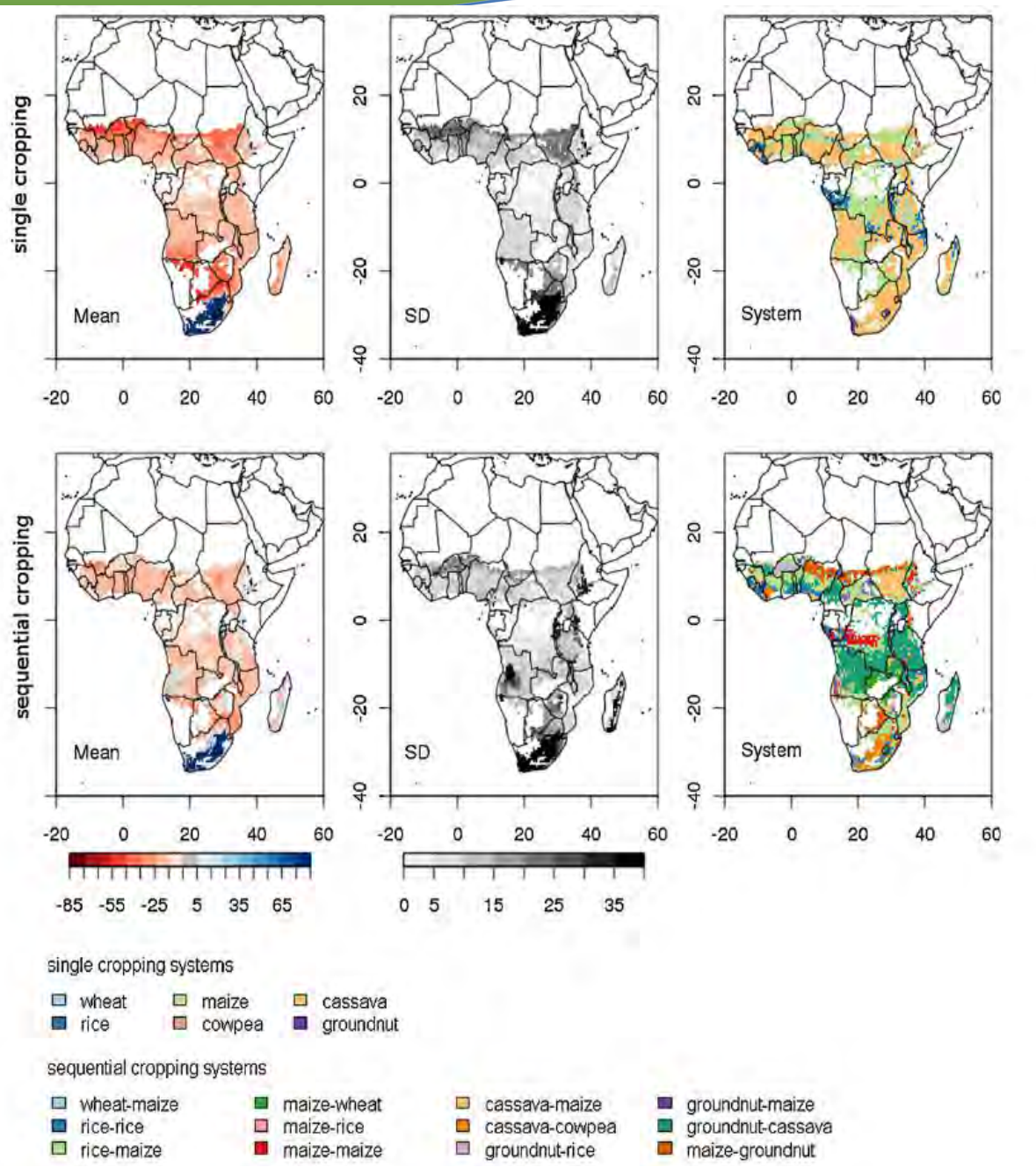
a) changement climatique (CC)
b) CC et augmentation de la population (P)
c) CCP, CO2 et moins de viande

(Gerten et al. 2011)

