

Modélisation des variations décennales du climat en Afrique de l'Ouest

Escape WP3

Responsable : Frédéric Hourdin, LMD/CNRS/IPSL (Locean)

3 Grands axes

I. Reconstruction des décennies passées

II. Estimation de l'évolution du potentiel agricole ou hydrique

III. Evaluation des simulations du changement climatique CMIP/Cordex

En cours

I. Impact du changement climatique sur les rendements avec Sarrah

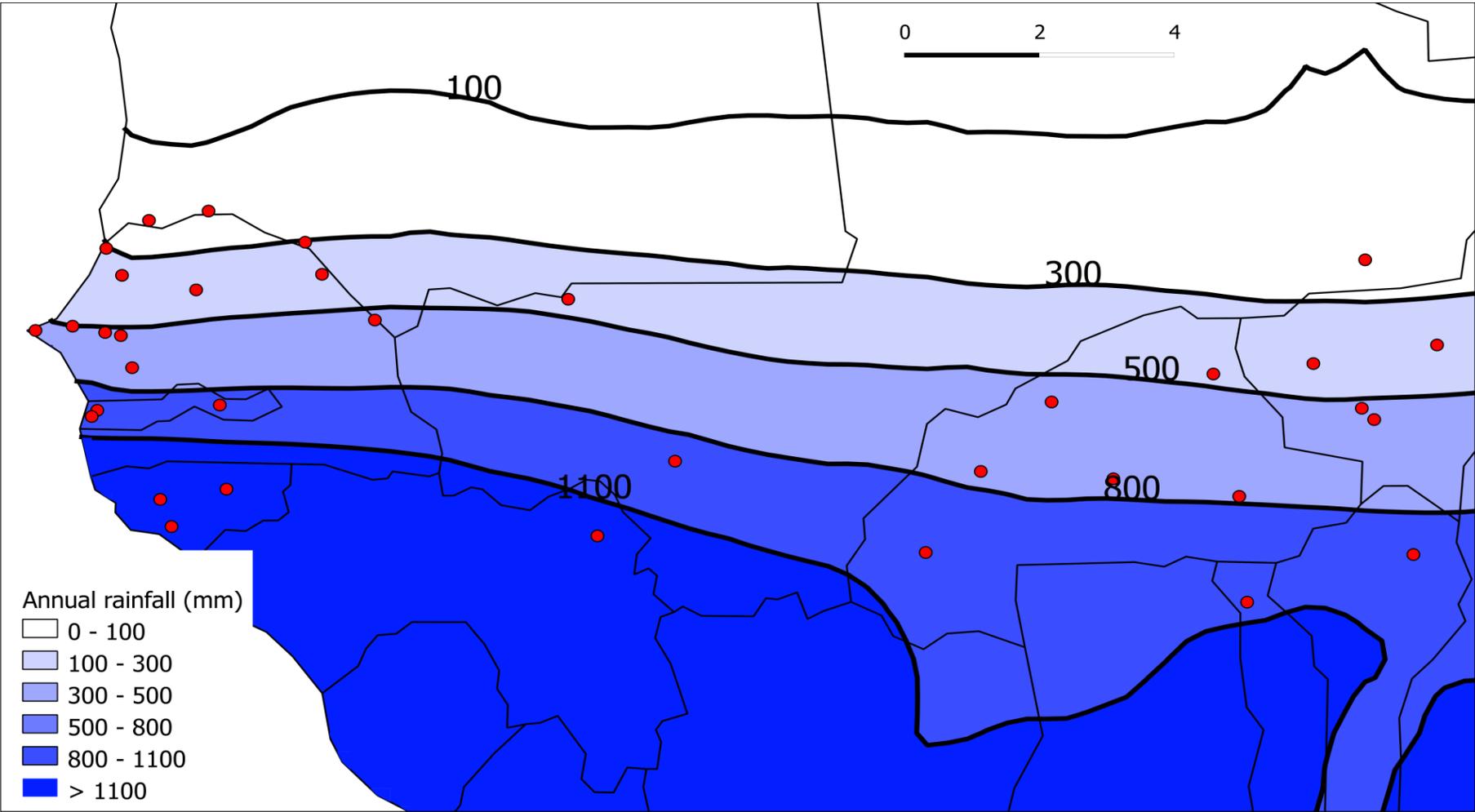
II. Impact de la distribution intra-saisonnière des pluies sur les rendements

III. Simulations du changement climatique pour CMIP et Cordex

Impacts du CC sur le rendement des céréales avec SARRAH

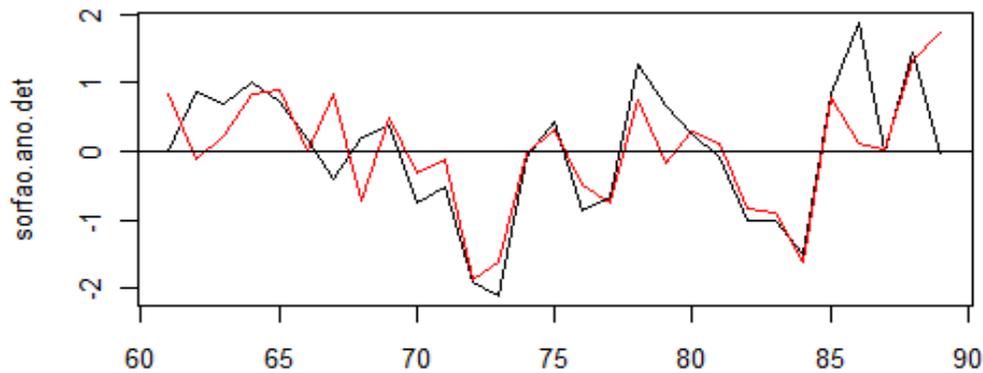
- Une simulation de référence sur 1960-1990 avec des données stations (3 variétés de mil et 3 variétés de sorgho). Validation des rendements simulés avec les rendements observés FAO.
- On ajoute des anomalies de pluies et de températures pour voir l'impact sur le rendement. On regarde comment se distribuent les modèles de l'IPCC AR4 par rapport à ces anomalies fictives.
- On regarde s'il y a des différences significatives entre les variétés modernes et traditionnelles ou entre les régions.

Carte des stations météorologiques qui ont servi à faire les simulations

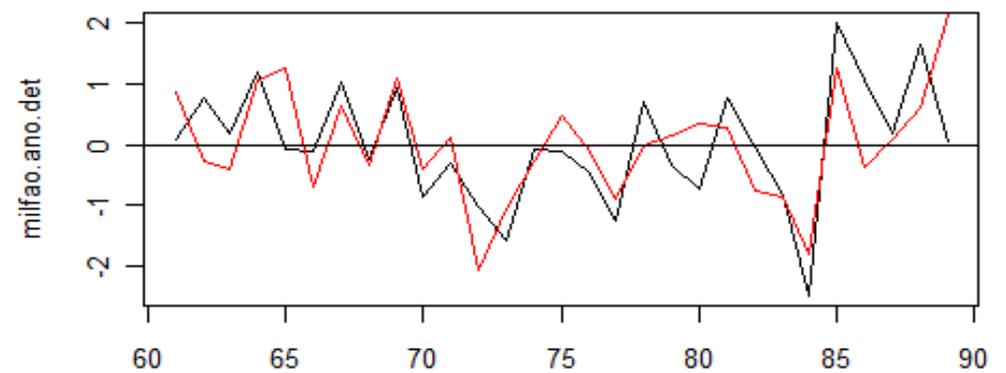


Rendement simulé vs Rendement FAO en moyenne sur toute l'Afrique de l'Ouest

SORGHO (R=0.71)

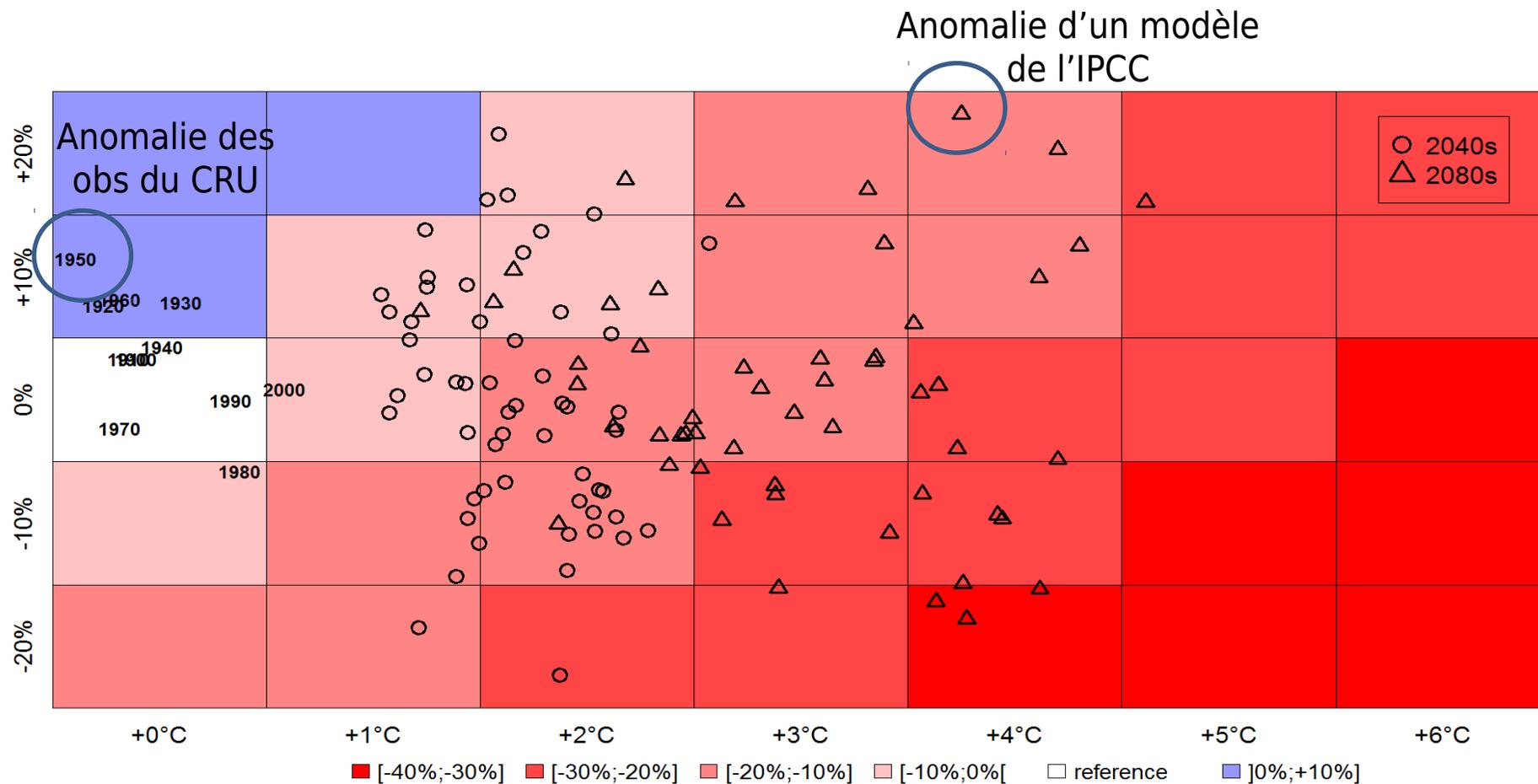


MIL (R=0.63)

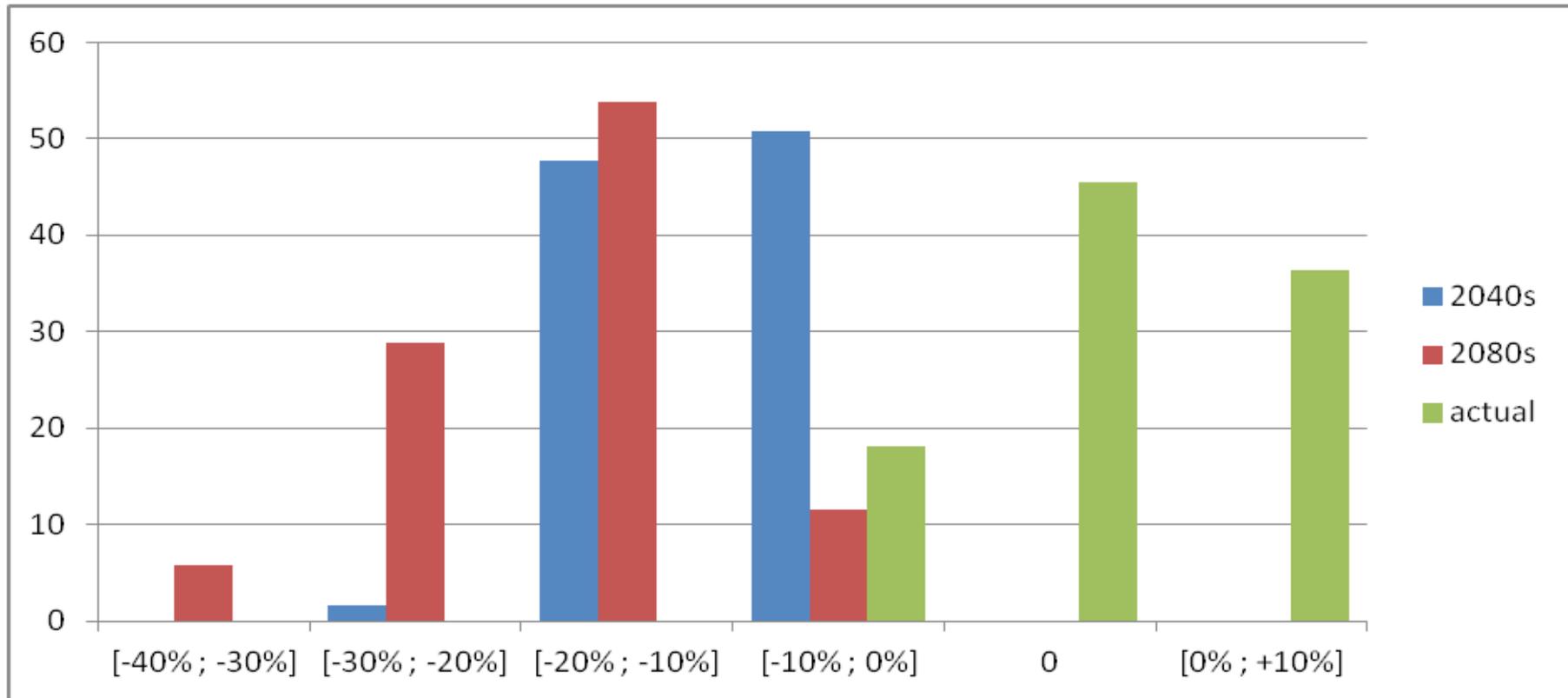


Le modèle SARRAH marche bien
(mais on a enlevé la trend et les séries sont standardisées)

Changements dans la moyenne de rendement multivariété dans toute l'Afrique de l'Ouest

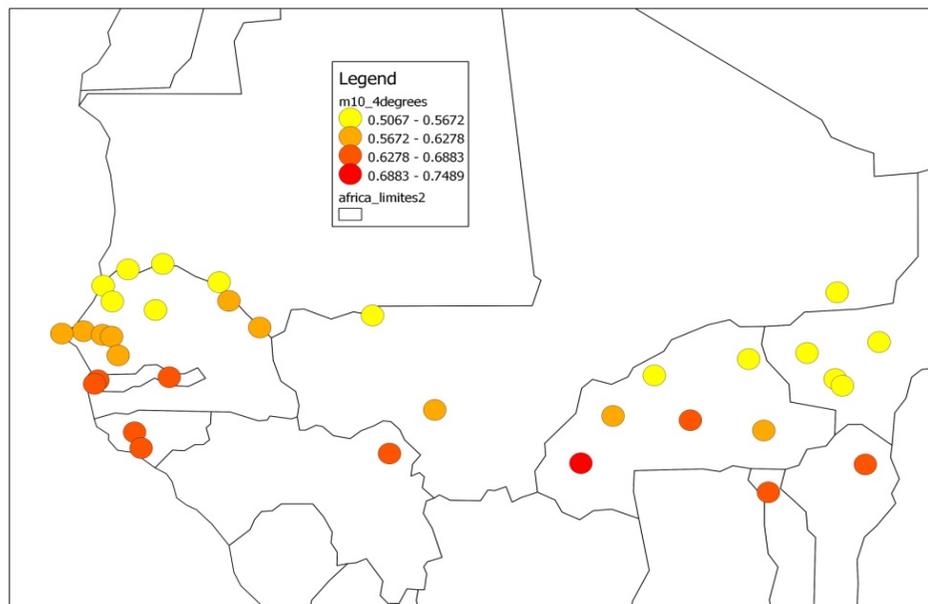


Distribution des changements dans la moyenne de rendement multivariété dans toute l'Afrique de l'Ouest

