



Productivité des cultures dans le bassin Méditerranéen au cours de l'Holocène

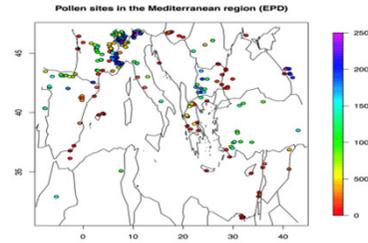
Alberte Bondeau, Joël Guiot, Marianela Fader, Sinan Shi

Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et terrestre (IMBE),
Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences de
l'Environnement (CEREGE),
Labex OT-Med, Aix-en-Provence



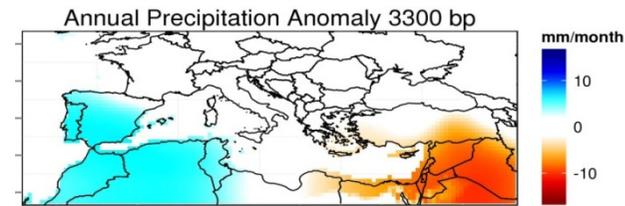
Modélisation intégrée

Données polliniques
(proxy pour la végétation
de l'Holocène)



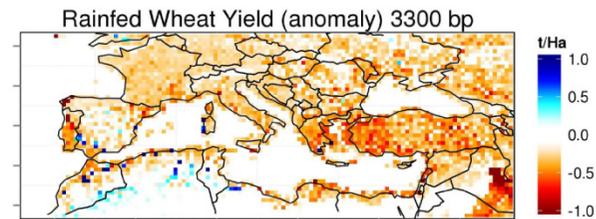
inversion d'un modèle de distribution de la végétation

Reconstruction du
climat de l'Holocène



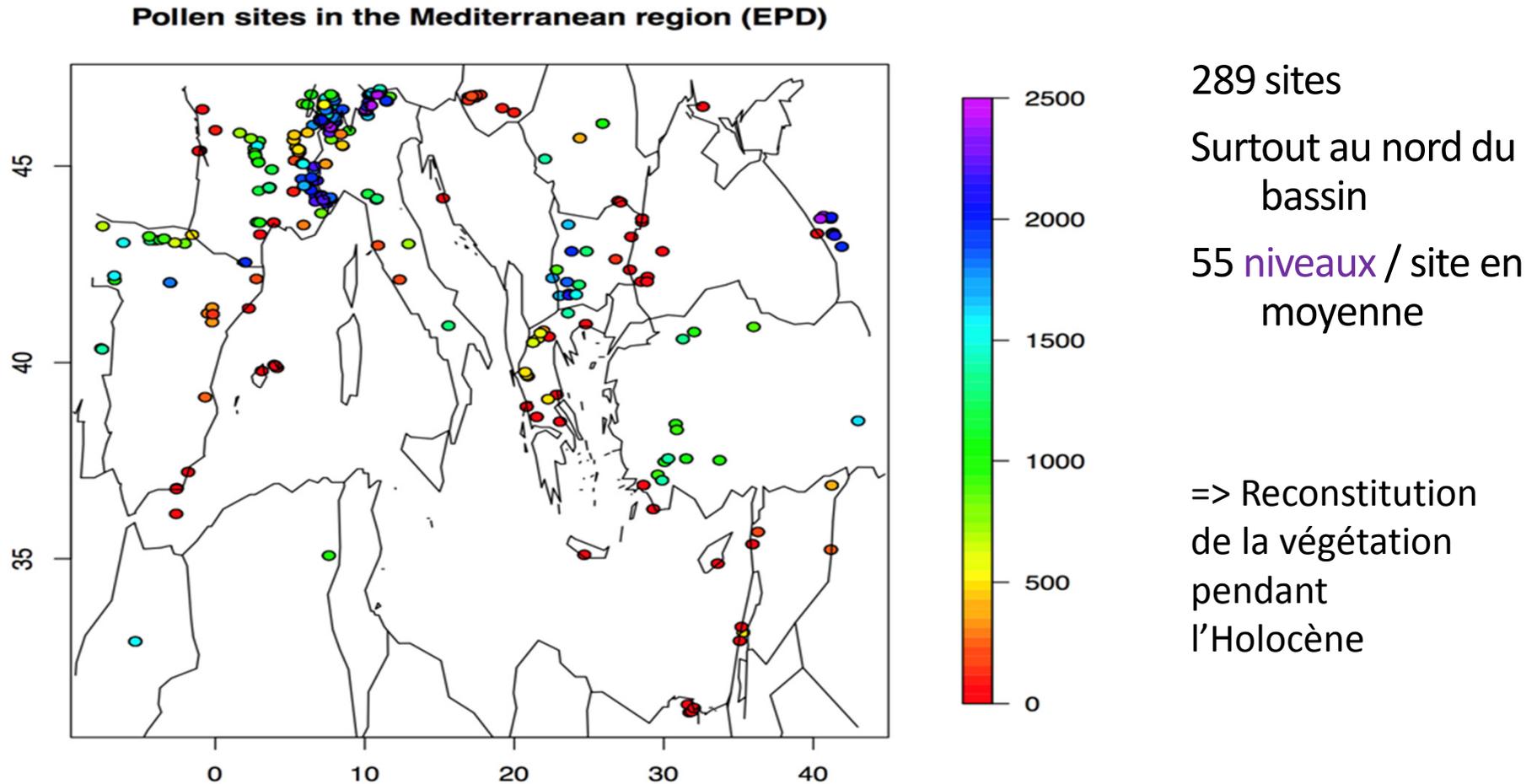
modèle de fonctionnement des agro-écosystèmes