Adaptation au changement climatique

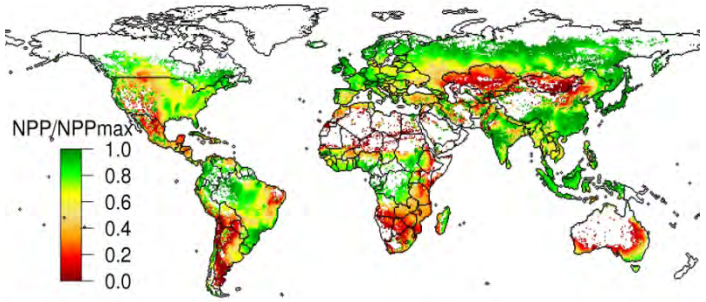
Choix du système de culture:

Système de cultures multiples minimisant les pertes de rendement entre 2070–2099 et 1971–2000 (Waha et al. 2013)

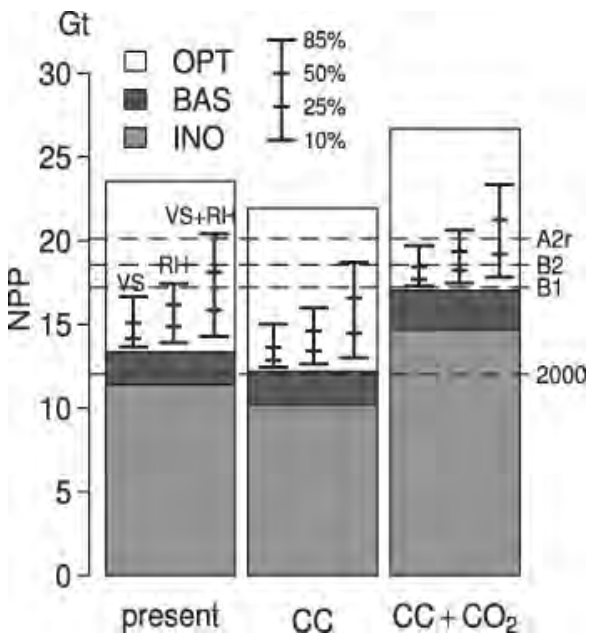


Agriculture pluviale

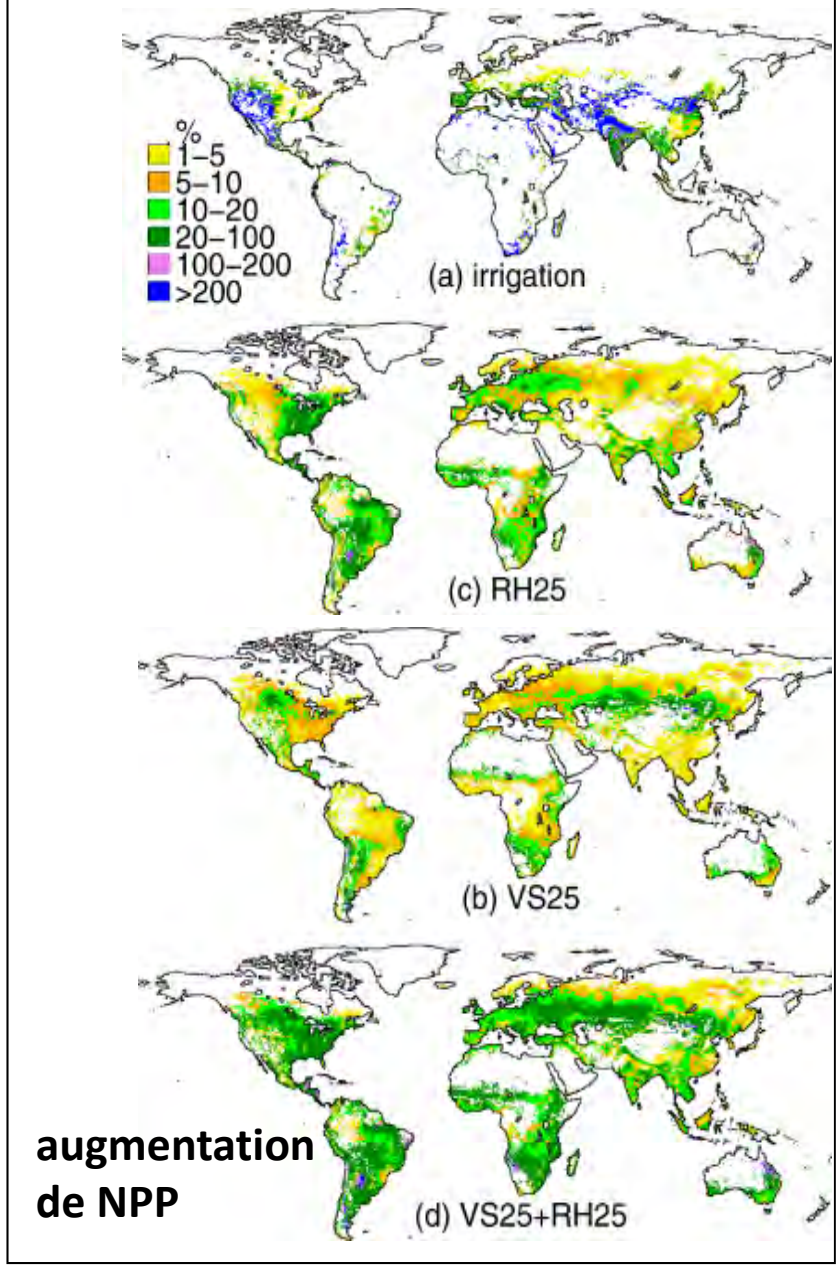
Potentialités pour augmenter la productivité de l'agriculture pluviale à l'aide de pratiques agricoles "simples" (Rost et al. *2009)*