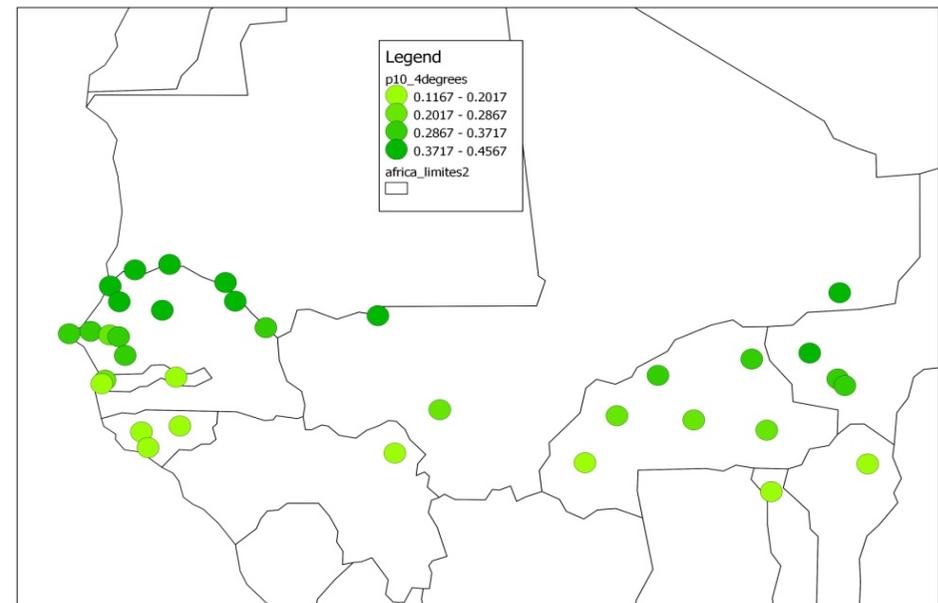


Probabilité de changement de 10% de rendement moyen dans l'ensemble des scénarios de pluies en cas de réchauffement de +4°C

Probabilité de baisse de 10% de rendement

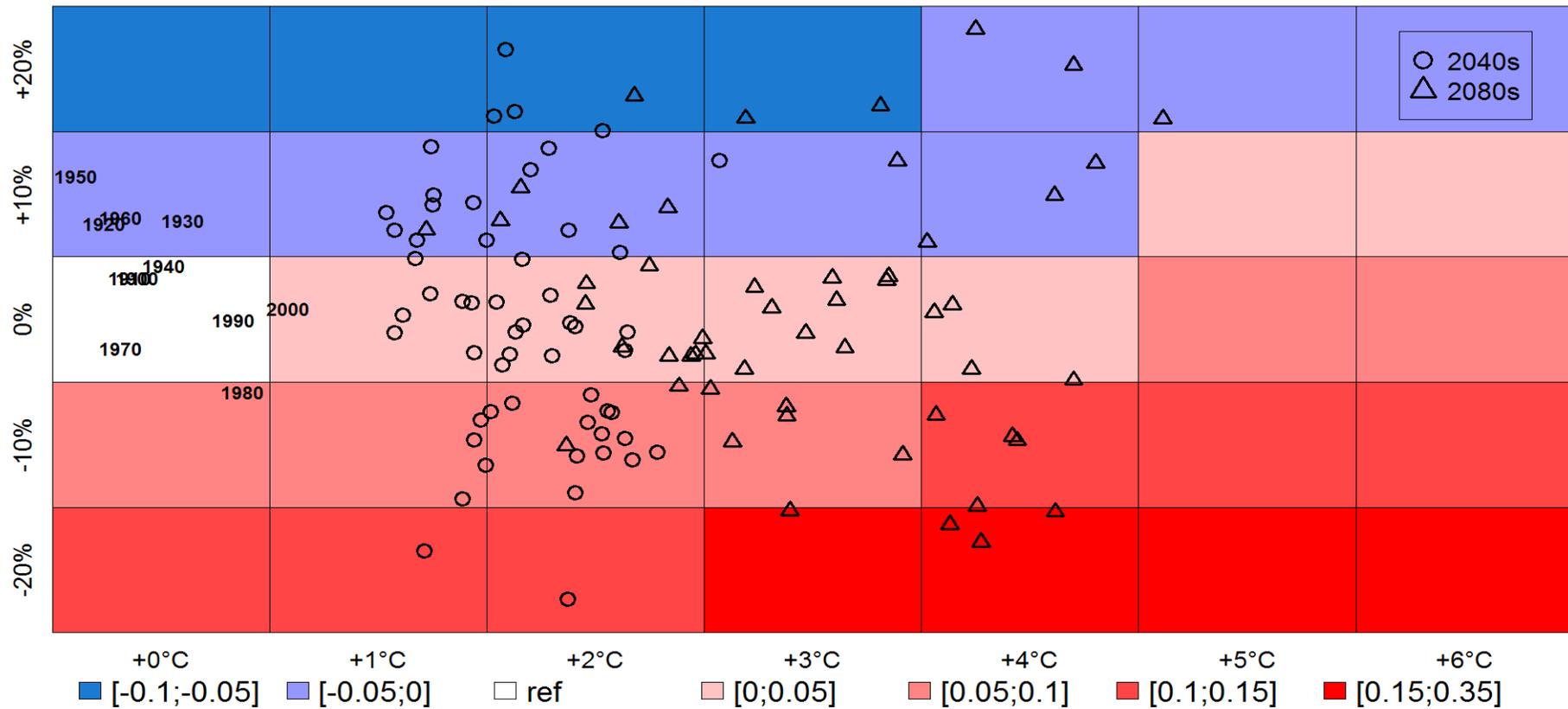


Probabilité d'augmentation de 10% de rendement



Un risque plus important dans la région soudano-sahélienne et une plus grande incertitude dans le Sahel

Changements dans la variabilité (coeff. de variation) de rendement multivariété

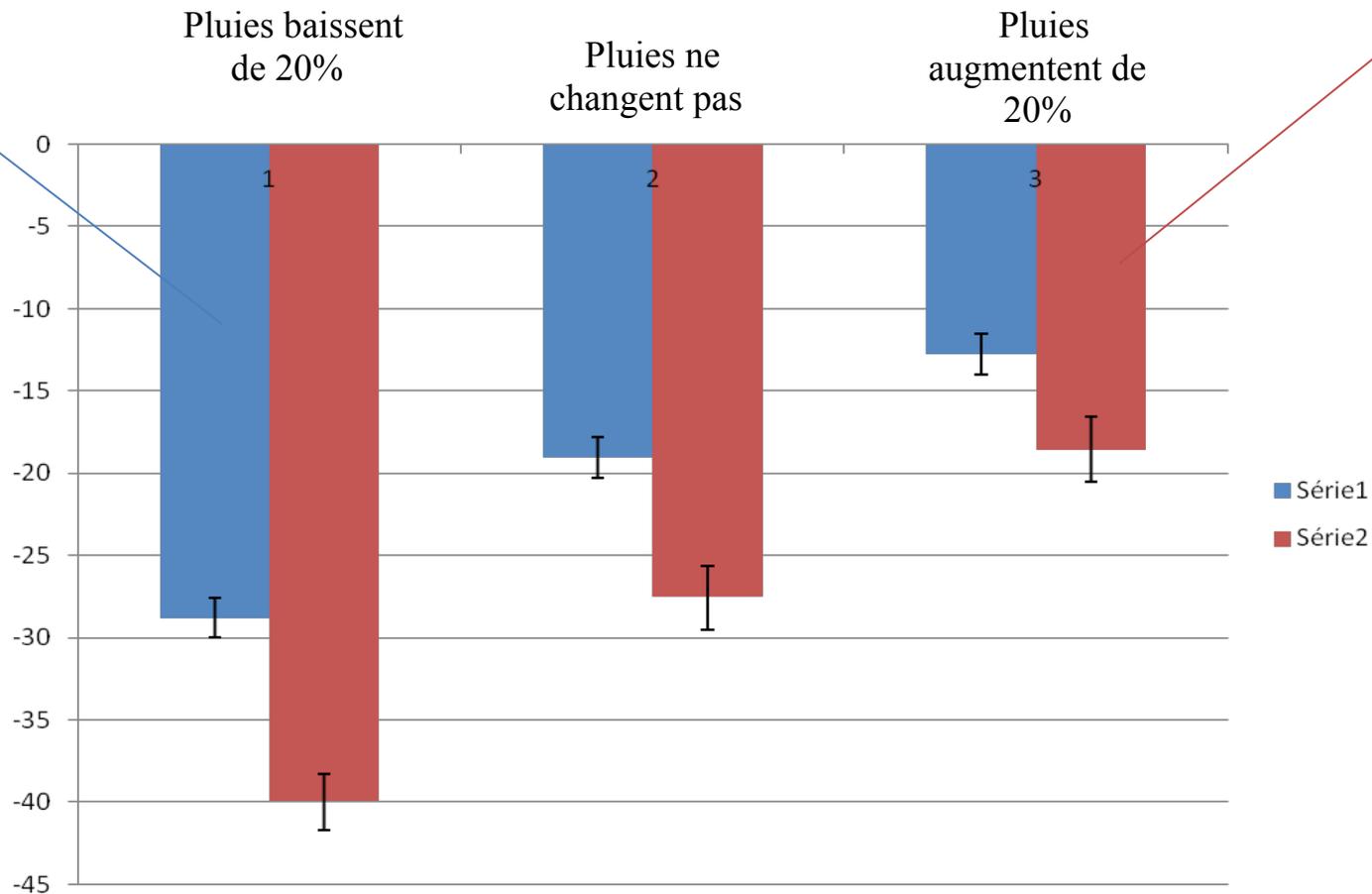


SM

Différences entre les variétés traditionnelles et modernes (réchauffement +4°C)

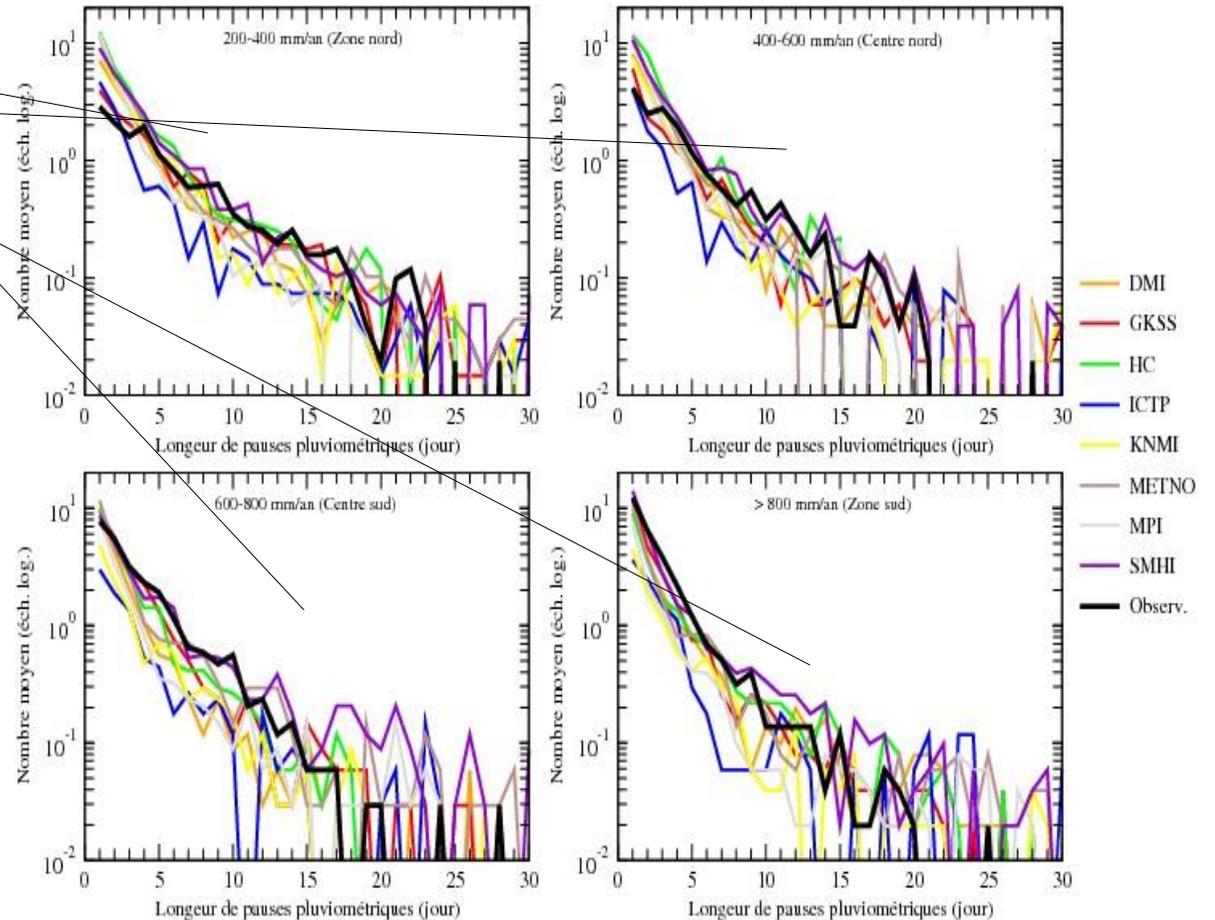
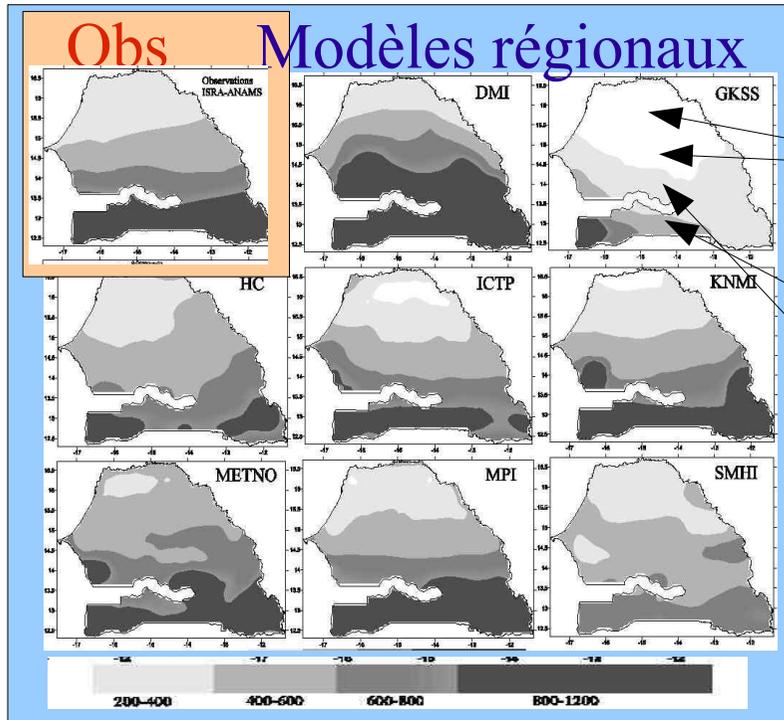
Variétés traditionnelles moins affectée par le CC

Variétés modernes Plus affectée par le CC



Impact des pauses pluviométriques sur les rendements (plus généralement de la distribution intra-saisonnière de la pluie)

Surestimation des pauses courtes au nord



Impact des pauses pluviométriques sur les rendements (plus généralement de la distribution intra-saisonnière de la pluie)

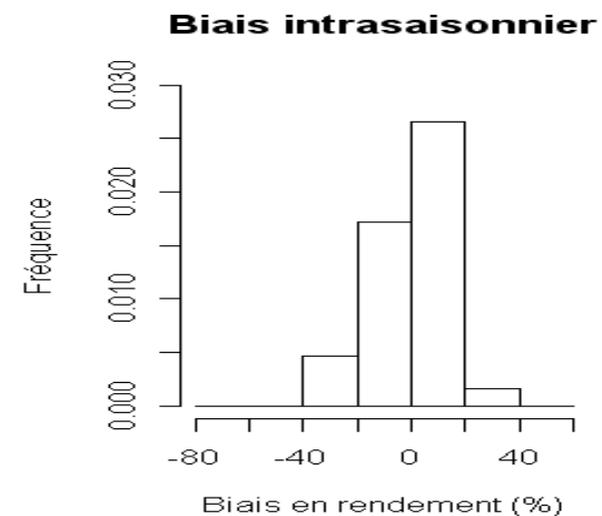
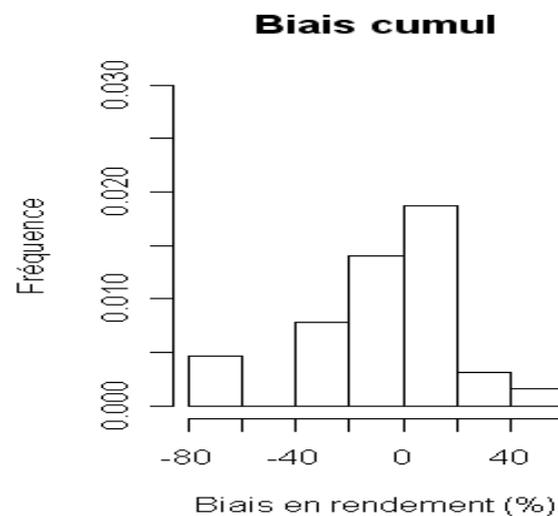
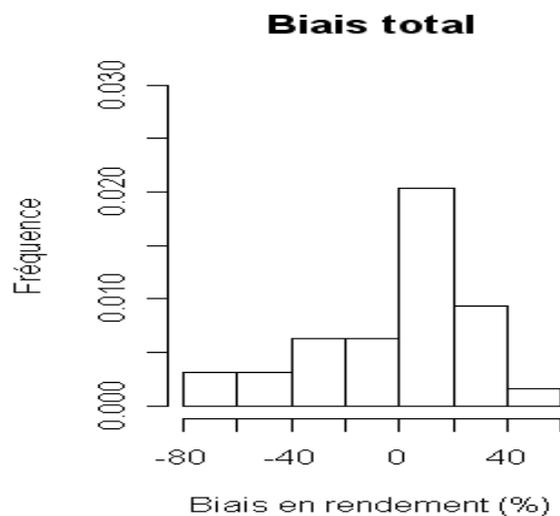
Biais sur les rendements calculés avec le modèles SARRAH
variété de mil appelée « Souna III » à cycle constant ~90 jours
et à haut potentiel de rendement (Dingkuhn et al., 2003 ; Sultan et al., 2005)