Simulation des variations du
rendement des cultures
pendant l'Holocène



1) Modélisation du climat de l'Holocène

Séries polliniques pour les derniers 10 ka BP - European Pollen Database (EPD)



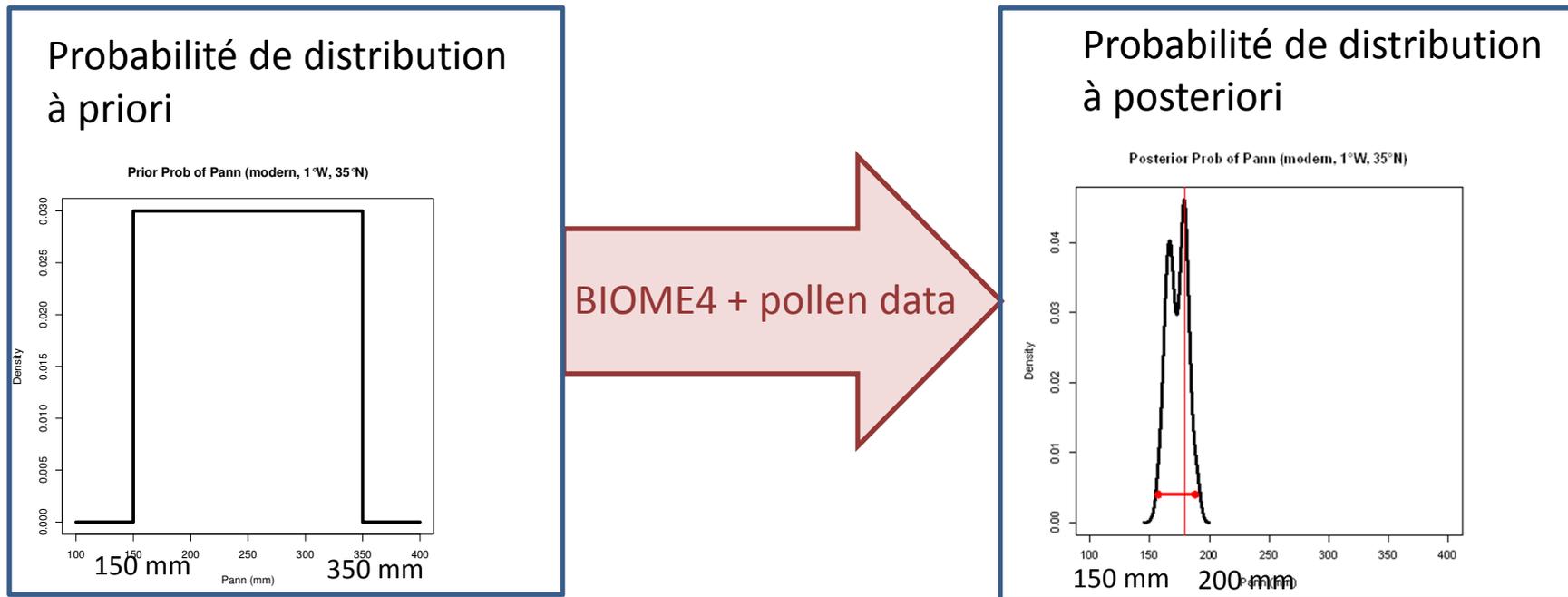
1) Modélisation du climat de l'Holocène

Inversion du modèle BIOME4 (biogéochimie/biogéographie) (Kaplan et al, 2003)

Végétation = f (type de sol, CO₂, climat)