Limitation de la NPP dûe au stress hydrique



NPP des cultures (Gt DM/yr), présent et futur



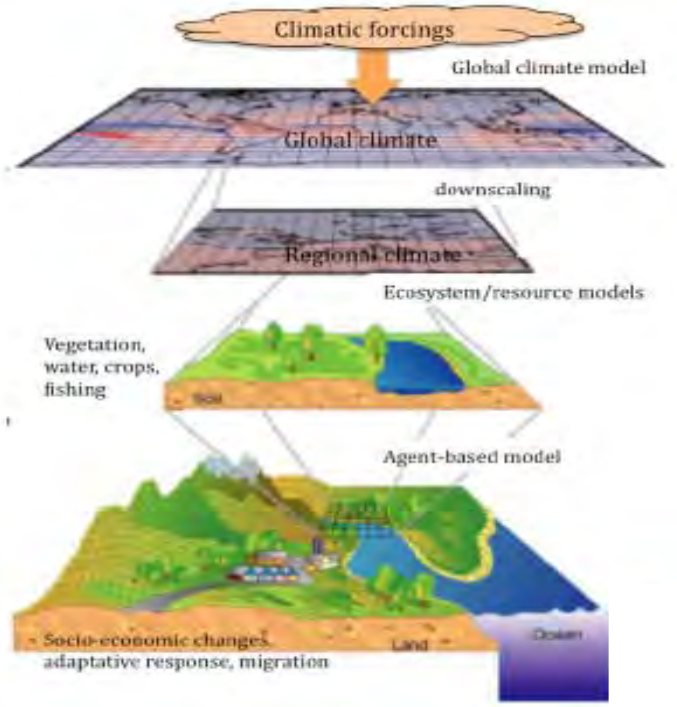
augmentation de NPP

OT-Med

Labex OT-Med
(Objectif Terre : Bassin Méditerranéen)