à partir

Des pluies des RCM

Corrigées en cumul

Corrigées en intrasaisonnier



Un point sur les simulations CMIP5 et Cordex à l'IPSL

CMIP, trois configurations :

LMDZ4 L19 (19 niveaux) → CMIP3

LMDZ5 L39 → CMIP5, toutes les simulations

-LR ou -MR : ~ 330 ou 250 km de résolution

Beaucoup de simulations déjà disponibles au format CMIP (ciclad)

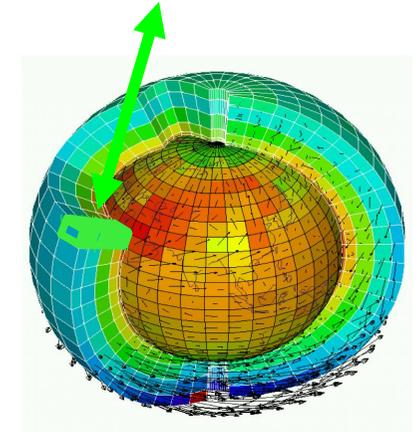
LMDZ5-NP (L39 / LR) : nouvelle physique

Cordex : version LMDZ5-NP zoomée, 50 km sur l'Afrique

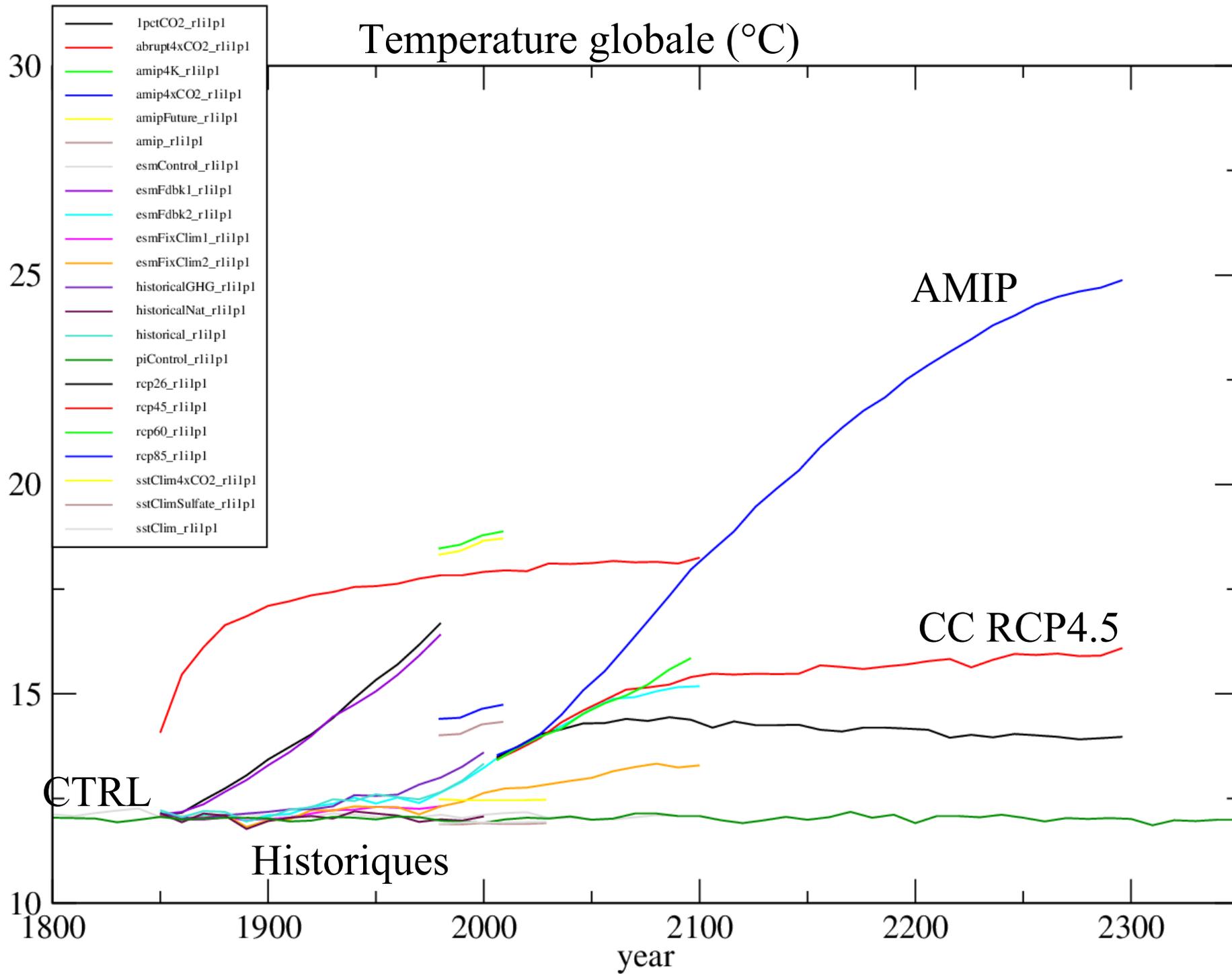
Guidage aux bords du zoom

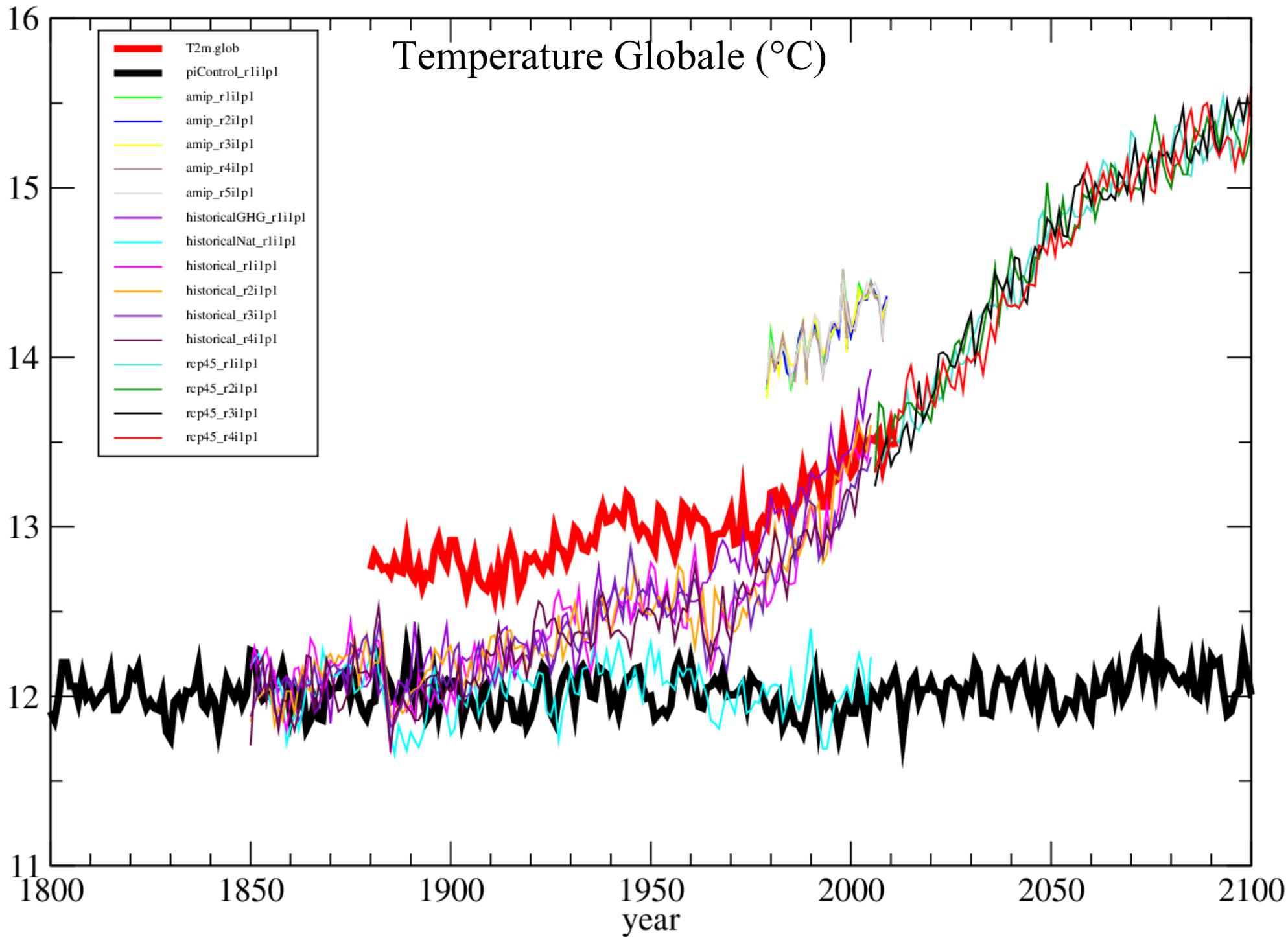
Control ERA-interim en cours

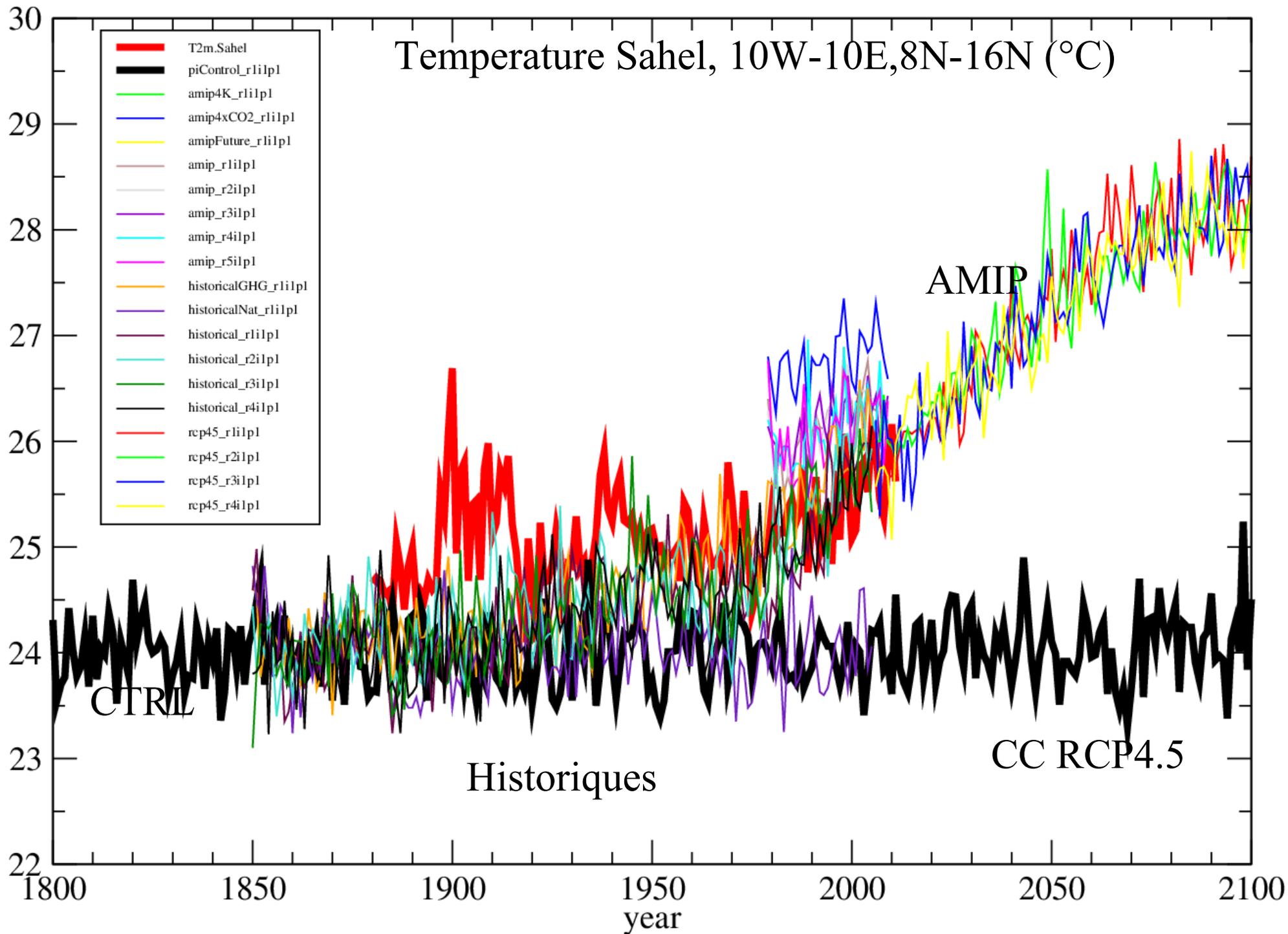
Simulation pluri-annuelle sur SSTs de 2006 → Variabilité interne