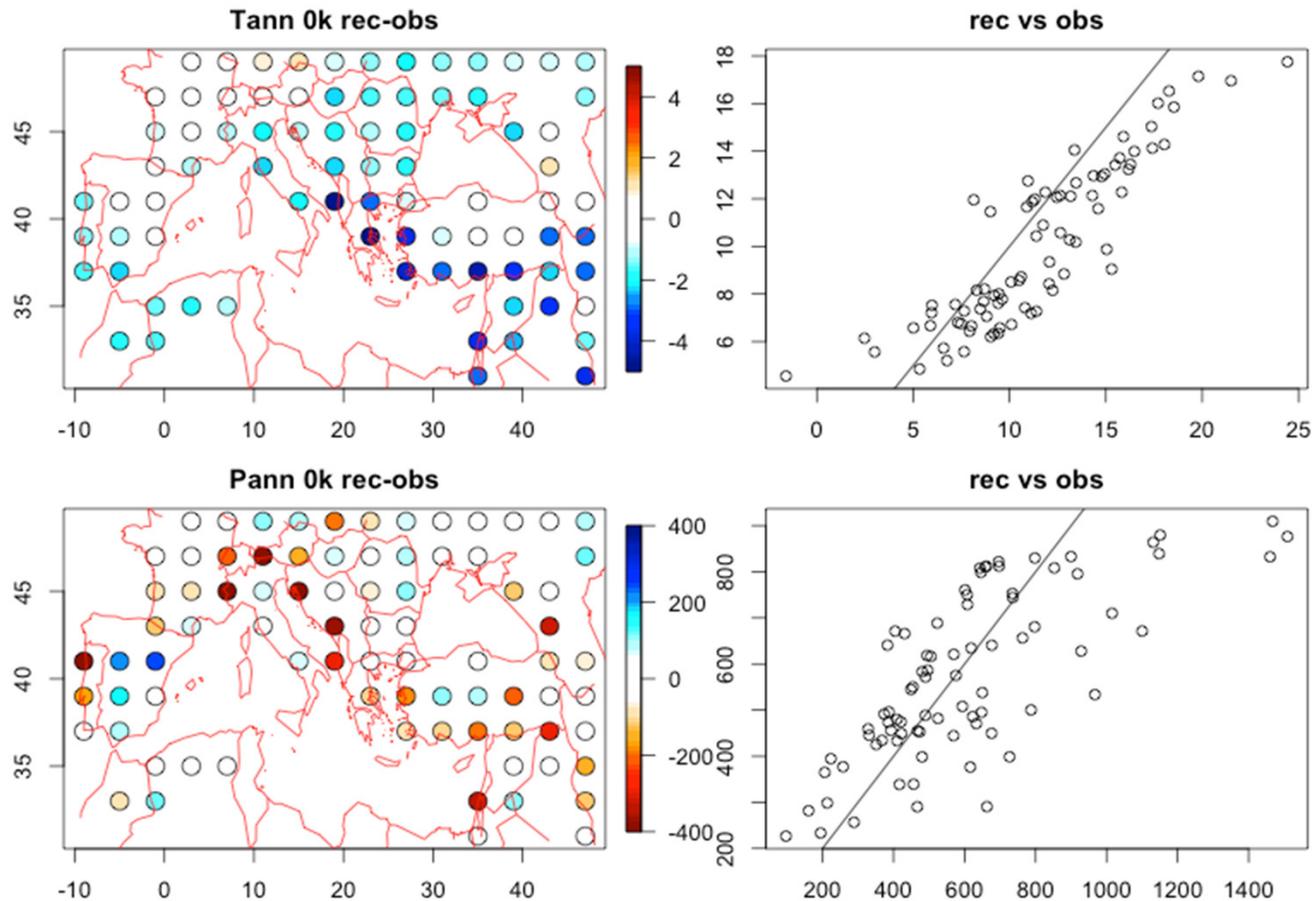
Approche bayésienne

Ex: précipitation annuelle:



1) Modélisation du climat de l'Holocène

Validation pour la période actuelles avec les observations



Température
 $R^2=0.76$

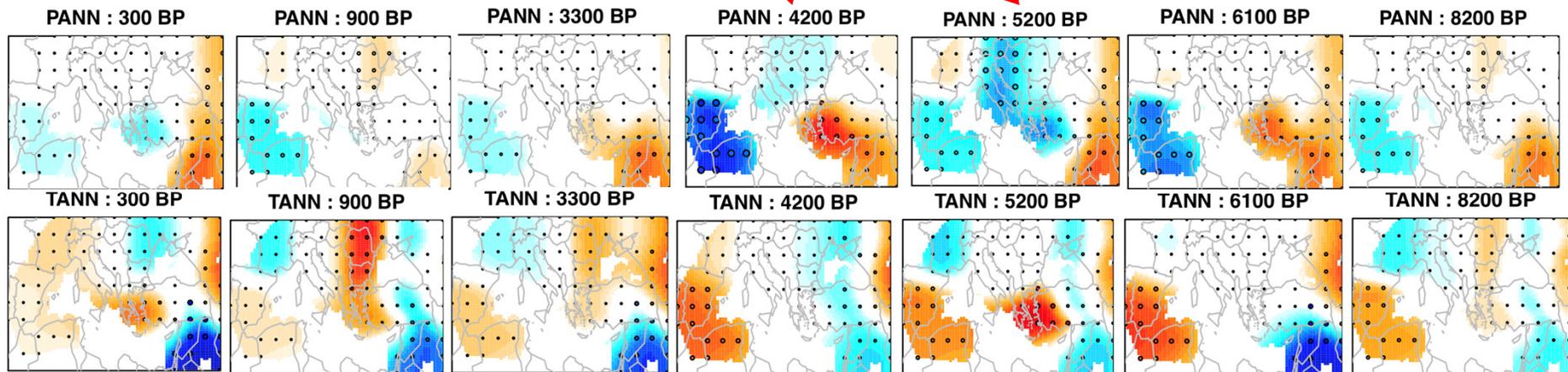
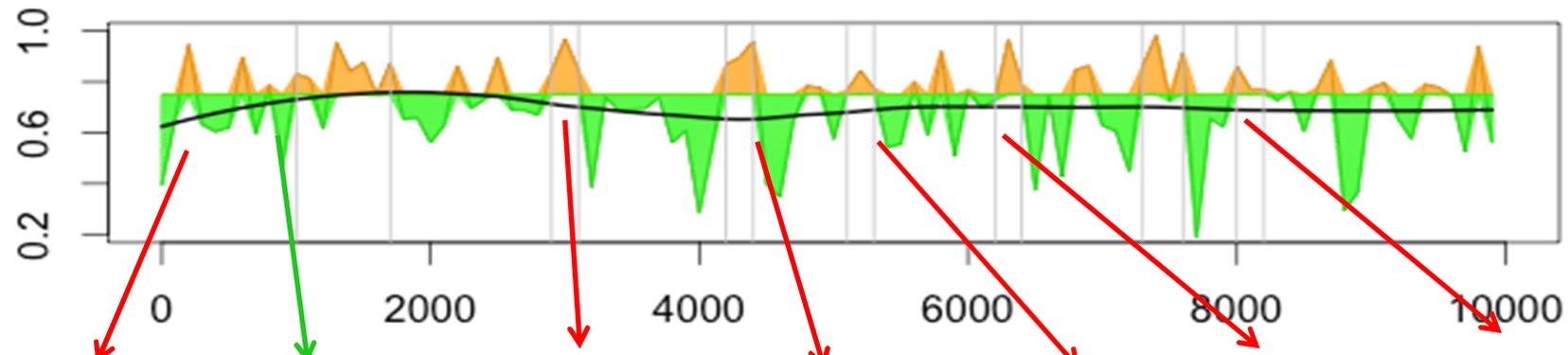
Précipitation
 $R^2=0.55$

- Sous-estimation des températures, surestimation des précipitations (sites polliniques plus élevés que la base de données spatialisées du climat historique)
- Solution: calcul des anomalies (passé vs. présent) à partir du climat actuel reconstruit plutôt qu'à partir du climat actuel observé

1) Modélisation du climat de l'Holocène

Evolution de l'index d'aridité au cours de l'Holocène

Probabilité SE sec + SO humide



Petit âge de
glace

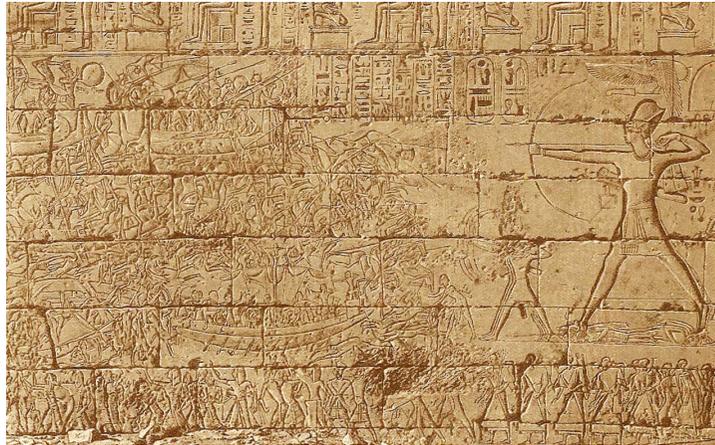
Optimum
médiéval

Crise fin de
l'âge de
bronze

Déclin cités
Palestiniennes,
effondrement
Akkadien

Effondrement
de la dernière
colonie Uruk

Expansion de
la culture
néolithique



- Durant l'Holocène, de nombreuses crises (guerres, migrations) dans les régions semi-arides du bassin Méditerranéen ont été renforcées par les problèmes de pénurie des ressources en eau lors des période de sécheresse.
- Quel est le rôle des probables chûtes de récolte lors des périodes de sécheresse dans ces crises sociétales?