2012-2020

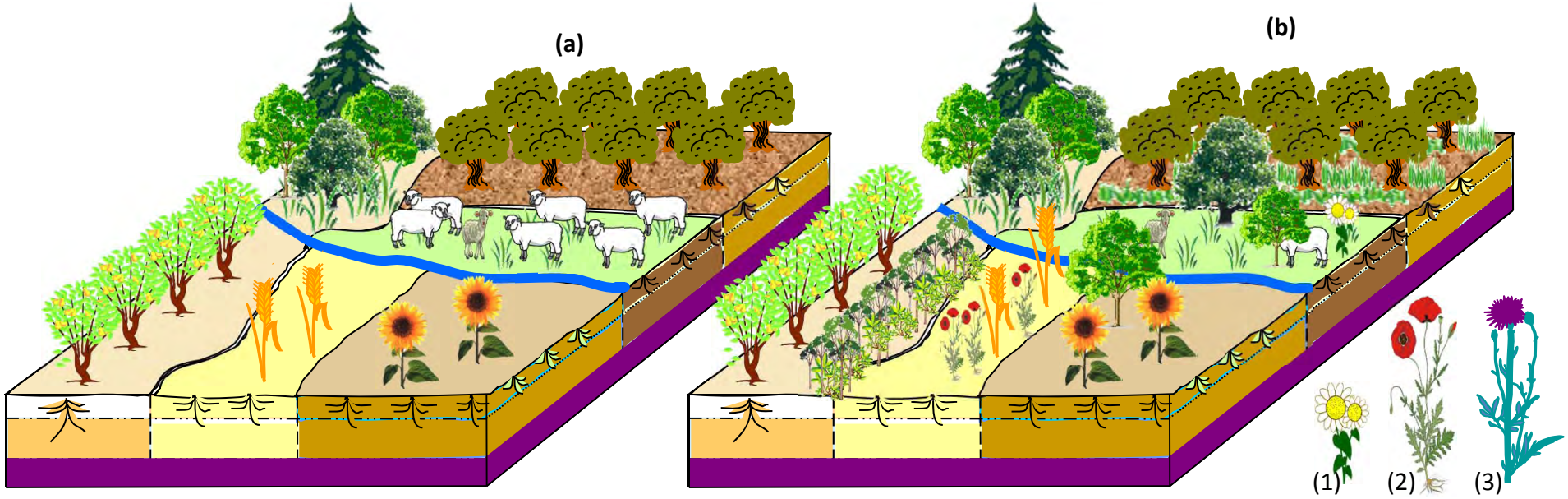
- Fonctionnement des systèmes socio-écologiques Méditerranéens (passé, présent, futur)
- Observations + modélisation pour une estimation des services écosystémiques des écosystèmes marins et terrestres en interaction avec les sociétés humaines



Agrosystèmes méditerranéens

- nombreuses cultures pérennes
- diversité de l'assolement
- présence d'infrastructures agroécologiques
- maintien de pratiques traditionnelles ou choix de systèmes innovants (agroécologiques)

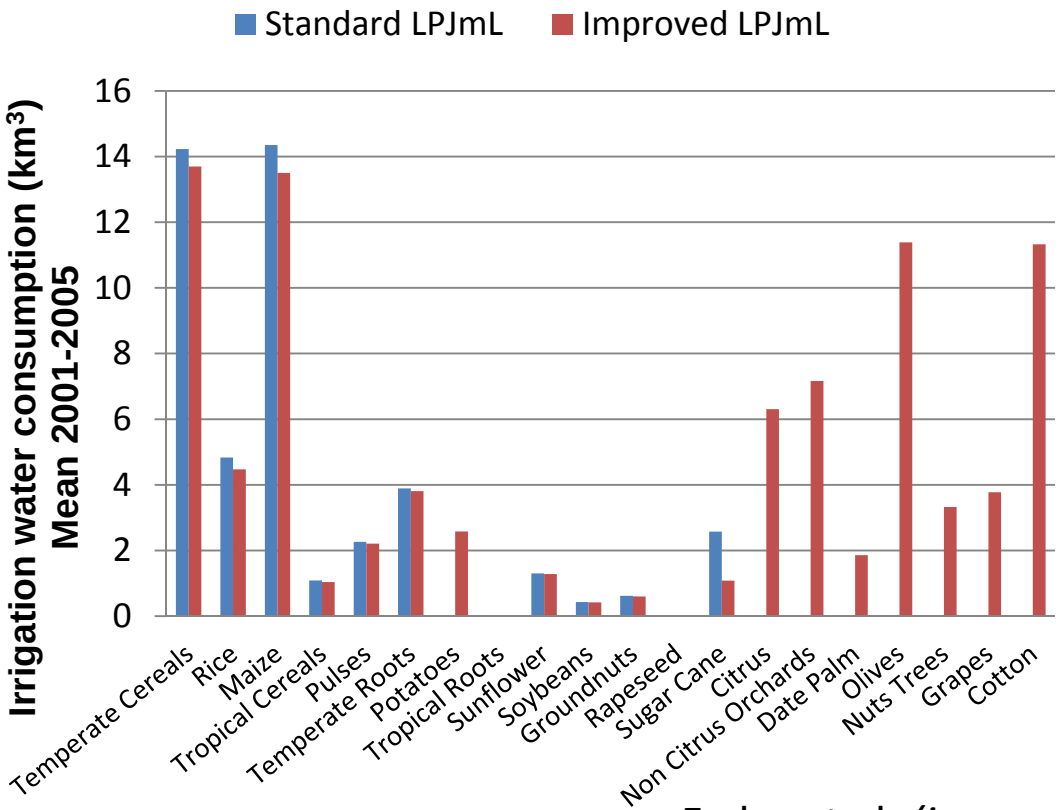
=> meilleure conservation de la biodiversité
=> meilleure utilisation de l'agrobiodiversité fonctionelle