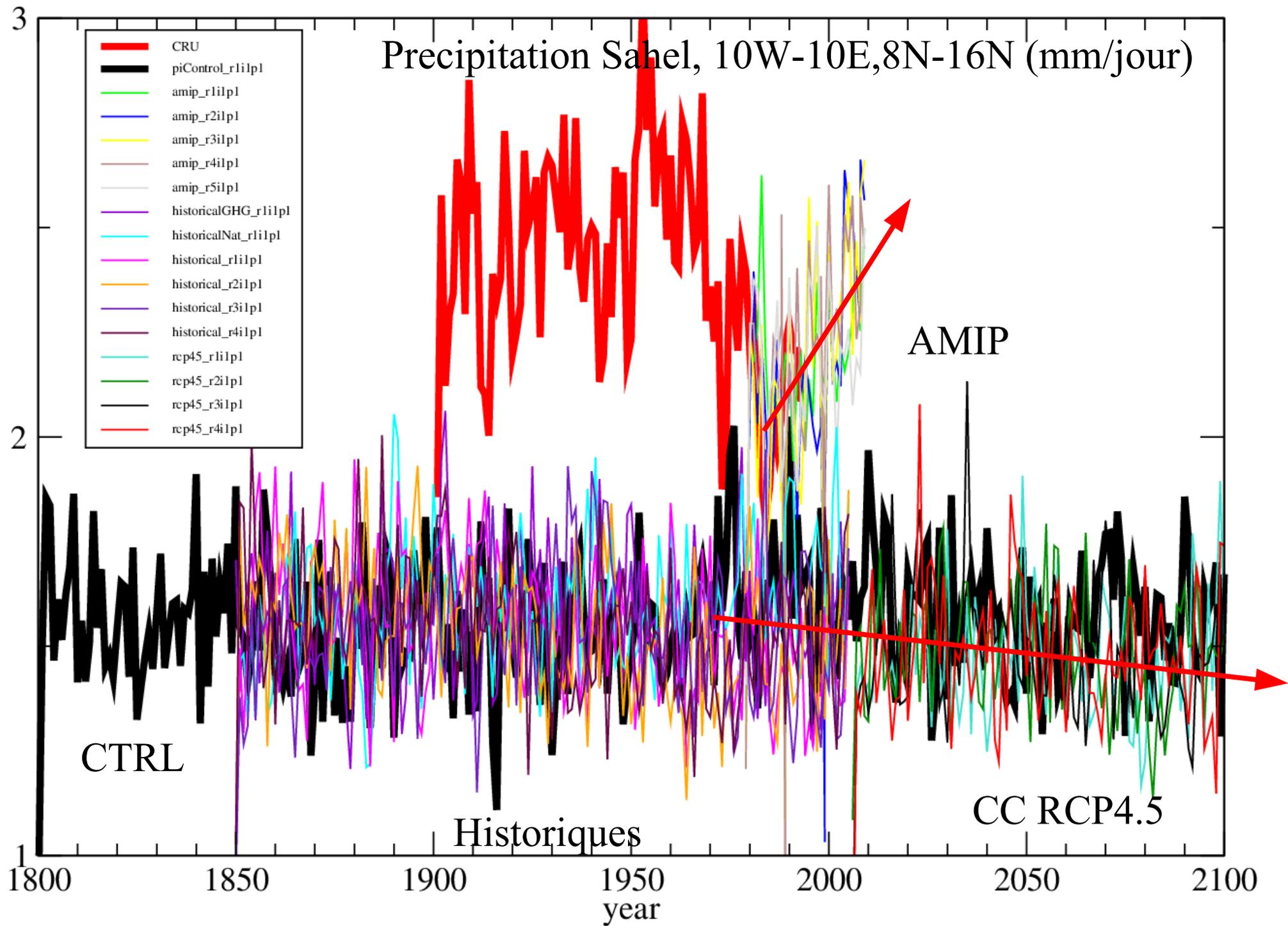


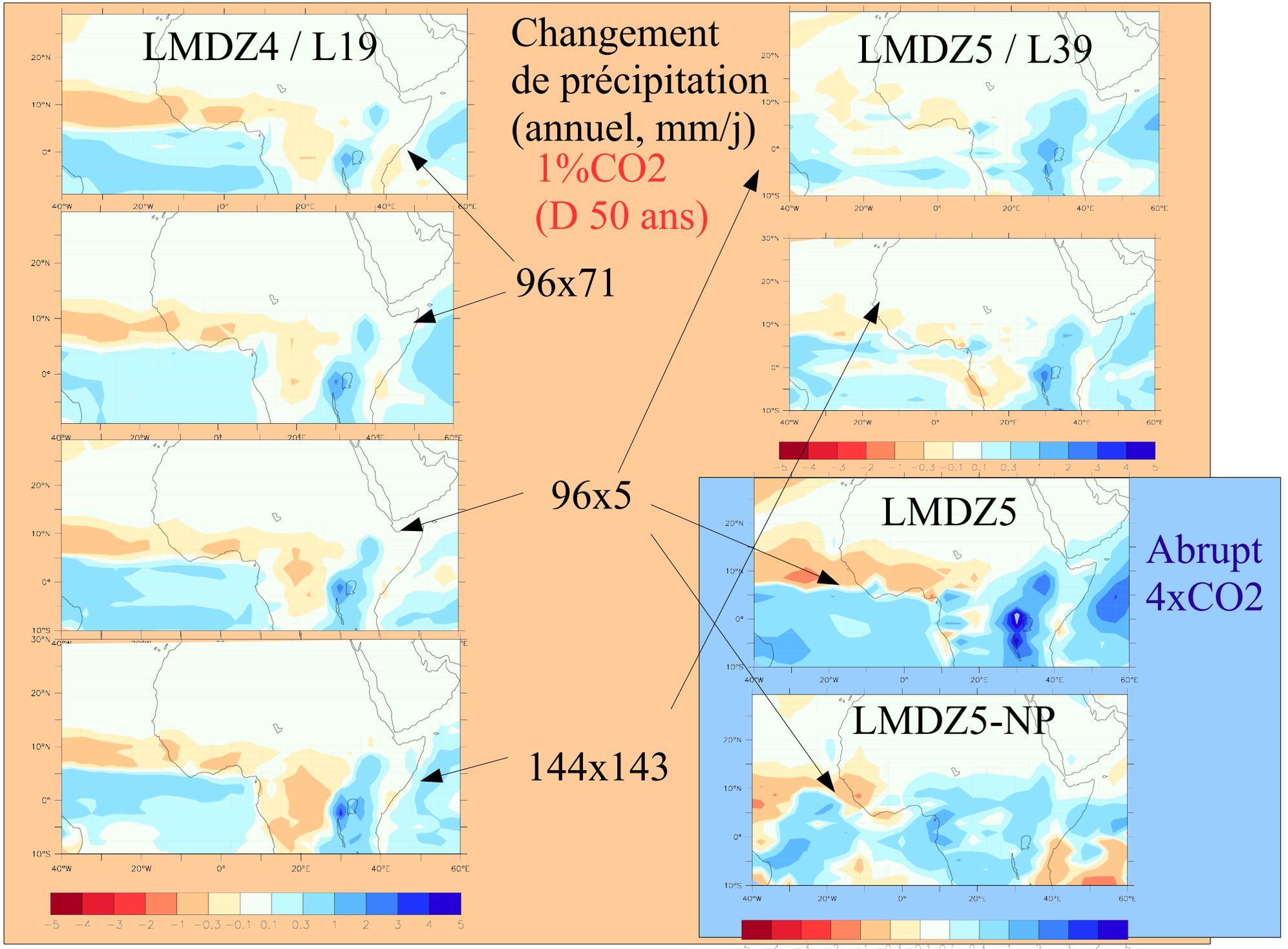
Temperature globale (°C)

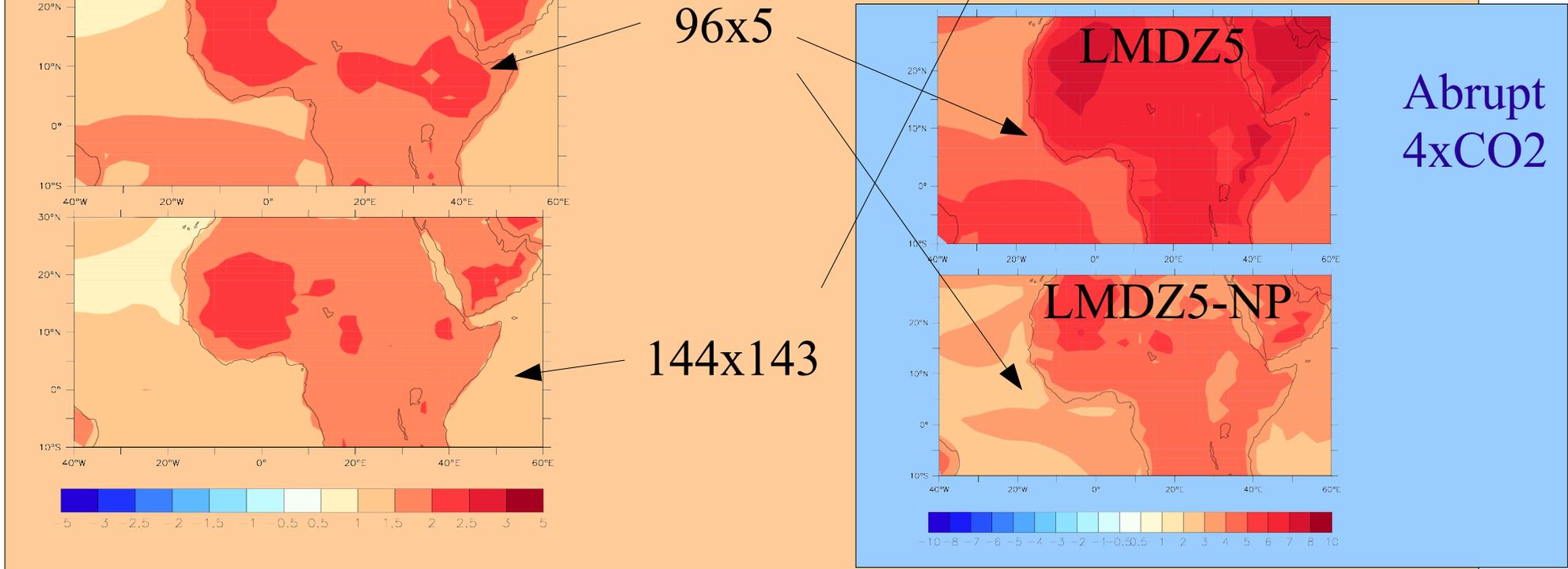
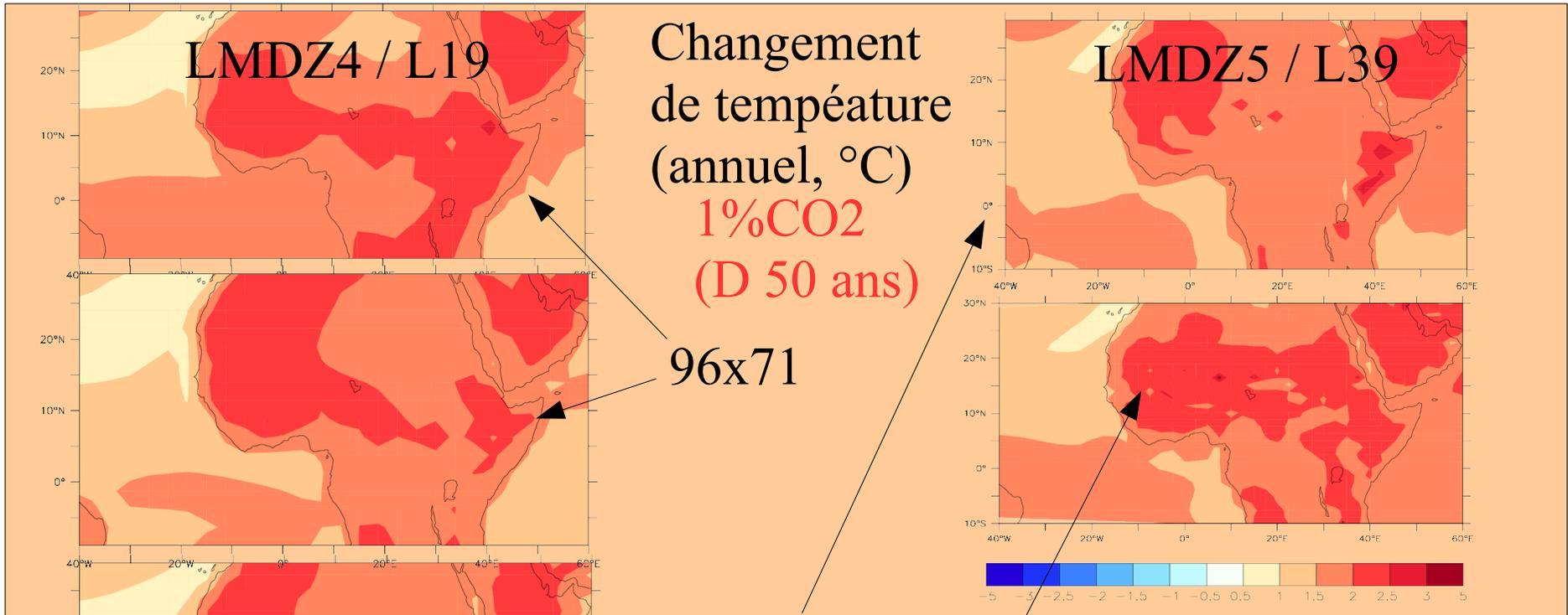












Récupération de jeux de « données » (CNRM) :

1. Récupération des réanalyses MERRA et NCEP-CFSR
(ces 2 la couvrent la période 1979-2010)
2. Réanalyse XXème siècle 1870-2010 (Compo et al., 2011)
Assimilation de la pression de surface seule.
Ensemble de simulations (56 membres)
Variabilité interne décevante (sic)
Biais comme des Rnet trop forts au printemps
3. Récupération des données synop 1980-1995

Conclusion intermédiaires

1. Sensibilité des rendements en contexte de changement climatique
T > cumul de précipitations
2. Sensibilité des rendements aux biais des modèles de climat
Flux solaires (← nuages) ~ cumul pr > intra-saisonnier
3. Simulation des cumul des précipitations en climat actuel.
Très peu sensible à la résolution. Assez peu sensible à la physique (???)
4. En changement climatique
Changements de T plus robustes que ceux de précipitation.
Changement de précipitation très peu sensibles à la résolution mais très sensible à la physique.

En pratique :

Beaucoup de simulations disponibles au format CMIP sur cicalad

Les simulations CMIP multi-modèles commencent aussi à être accessibles.

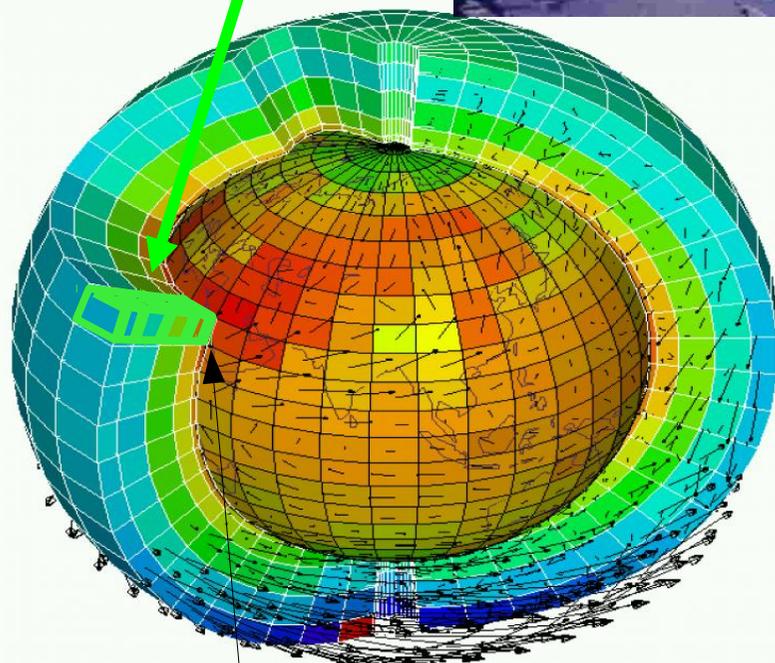
Deliverables à venir :

M12 : Simulations multi-configurations

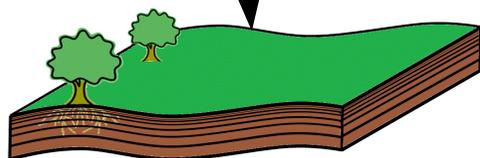
M18 : attribution des changements sur les dernières décennies (modèle)

M24 : attribution / évaluation des reconstructions du climat des dernières décennies (modèle/obs)

Priorités pour la suite ouvertes à discussions.



Maillage atmosphérique

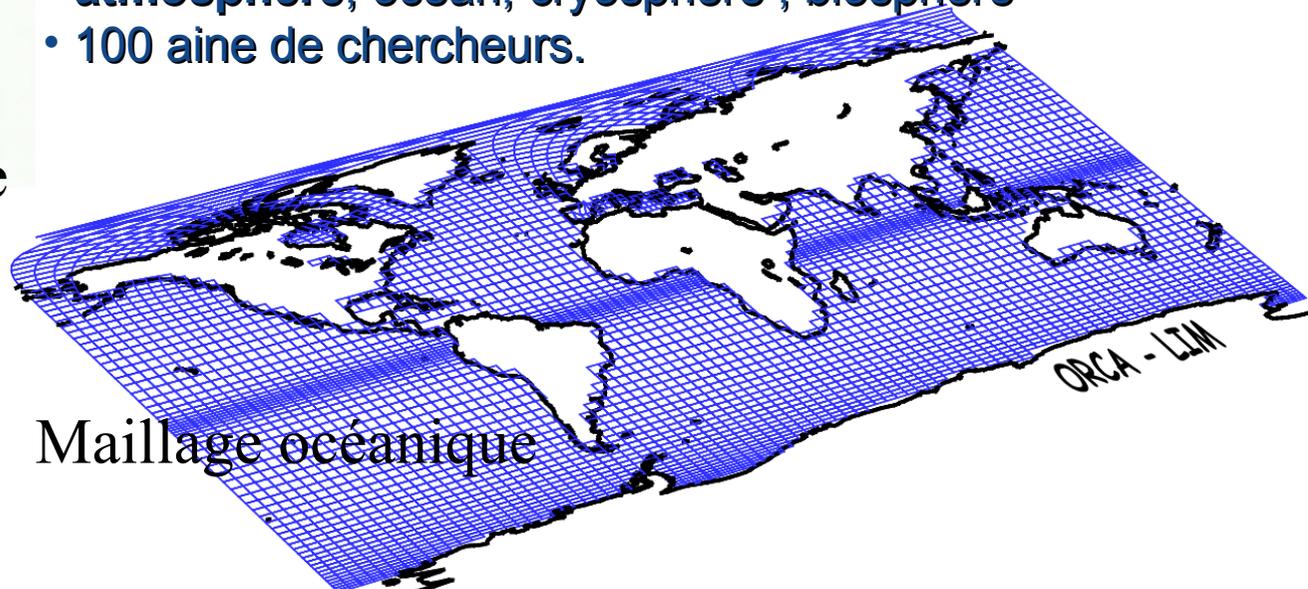


Modélisation numérique du climat :

- basée sur les équations de la physique
- mise en oeuvre sur un ordinateur (dimension finie)
- Importance des processus sous-maille (nuages, ...)

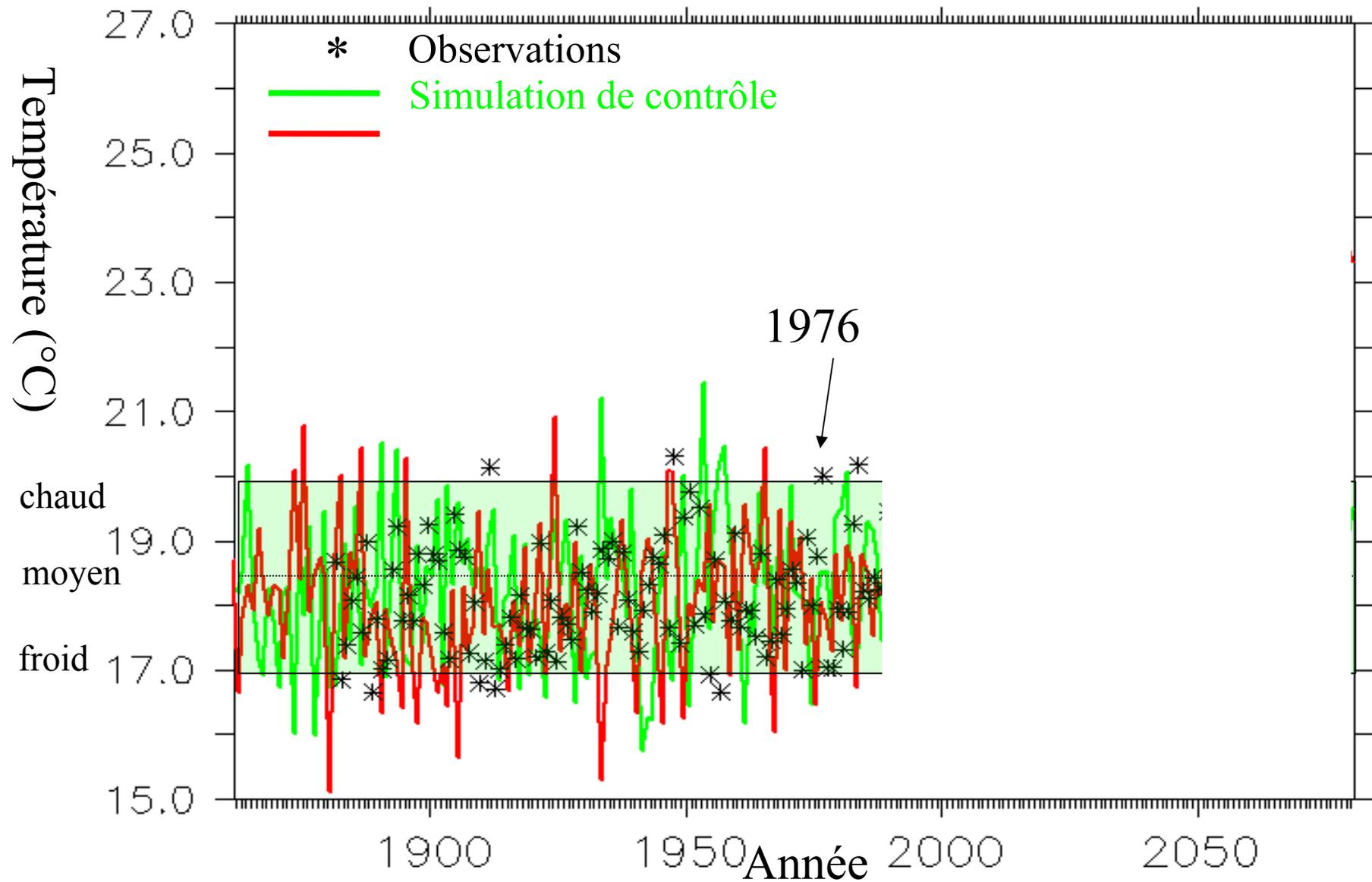
Modèle de climat de l'IPSL :

- atmosphère, océan, cryosphère, biosphère
- 100 aine de chercheurs.