Exemple de la crise de la fin de l'âge de Bronze (ca. 3200 BP):

- affecte les civilisations prospères de l'Est méditerranéen,
- spirale de déclin complexe, invasions (Sea People), en lien avec les conditions environnementales

PCA-Axis1 Syria versus PCA-Axis1 Cyprus

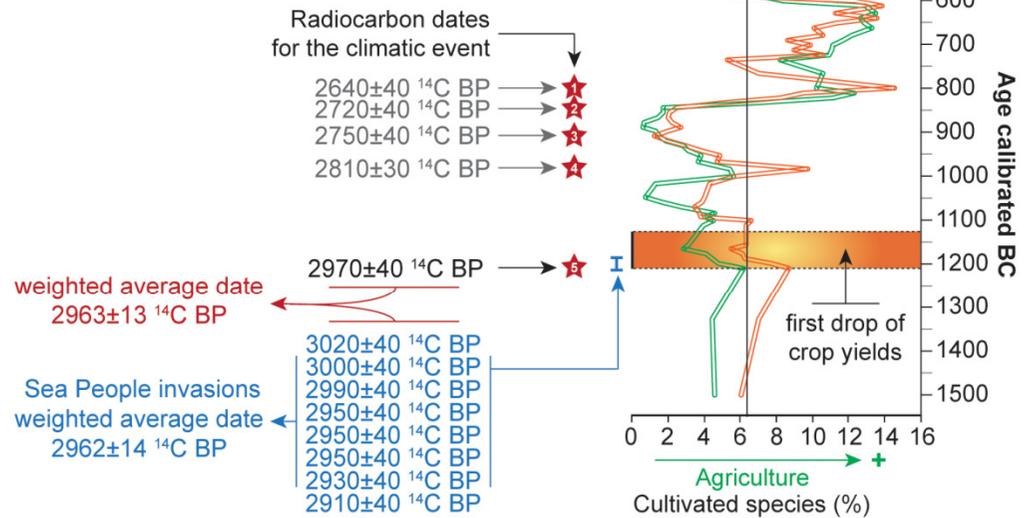
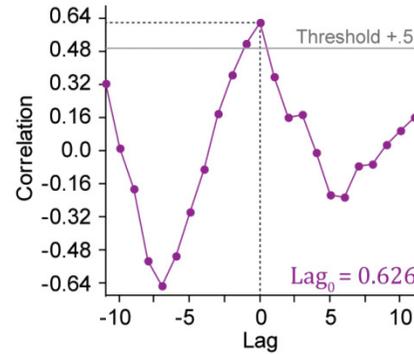
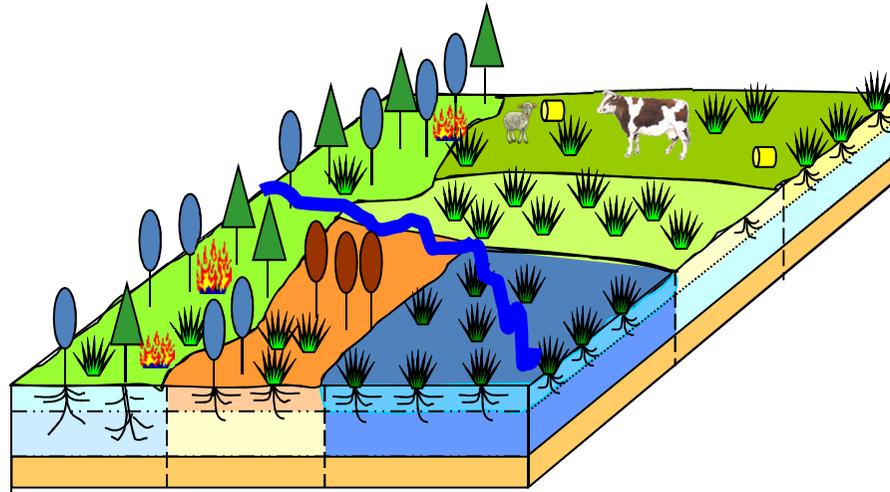
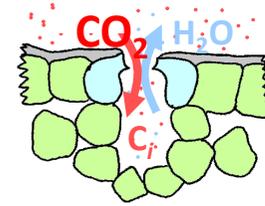


Fig. 6 in Kaniewski, Van Campo, Guiot, Le Burel, Otto, Baeteman (2013) Environmental Roots of the Late Bronze Age Crisis. *PLoS ONE*.