Ajout de 10 cfts

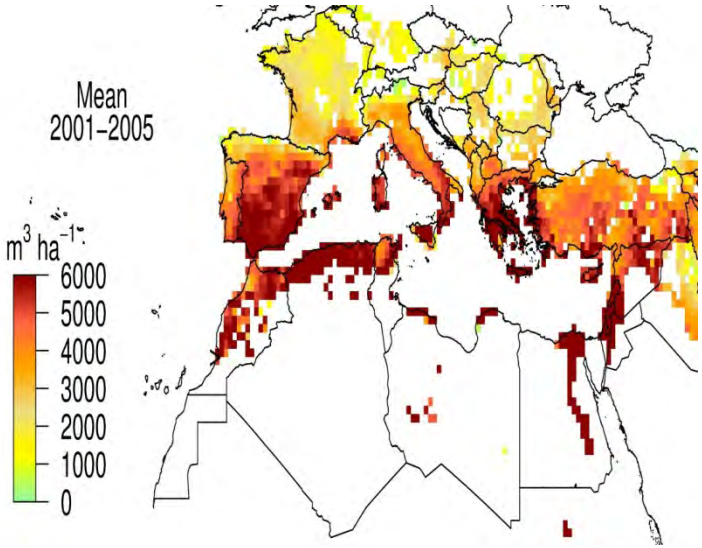
- Fichier historique de land use
- 1ère paramétrisation et
- implementation dans le code