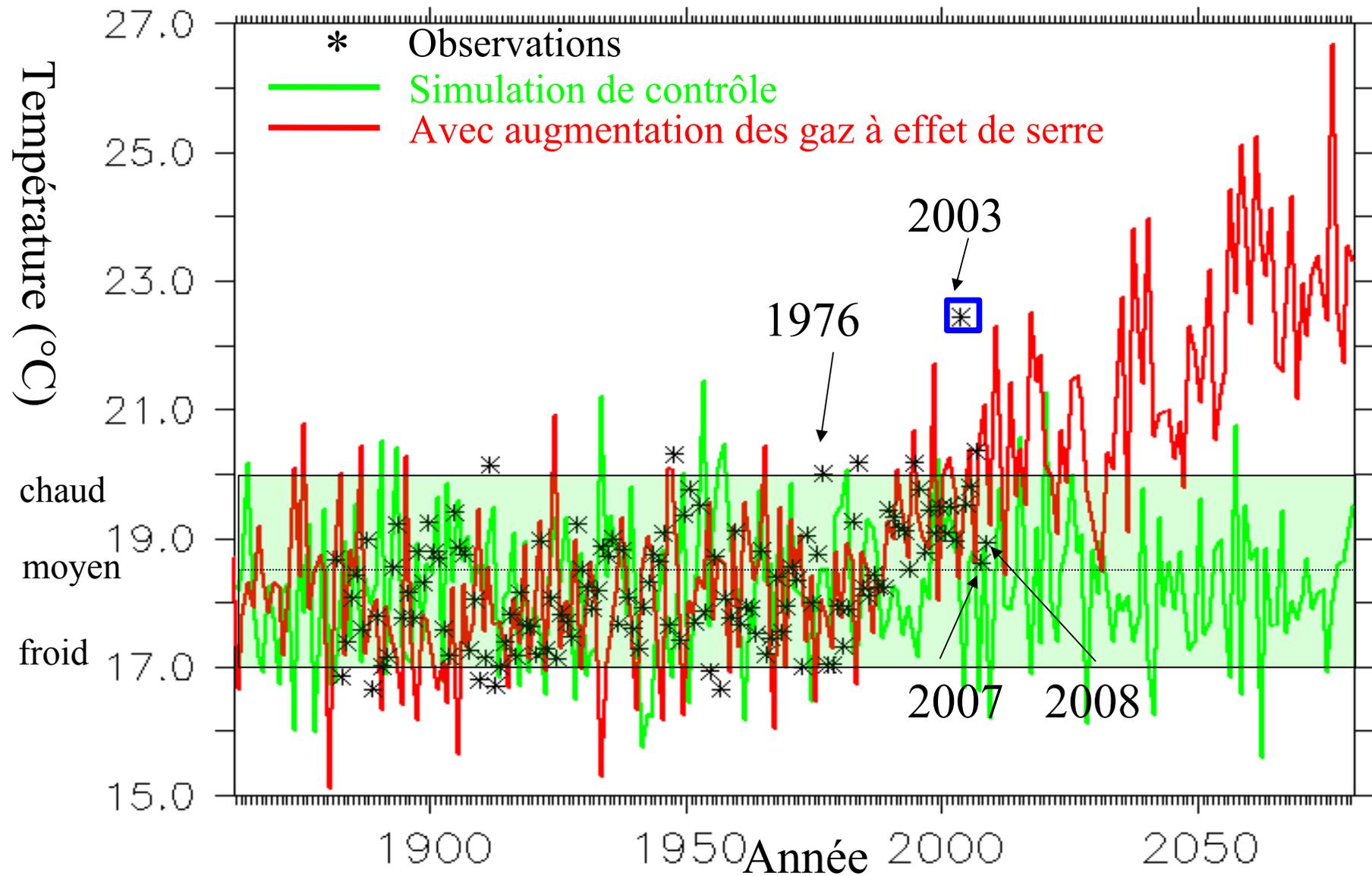
Maillage océanique

Evolution de la température (°C) moyenne en été en France de 1860 à 2080



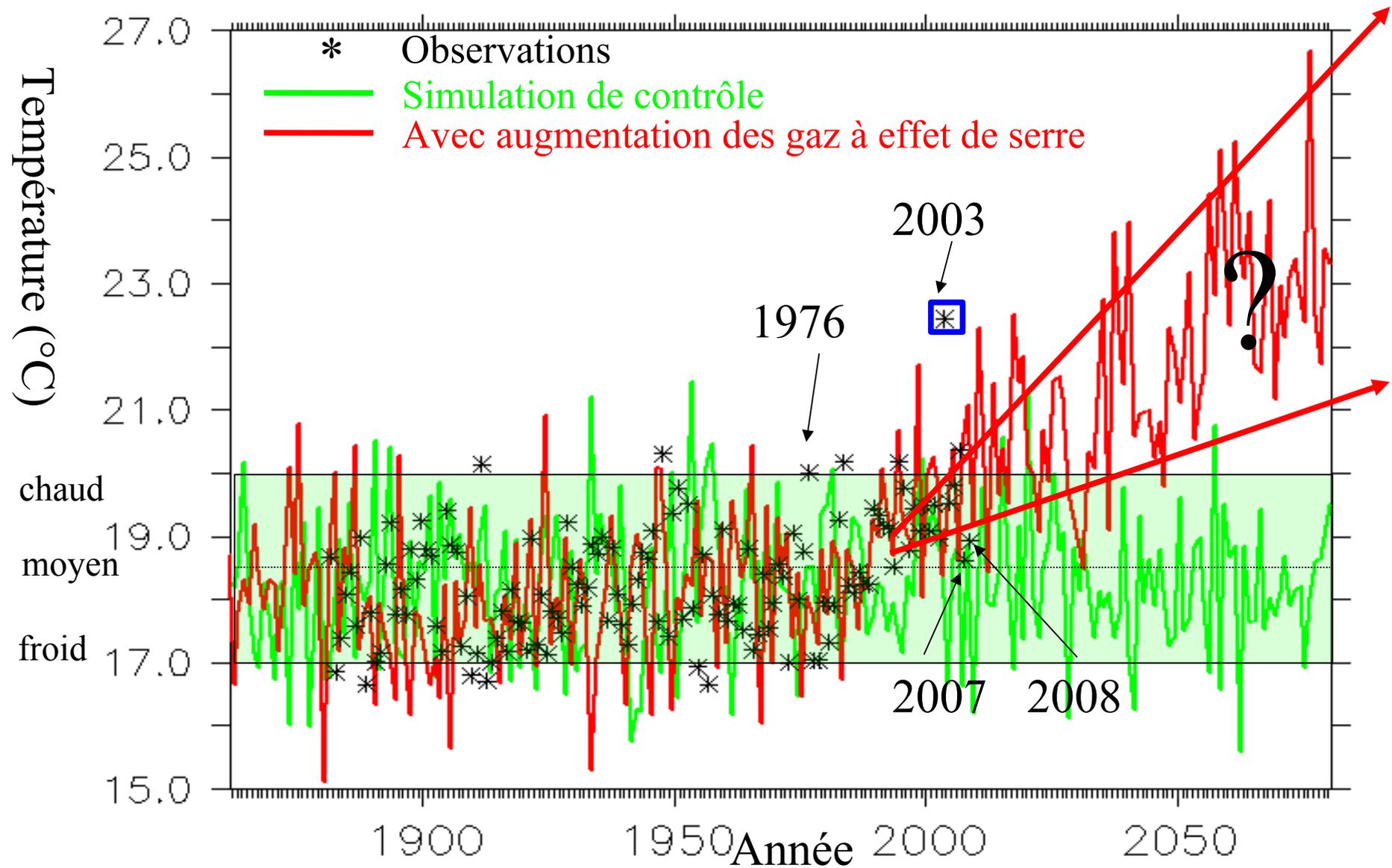
(Scenario SRESA2 du GIEC, modèle de l'IPSL)

Evolution de la température (°C) moyenne en été en France de 1860 à 2080

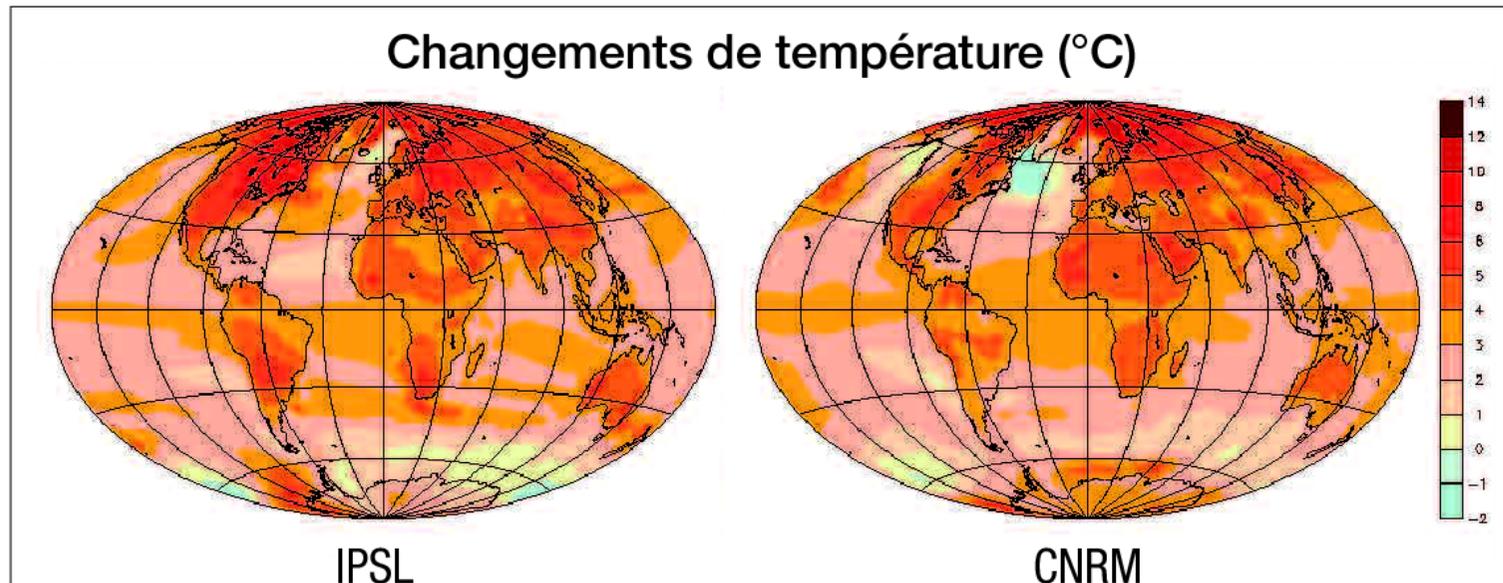


(Scenario SRESA2 du GIEC, modèle de l'IPSL)

Evolution de la température (°C) moyenne en été en France de 1860 à 2080



(Scenario SRESA2 du GIEC, modèle de l'IPSL)

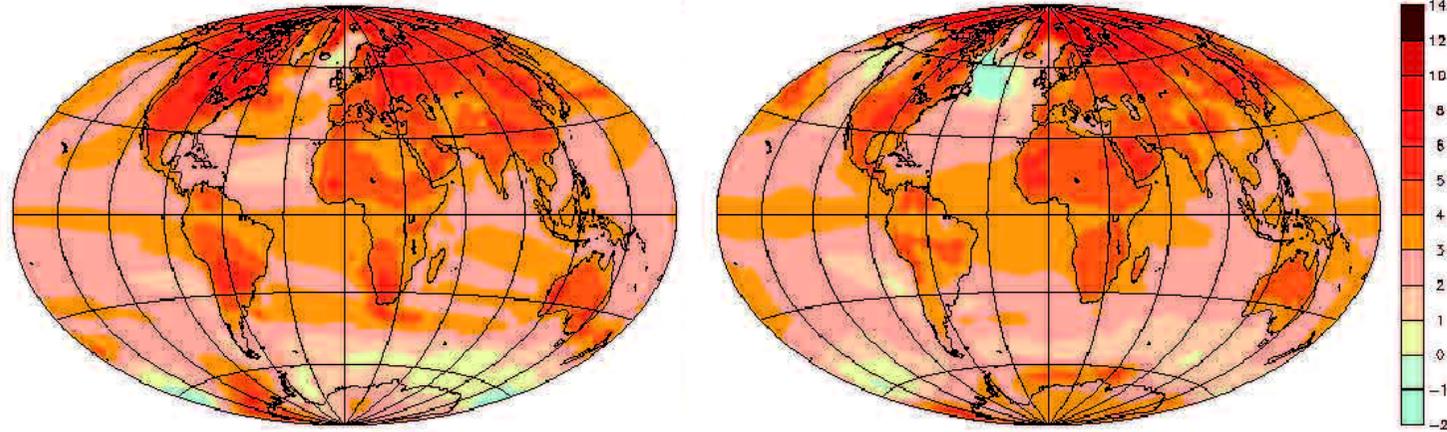


Résultats des deux modèles français (IPSL et MeteoFrance)
impliqués dans les travaux du GIEC (scenario SRESA2)

GIEC - On commence à penser de façon robuste :

- Réchauffement global en cours
- Amplitude attendue : 2 à 5 °C pour un doublement du CO₂
- 50 % de l'incertitude provient des nuages
- Plus fort sur les continents (non limité par l'évaporation)
- Plus fort au hautes latitudes

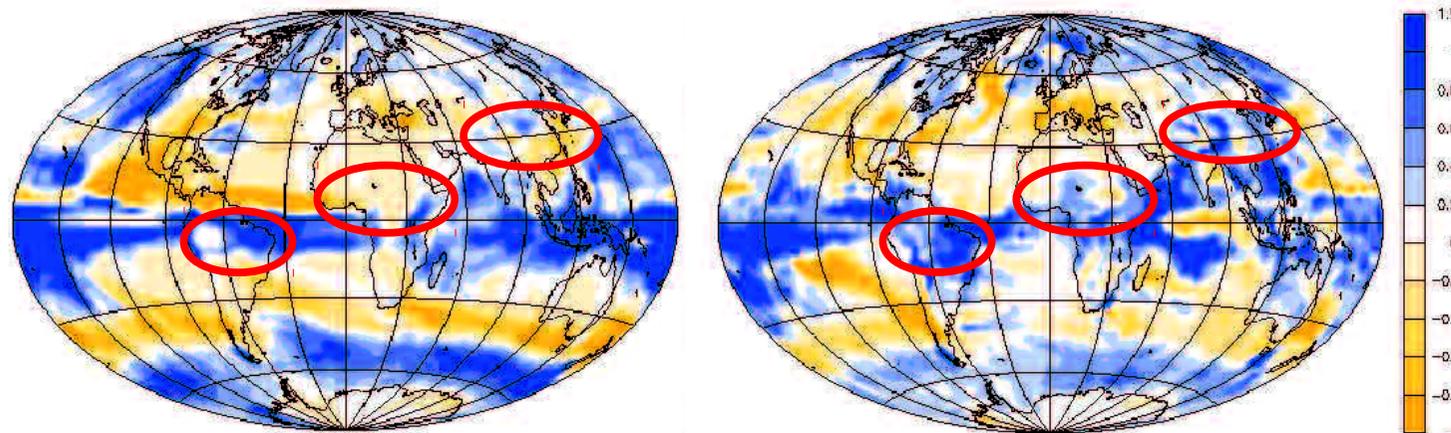
Changements de température (°C)



IPSL

CNRM

Changements de précipitations (mm/j)