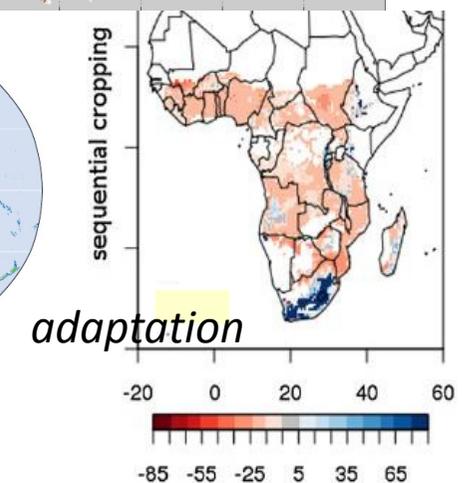
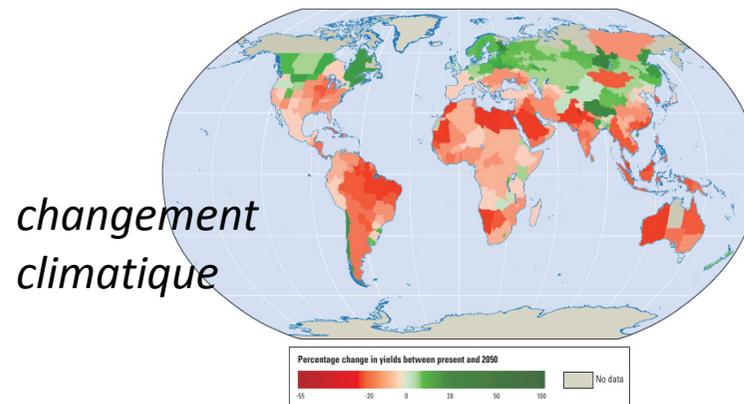
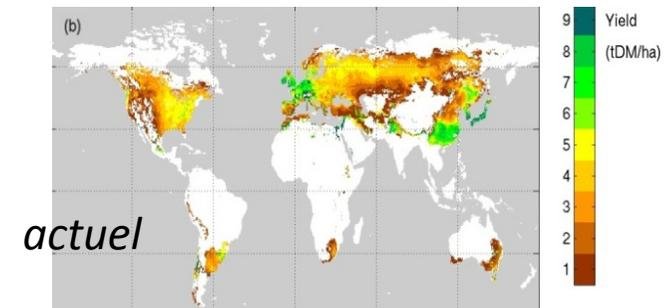
2) Modélisation de la production agricole durant l'Holocène

Modèle de fonctionnement des agro-écosystèmes LPJmL
(cycles couplés de l'eau et du carbone)



Rendements des cultures
= f(type de sol, CO₂, climat,
pratiques agricoles)

Bondeau et al. 2007
Rost et al. 2008, 2009
Müller et al. 2009, 2013
Gerten et al. 2011
Fader et al. 2010, 2012
Waha et al. 2012, 2013
...

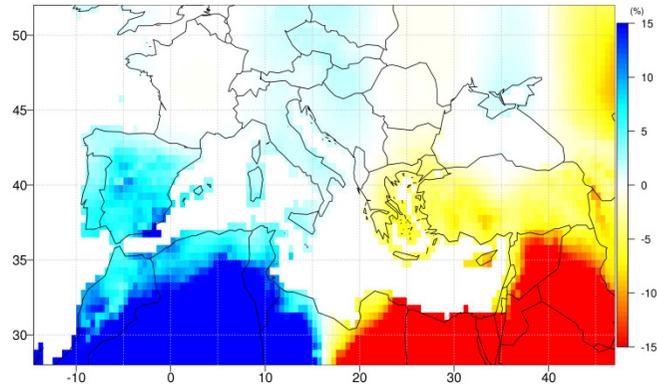


Global: 12 types de cultures
Méditerranée: 22 types

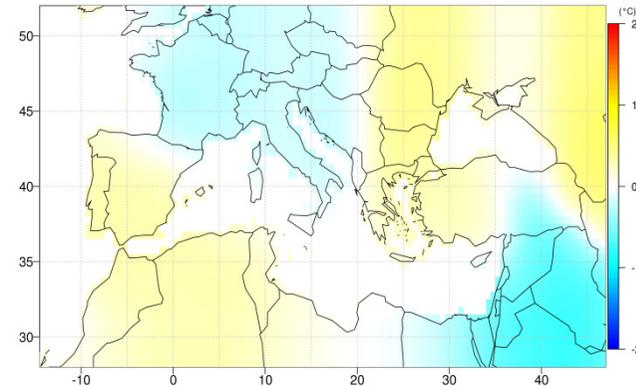
2) Modélisation de la production agricole durant l'Holocène