=> représentation de 75% des cultures, dont les grandes consommatrices d'eau

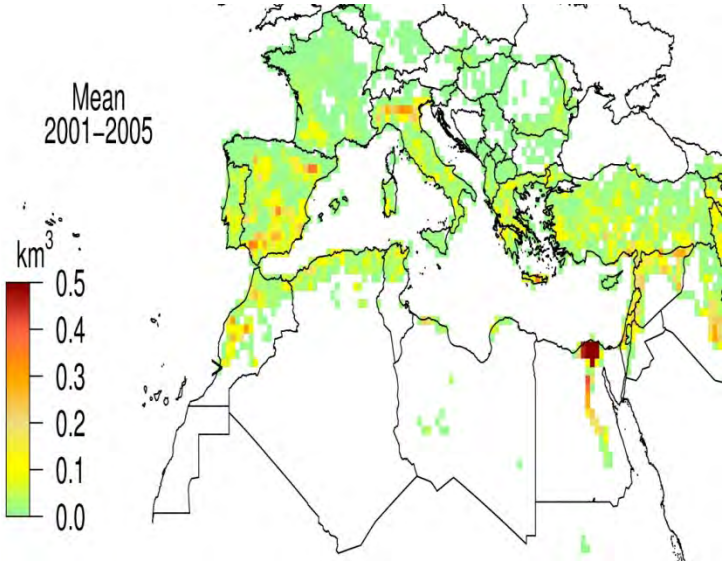


Fader et al. *(in prep)*

Demande en eau pour l'irrigation



Demande en eau par ha



Demande absolue en eau: 90 km^3

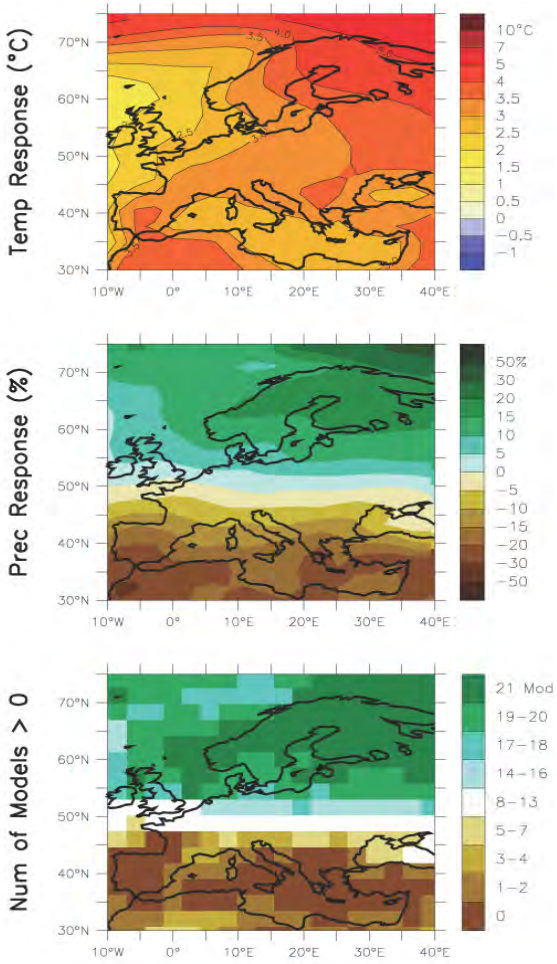
$\Rightarrow$ 187 km^3 nécessaire

$\Rightarrow$ 105 km^3 si irrigation goutte à goutte

Fader et al. *(in prep)*

Contexte méditerranéen

1) le stress hydrique va augmenter

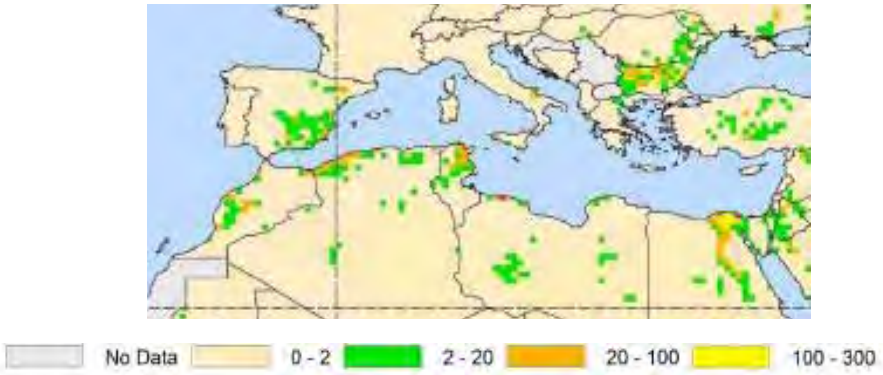


Changement climatique. Europe 1980-1999 to 2080-2099. Simulations MMD-A1B, 21 models ensemble *(IPCC, 2007)*

2) certaines pratiques sont non durables

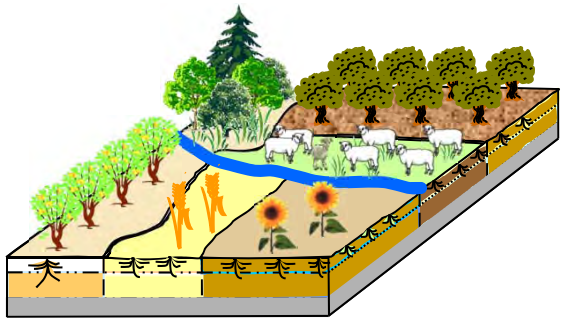
Erosion, vigne, Vaucluse *(Llewellyn 2006)*

Salinisation, verger, Sicile *(Crescimanno 2004)*



Dépletion des réserves souterraines en eau, année 2000 (mm/yr) *(Wada et al. 2010)*

Contexte méditerranéen



LPJmL avec les cfts Méditerranéens:
monocultures
(cultures intermédiaires, incorporation des résidus)
=> impacte la matière organique du sol mais pas de rétroaction

Une grande variété de pratiques innovantes

Ces pratiques:

- réduisent les labours
- augmentent la couverture du sol
- augmentent les intrants de carbone
- augmentent la diversité des cultures et les associations