IPSL

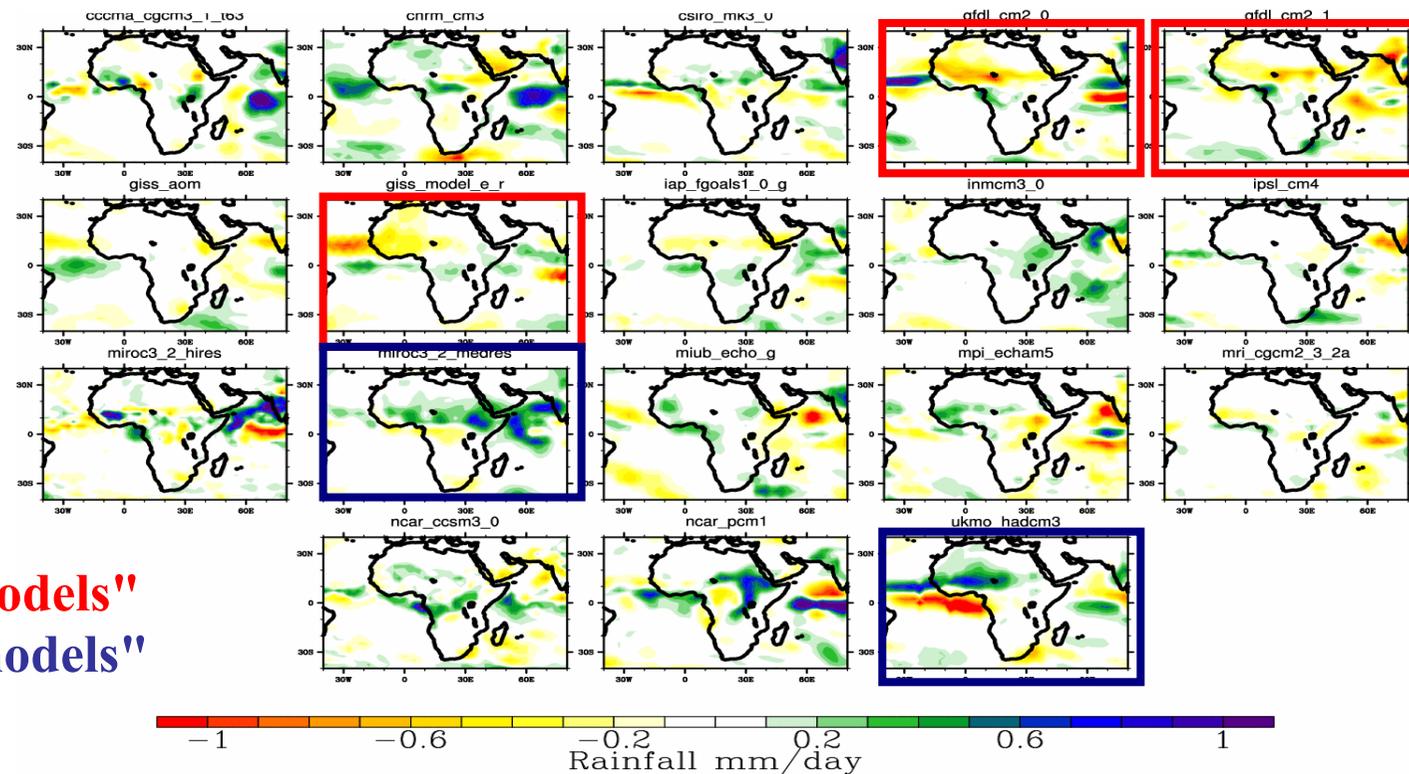
CNRM

Importance de la représentation des processus turbulents, nuageux et précipitant dans les modèles de climat.

Contexte

- Sahel zone sensible
- Projections climatiques particulièrement incertaines
- Modèles couplés pas fameux
- Projet AMMA
- Collaboration LMD/LPAOSF
- Projets CMIP et Cordex
- Préparation IPCC AR5 I&II

Simulated rainfall trend (20th century): XX1 (1970-99) – (1950-69) JAS.



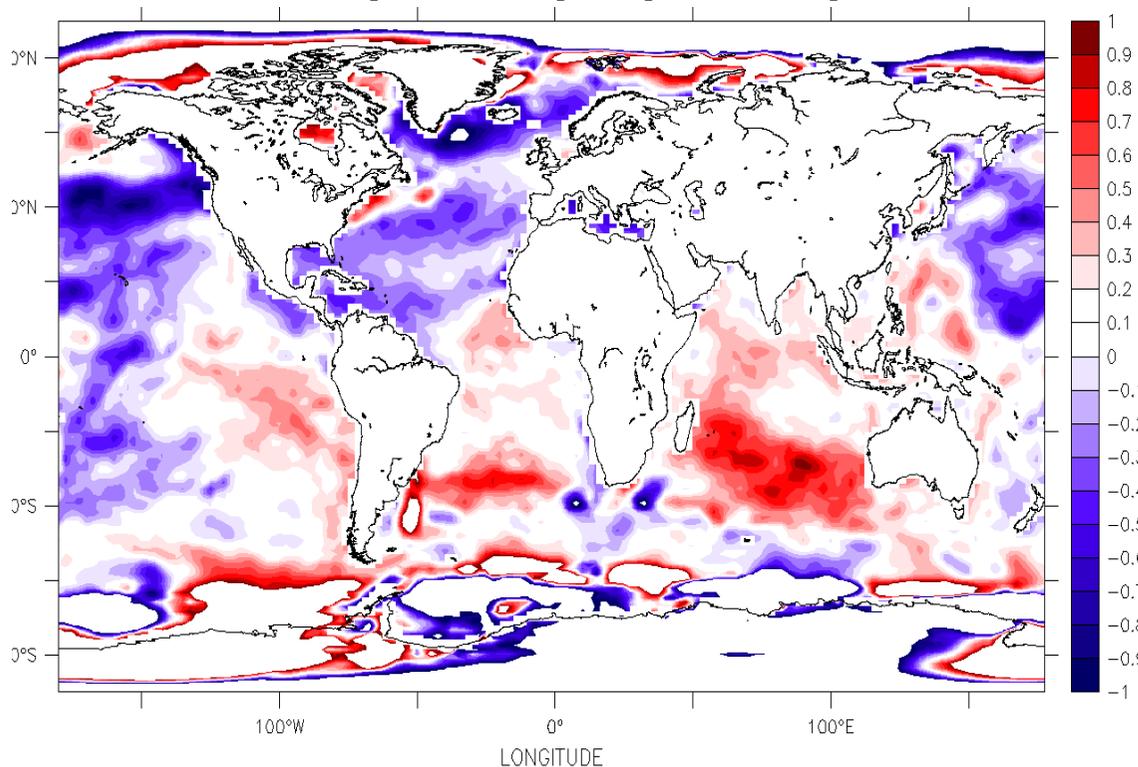
I. Reconstructions de variations climatiques des décennies passées

La sécheresse des années 70-80 :

Quelle part peut être expliquée par le forçage par les températures de surface de l'océan (SSTs) ?

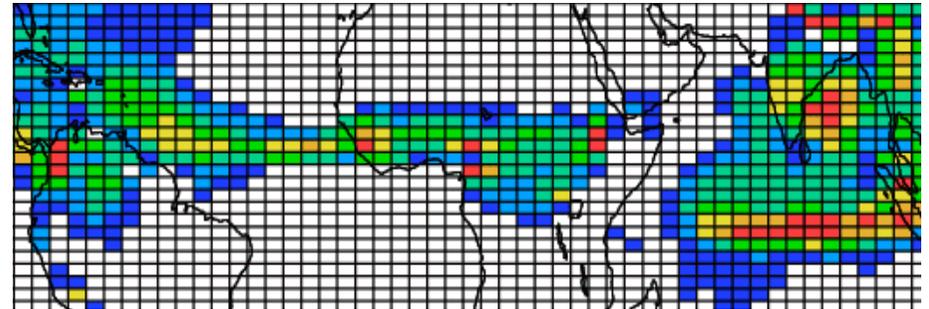
- Série de simulations de sensibilité
- Forcées par le cycle saisonnier moyen d'une décennie : [1975-1985] - [1955:1965]
- Ensemble de simulations de plusieurs 100aines d'années

Δ SST : [1975-1985] - [1955:1965]

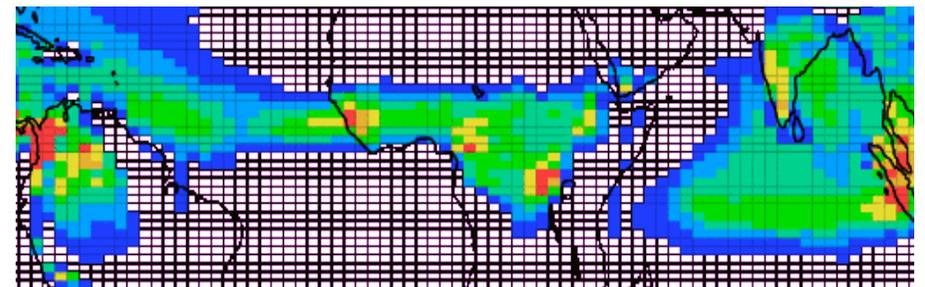


3 Grilles

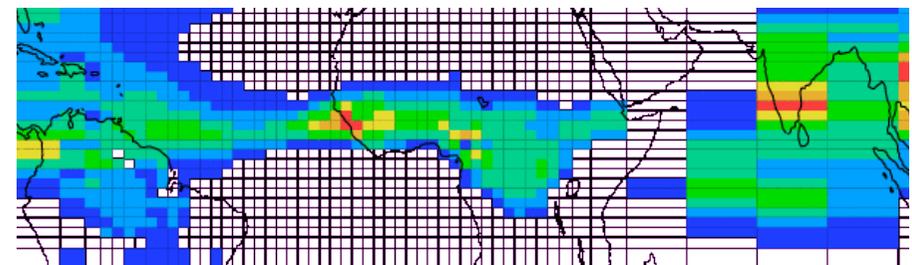
Grille standard (LR, 96x95x39)



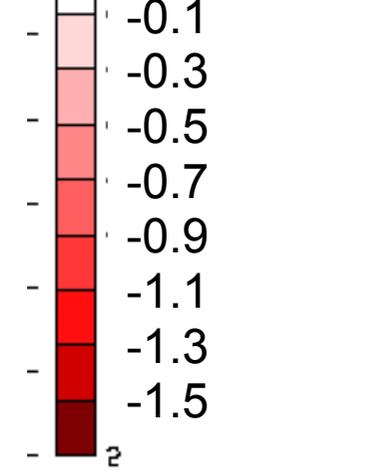
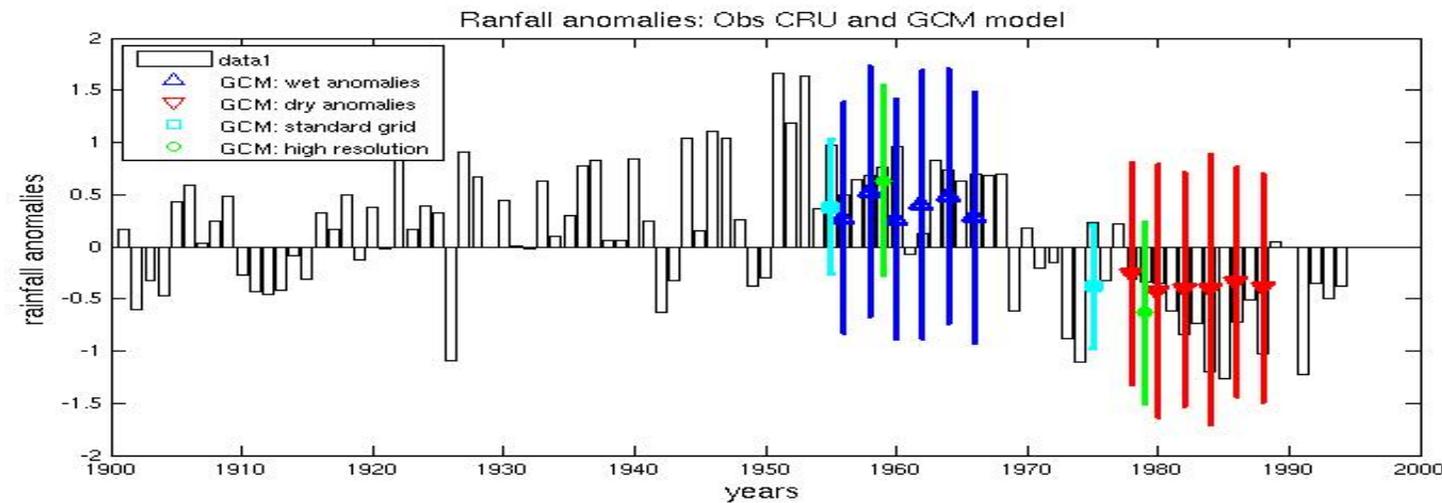
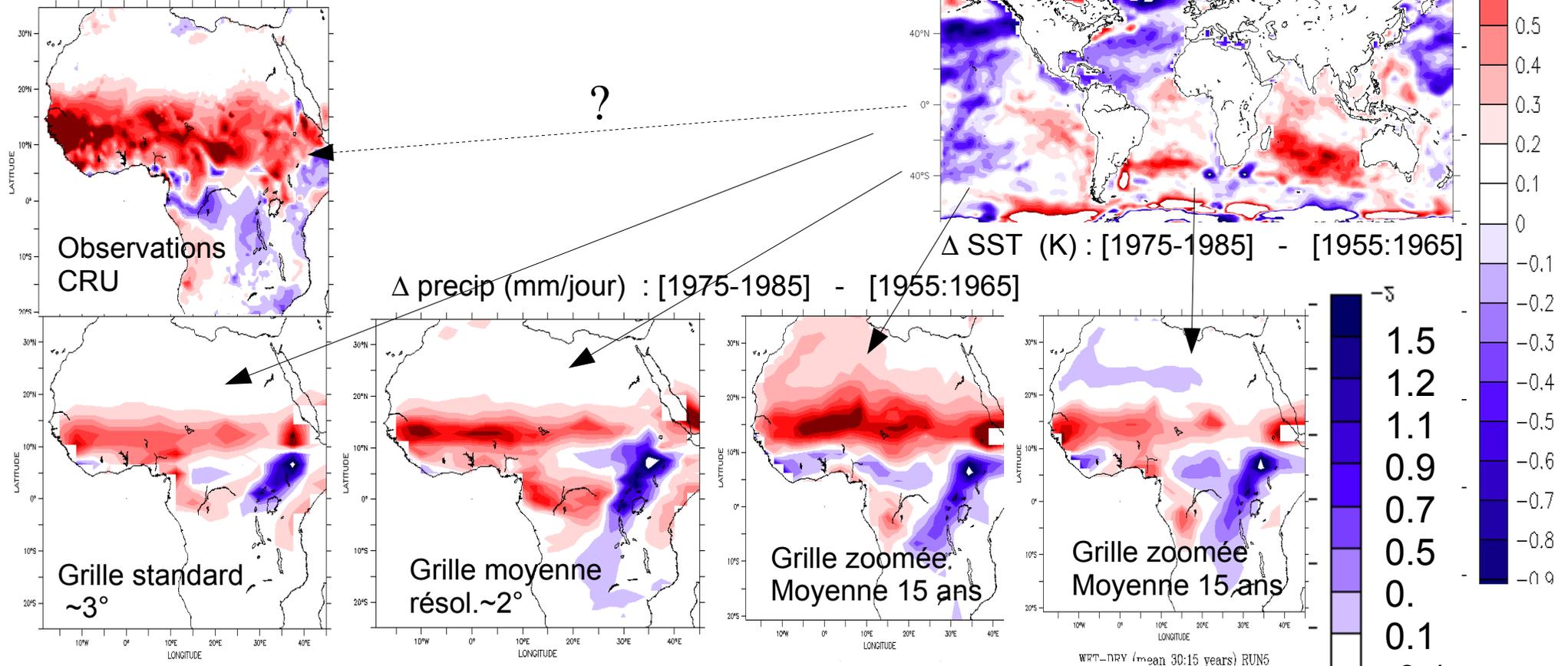
Grille régulière moyenne (MR, 144x142x39)



Grille zoomée légère (LPAOSF, 64x48x19)



I. Reconstructions de variations climatiques des décennies passées



I. Reconstruction des décennies passées

→ Statut au début du projet

Modèles couplés très dispersés (biais et tendances)

Modèles forcés montrant :

- une variabilité inter-annuelle compatible avec les observations.
- une réponse aux SSTs décennales pouvant expliquer au moins en partie la sécheresse au Sahel.
- Une amplification par les couplages surface/atmosphère.

→ LMDZ-Orchidee

Modèle atmosphérique couplé à un modèle de surface : hydrologie / végétation / prise en compte de l'utilisation des sols, modèles de cultures traditionnelles.

→ Utilisation de hiérarchie de modèles : couplé océan-atmosphère, forcés par les SSTs, surfaces plus ou moins sophistiquées (avec ou sans effet de l'albedo, LAI interactif ou prescrit, dynamique de la végétation ...), avec ou sans évolution du CO₂.

→ Utilisation de deux jeux de paramétrisations physiques.