3300 BP vs. actuel (anomalies)

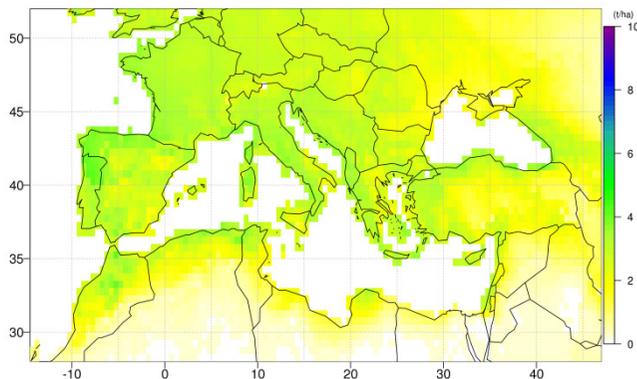
Précipitation (anomalies)



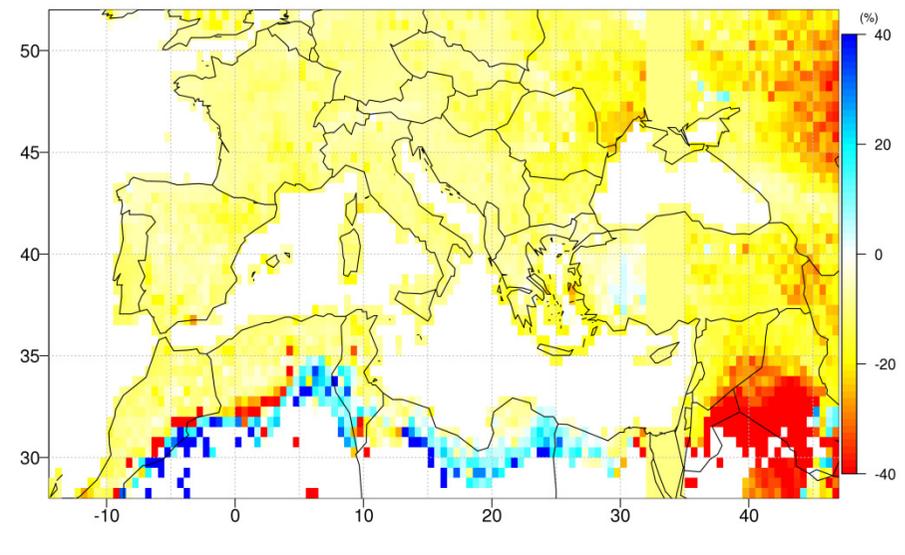
Température (anomalies)



- Rôle important du CO₂ dans les rendements plus élevés de la période actuelle (350-380 ppm vs. 280ppm)
- Rôle du niveau de rendement?



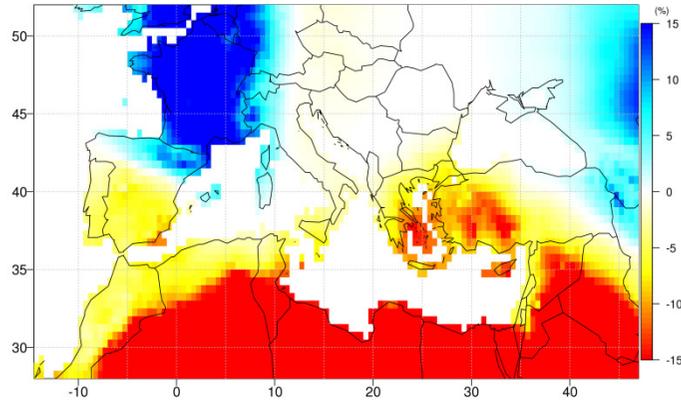
Rendement (anomalies)



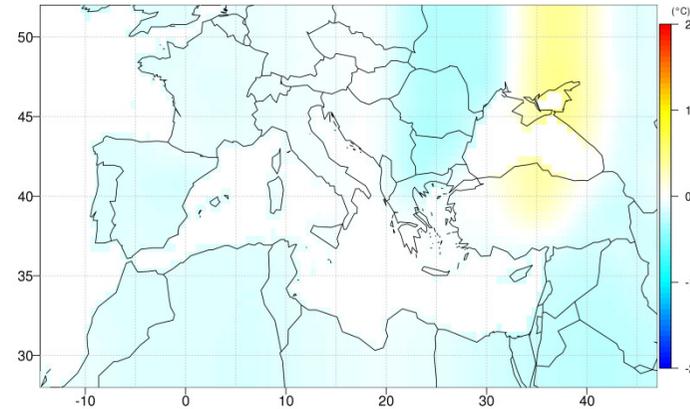
2) Modélisation de la production agricole durant l'Holocène