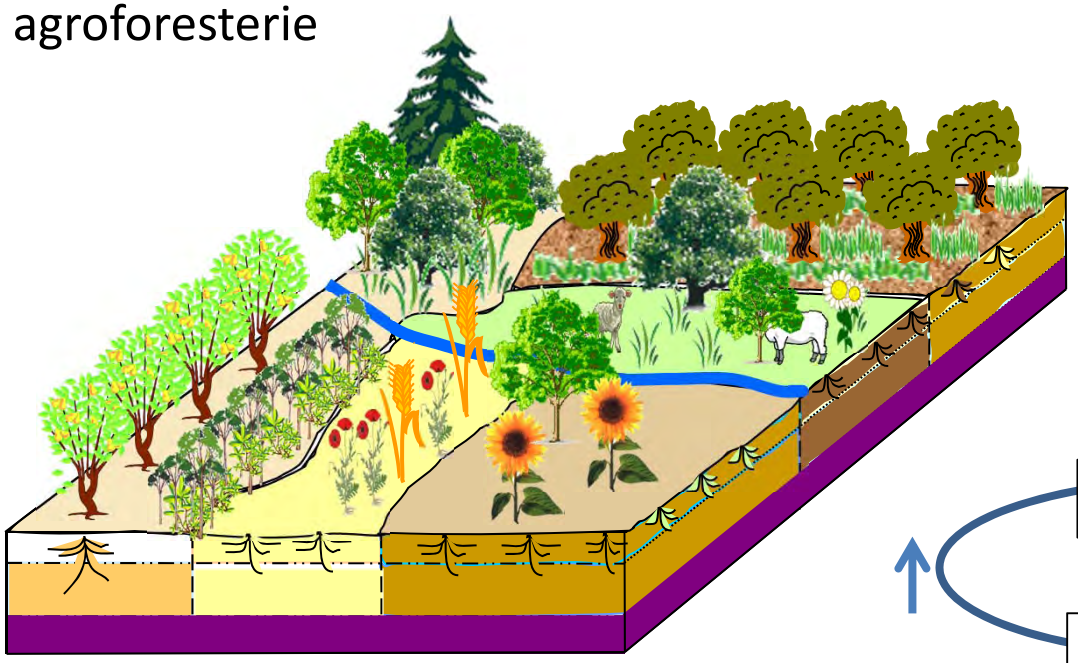
⇒ changement des propriétés physiques, chimiques, et biologiques des sols.
⇒ augmentation de la matière organique du sol, de la capacité des sols à absorber et à garder l'eau, de la diversité biologique, et de la fertilité du sol.
⇒ augmentation ou maintien des rendements avec une moindre demande en eau, et une plus importante séquestration du carbone.

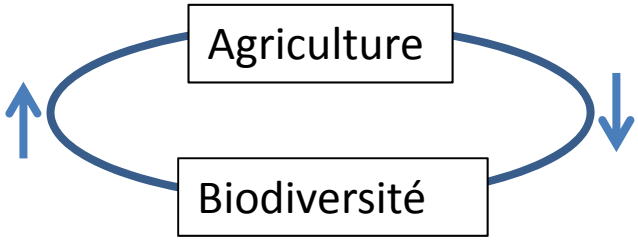
(thèse OT-Med Simon Decock)

Biodiversité

En région méditerranéenne, de nombreuses pratiques traditionnelles et/ou innovantes concernent la diversité au niveau du paysage (de la ferme) et impactent la biodiversité spécifique et fonctionnelle.

- infrastructures agroécologiques: haies, arbres isolés, bandes fleuries,
- faibles niveau d'intrants chimiques
- agroforesterie





Agrobiodiversité / Services écosystémiques

Un enjeu particulier:
Comprendre les interactions
entre Agriculture et Biodiversité

Forçages climatiques et socio-économiques

Pas de modification du système intensif dominant (risque de sur-exploitation et de dégradation)

Production ↑ ↓

Biodiver

Evolution vers une agriculture conservant/s'appuyant sur la biodiversité

Production ↓

Biodiversité ↑

Abandon

Production ~0

Biodiversité ↑ ↑

Peut-on maintenir un système de production agricole
viable, durable, résiliant?
Quel est le rôle de la biodiversité?

Famille des modèles LPJ-DGVM

Distribution de la végétation, échanges d'eau et de carbone

DGVM: Dynamic Global Vegetation Model (pattern + process)

LPJ (Sitch et al. 2003)
- végétation naturelle
- code Fortran, maintenance à Bern (Bern-CC model)

LPX (Prentice et al. 2011)
- végétation naturelle + SPITFIRE + methane/permafrost
- code Fortran, maintenance?

LPJ-GUESS (Smith et al. 2001)
- végétation naturelle + cultures (LPJmL)
- représentation de la compétition entre individus: classes d'âge, cohortes.
- paramétrisation possible au niveau de l'espèce
- code C++, maintenance à Lund

LPJmL (Bondeau et al. 2007)
- végétation naturelle + agriculture + bioénergie + SPITFIRE
- intégration dans le modèle intégré d'impacts MAgPIE
- code C, maintenance à Potsdam