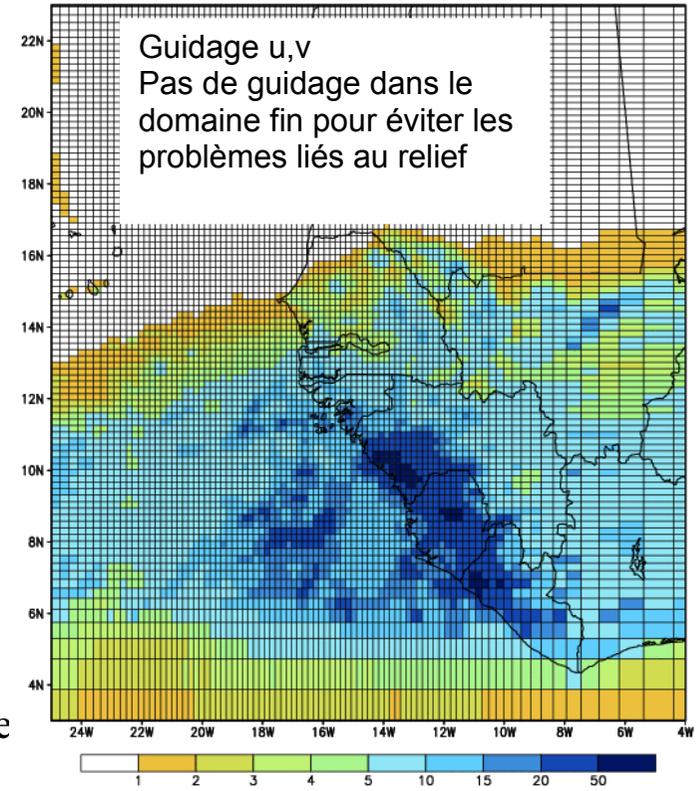
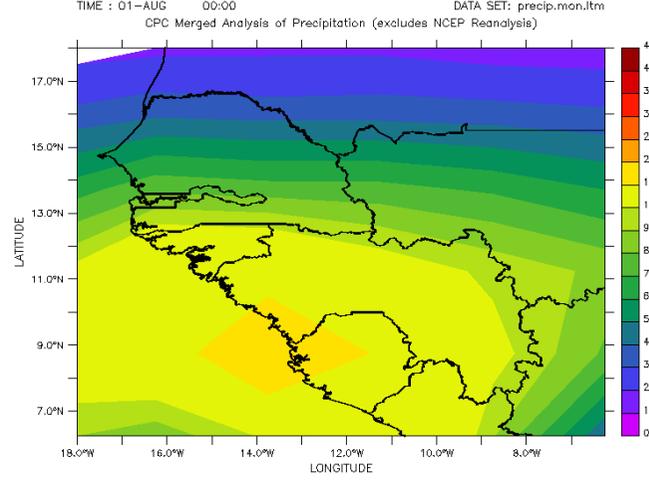
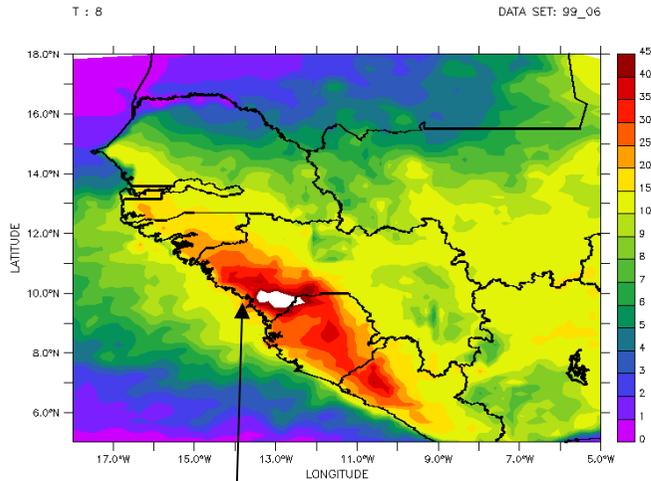
→ Simulations interannuelles (1960-2010) mais aussi forcées par les SSTs de deux décennies.

II. Evolution des ressources

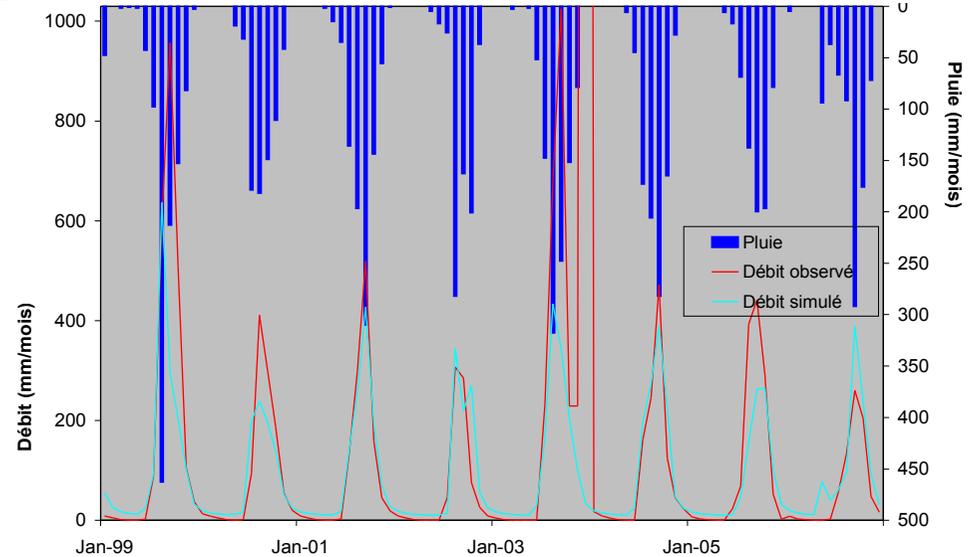
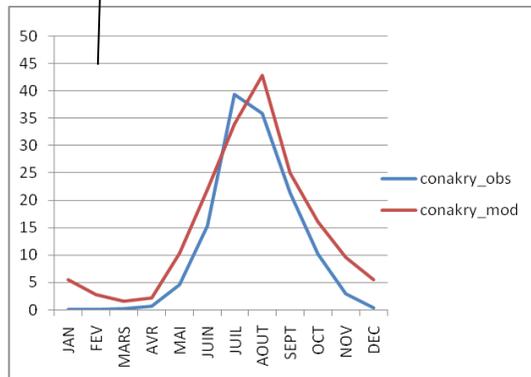
Précipitation au mois d'août (mm/jour)

LMDZ 20km

CMAP



Simulation du débit de la Faleme de pluies de LMDZ



Débit à la station de Kidira

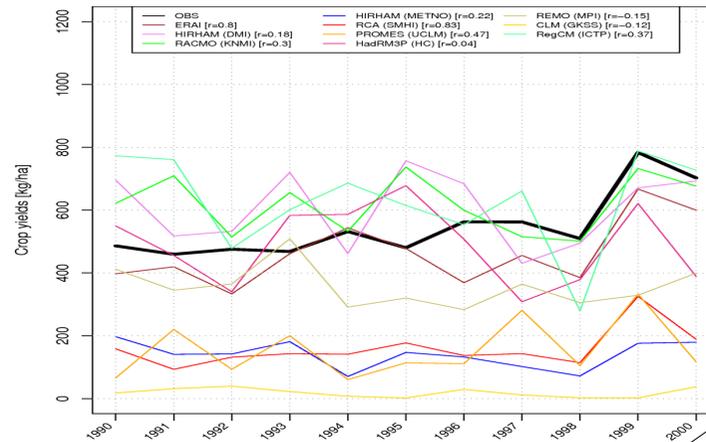
Collaboration avec
Sousou Sambu (UCAD)
et LPAOSF.

Thèse de Lamine Mbaye

II. Evolution des ressources

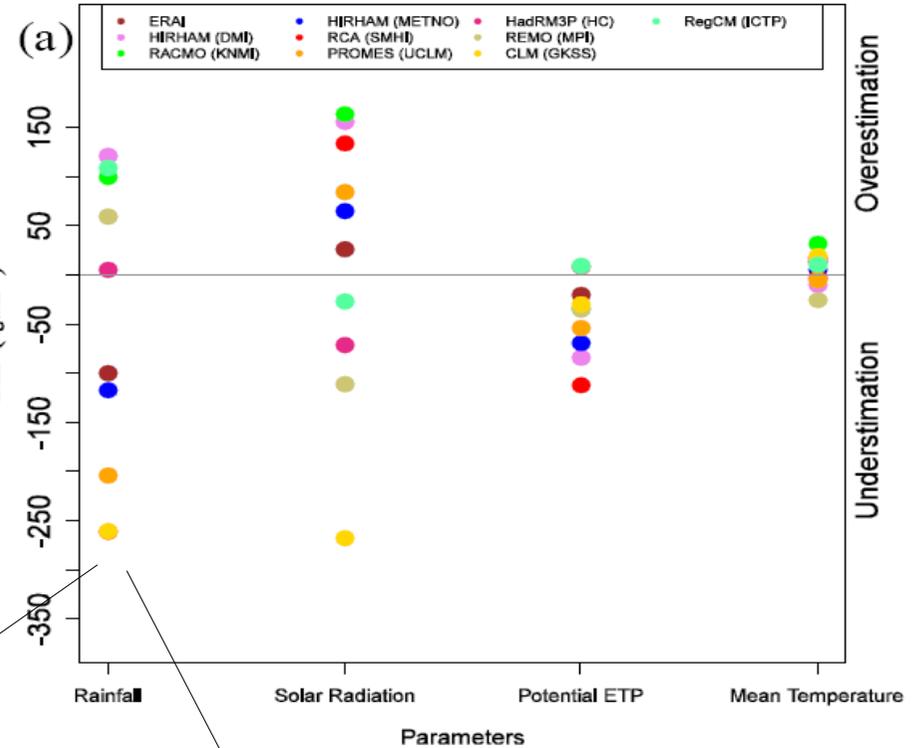
Utilisation des sorties de modèles Régionaux (Ensemble) pour force un modèle de rendement agricole (modèle Sarah, Mil Souna III)

Sultan et al.
En cours

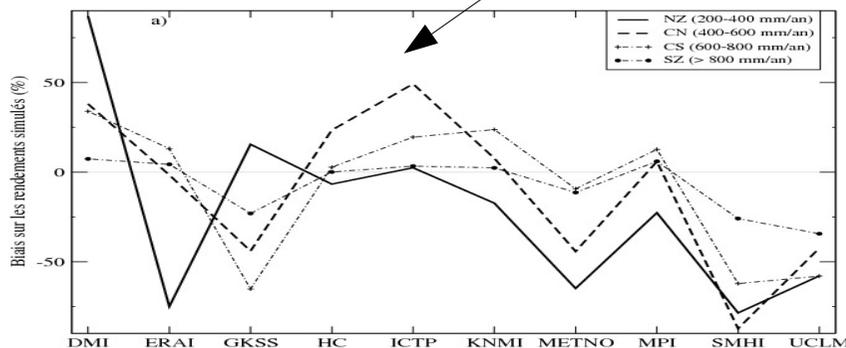


années

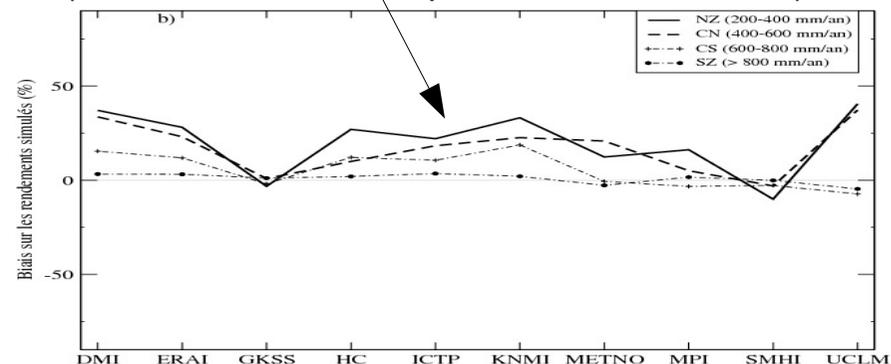
Figure 4: Variations in l over the 1990-2000 period. Each simulation set is based on observed parameters but one, which comes from model configurations: rainfall, solar radiation, mean temperature and potential evapotranspiration.



Impact sur le rendement du changement de la pluie seule (pluies RCM Ensemble)



Impact de la variabilité intrasaisonnière de la pluie (avec le même cumul pour tous les modèles)



Evaluation de la valeur ajoutée de la descente d'échelle et des simulations
AMMA-Ensemble et Cordex



II. Simulation des changements de ressources

→ Utilisation de modèles de cultures, de biomasse et de ressources en eau/ hydrologie sur des données du passées et des simulations de reconstruction du climat des dernières décennies.

→ Utilisation de ces simulations pour évaluer les facteurs climatiques clefs pour l'évolution de ces ressources. Notamment simulations AMMA-Ensemble, Cordex et celles de la partie 1.

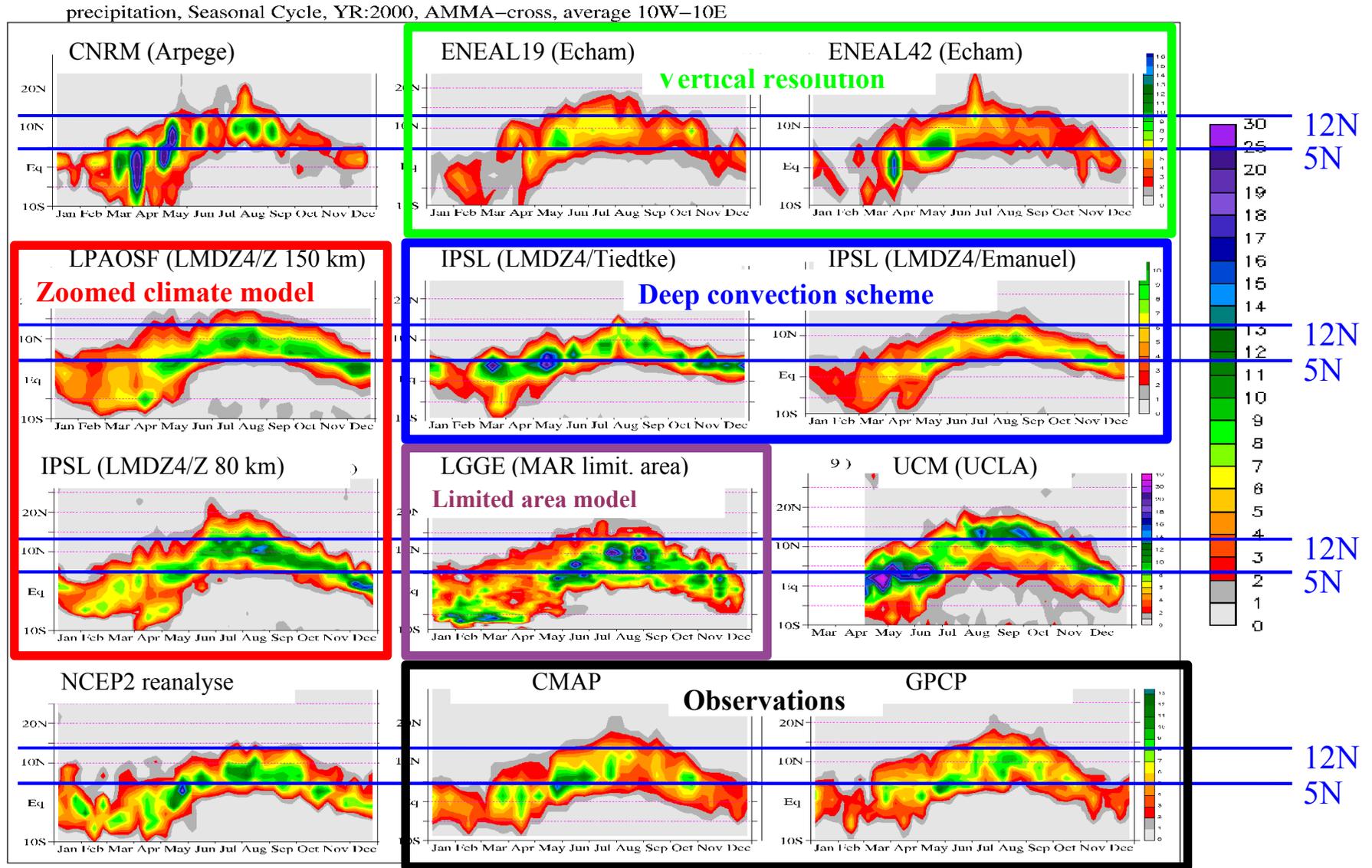
→ Comparaison de stratégies pour passer des variables des modèles aux entrées des modèles de ressources : corrections de biais, descente d'échelle dynamique ou statistiques, correction de latitude ...

→ Cultures : Sarrah avec le Mil, le Sorgho et le riz (?), au Sénégal et au Niger.

→ Ressources en eau : changements du bilan de surface. LMDZ-Orchidee et modèles hydrologiques spécifiques des sites AMMA-Catch.

Lien avec Almip2 (projet d'intercomparaison des modèles de surface).