Shift climatique à la fin de l'âge de Bronze

Précipitation (anomalies)

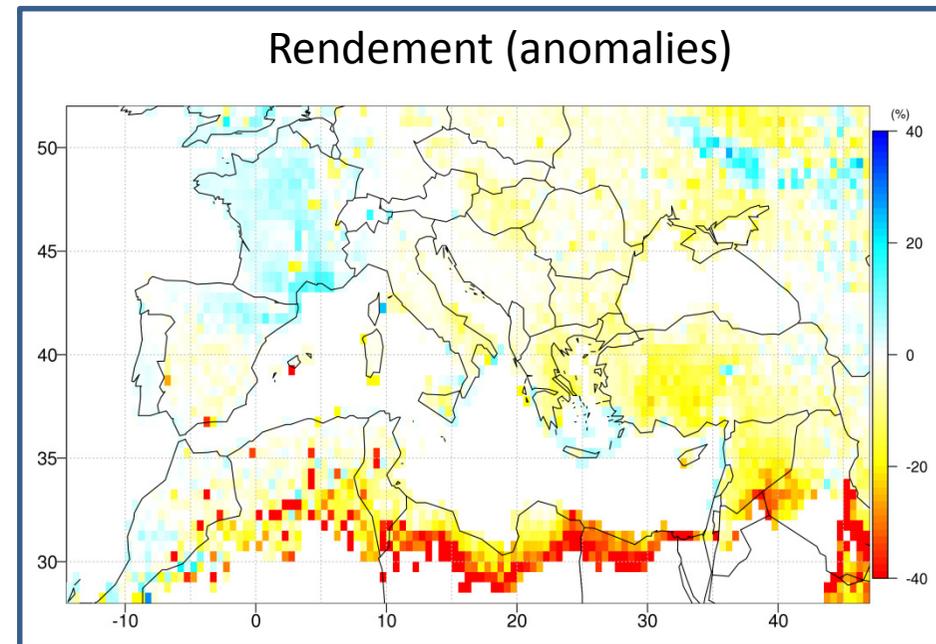


Température (anomalies)



Les simulations de LPJmL indiquent que le rendement des céréales (blé, orge) a nettement diminué dans l'Est et le Sud de la Méditerranée à la fin de l'âge de Bronze.

Rendement (anomalies)

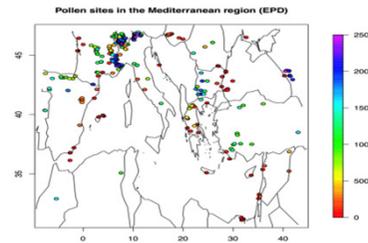


Conclusions

- Les variations spatio-temporelles du rendement des cultures au cours de l'Holocène peuvent être simulées par LPJmL, les sources historiques et archéologiques permettent des validations locales qualitatives (mais non quantitatives)
- Il est nécessaire de prendre en compte la variation du rendement due aux différentes pratiques agricoles (ensemble de simulations)
- L'objectif est d'utiliser ces anomalies de rendement simulées comme entrées d'un **modèle basé-agent** représentant la réponse sociétale. Le modèle cherche à mettre en évidence quelles sont les structures politiques et socio-économiques qui peuvent expliquer la chute d'une civilisation ou au contraire son adaptation face à des conditions environnementales plus difficiles.

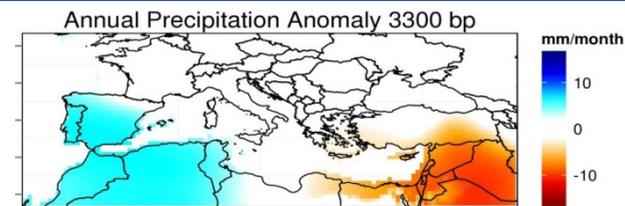
Modélisation intégrée ++

Données polliniques
(proxy pour la végétation
de l'Holocène)



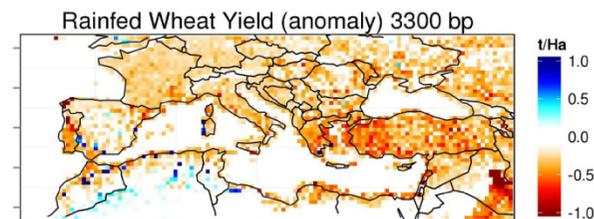
inversion d'un modèle de distribution de la végétation

Reconstruction du
climat de l'Holocène



modèle de fonctionnement des agro-écosystèmes

Simulation des variations du
rendement des cultures
pendant l'Holocène



Modèle basé agent

Réponse de la société