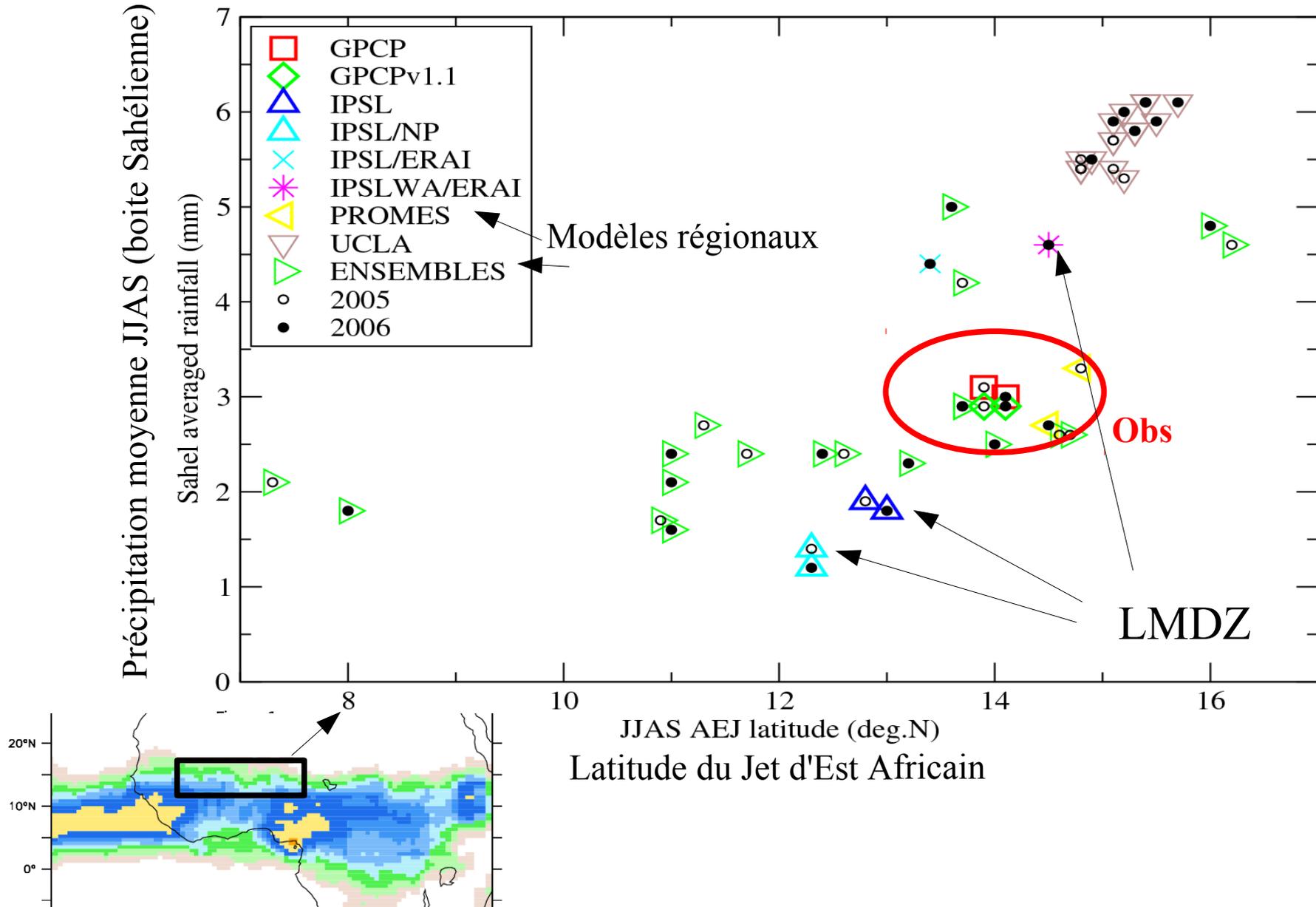
III. Evaluation des scenarios futurs



Déplacement latitudinal de la pluie sur l'Afrique de l'Ouest au cours des saisons
 Moyenne 10E-10W d'une moyenne glissante sur 10 jours de la pluie (mm/day) pour l'année 2000

III. Evaluation des scénarios futurs

Global runs from AMMA-MIP and regional runs from ENSEMBLES



III. Evaluation simulations CMIP (global) et Cordex (régionales)

Originalité : évaluation orientée vers les ressources

Calendrier : soumission de papiers à M15 pour IPCC AR5 I.

- Evaluation des modes de variabilité et variables pertinentes (cumul des pluies, intra-saisonnier, flux ...)
- Validation sur la période historique
- Jeux de simulations forcées avec un même modèle atmosphérique sur plusieurs jeux de températures de l'océan du futur.
- Utiliser directement les modèles de culture et hydrologique, à la fois directement en sortie de modèles de climat ou sur des scénarios idéalisés pour évaluer la dispersion des scénarios, les éléments clefs, les extrêmes ...
- Utilisation du cadre AMMA-MIP

Partenaires WP3

Locean

LMD : Ionela Musat, Lidia Medul et al.

Locean : Benjamin Sultan, Serge Janicot et al.

Sysiphe : Agnès Ducharne

Cirad : Bertrand Muller

CNRM Françoise Guichard

GET : Laurent Kergoat, Pierre Hiernaux et al.

LTHE Luc Descrois

HSM Jerome Demarty

LPAOSF, Amadou Gaye et Abdoulaye Deme.

Lien avec les autres WP :

WP1 : Analyse des changements observés. Modèles de ressources.

WP4 : risques agriculture.

Deliverables

D3.1: Multi-configuration simulations with LMDZ-ORCHIDEE of the West African past climate variations (1950-2010). **M12 (LOCEAN)**

D3.2: Evaluation of the simulations and attribution of changes to global warming, changes in land use and internal variability. **M18 (LOCEAN)**

D3.3: Characterization of the observed and simulated historical climate variations at dekadal scales in terms of surface thermodynamic variables (rainfall, air temperature and humidity) and interpretation in link with recent observations of the surface energy and water balance **M24 (CNRM)**

D3.4: Identification of the key factors controlling the yields, and identification of related key diagnostics relevant for the assessment of climate model simulations. **M24 (CIRAD)**

D3.5: Evaluation of control simulations of Cordex and CMIP5 exercises. New diagnostics and assessment results made available through AMMA-MIP. **M24 (LOCEAN)**

D3.6: Simulation of pond regime in Gourma driven by observed meteorological forcings. **M24 (LMTG)**

D3.7: Simulation of Land Surface Model (SURFEX, Sethys-Savannah) driven by historical observed climate and land use over the CATCH-Niger mesosite (including part of the Fakara). **M36 (HSM)**

D3.8: Exploration of future likely scenarios for resources under climate changes. **M36 (LOCEAN)**

D3.9: Simulations with the STEP rangeland (water balance, productivity, feeding, tentative livestock estimates) driven by observed meteorological fields over the Gourma and Fakara sites. **M36 (LMTG)**

D3.10: Exploration of future likely scenarios for crop yield under climate changes with the SARRAH crop model. **M36 (LOCEAN)**

D3.11: Simulation with the STEP rangeland (water balance, productivity, livestock estimates) driven by predicted meteorological fields and land use scenarios over the Gourma and Fakara sites. **M36 (LMTG)**

D3.12: Simulation of Land Surface Model (SURFEX, Sethys-Savannah) driven by climate and land use scenario over the CATCH-Niger mesosite (including part of the Fakara) **M42 (HSM)**

LMDZ, du système terre au régional :

Une même physique

Simulations ESM (climat/cycles) → CMIP

Simulations globales à 30 km de résolutions (~10aine d'années)

Guidé/climatique

zoomé/régulier

Très utilisé. Jusqu'à 20 km de résolution.

Participation à Cordex (50km sur des grands domaines).

En développement :

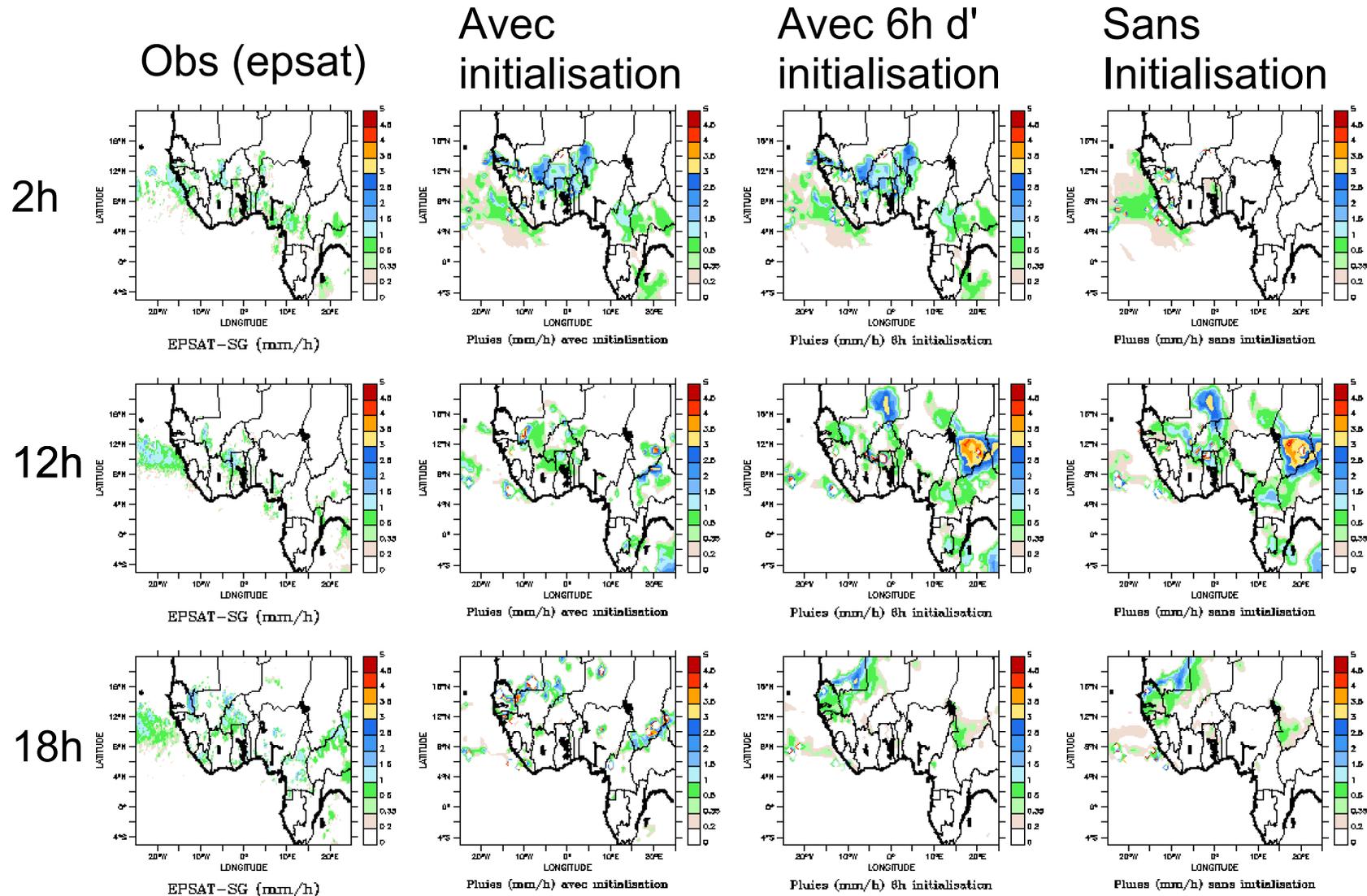
WRF/physique LMDZ

LMDZ/dynamique MAR

Réunion utilisateurs LMDZ : 17-18 mars

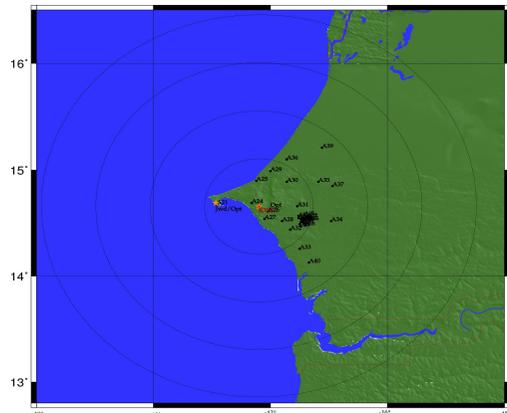
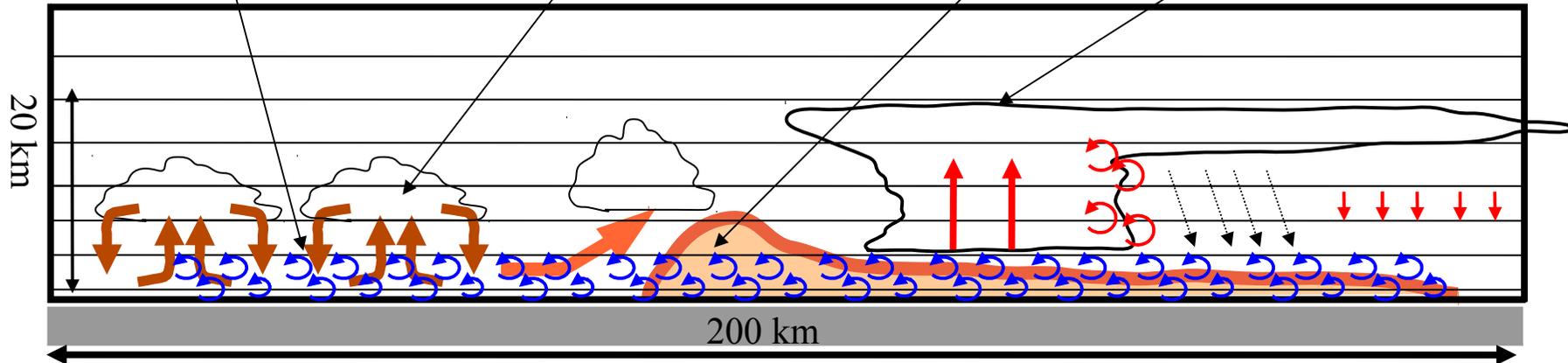
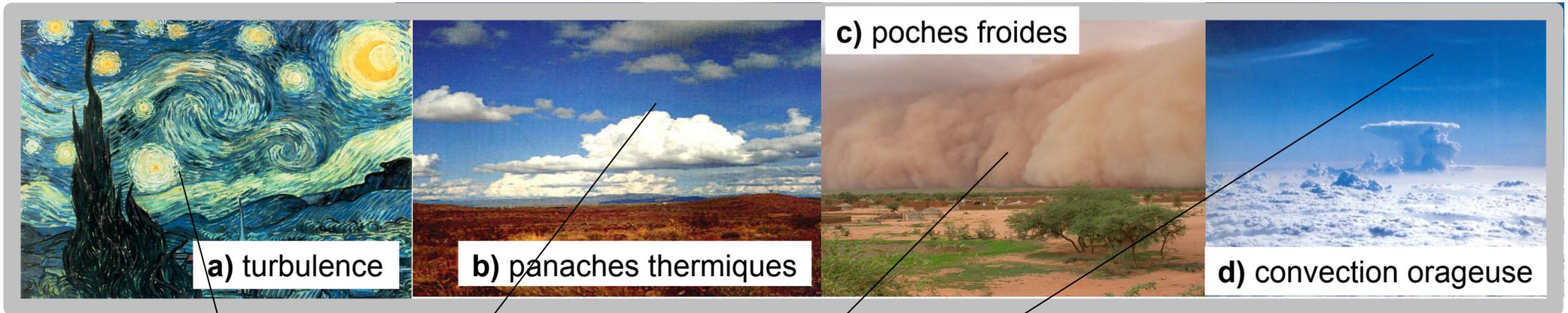
Plus loin dans le guidage

- + utilisation d'un seuil sur l'OLR (230 K en TB) pour déclencher la convection
- Rendu possible par les nouvelles paramétrisations
- On espère obtenir ensuite un auto-entretien par les poches froides



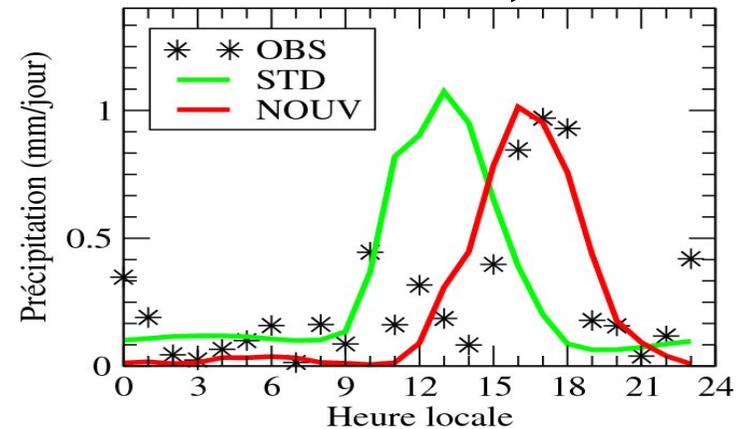
A suivre ...

I. Evaluation et amélioration des modèles, étude de processus



Evolution moyenne de la pluie dans la journée au Sénégal dans une Simulation 3D

Réseau d'observation au Sénégal. Campagne AMMA.



I. Evaluation et amélioration des modèles, étude de processus

Etude du cycle de vie de la convection (thèses Mohamed Ly et Youssouph Sane)

Equipes : MGCC/CEET

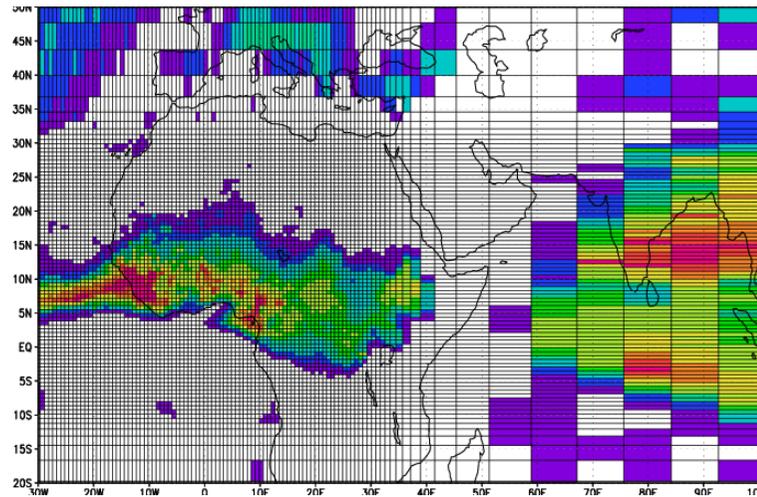
Utilisation du guidage :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = M(X) + \frac{X^a - X}{\tau}$$

Guidage u et v partout

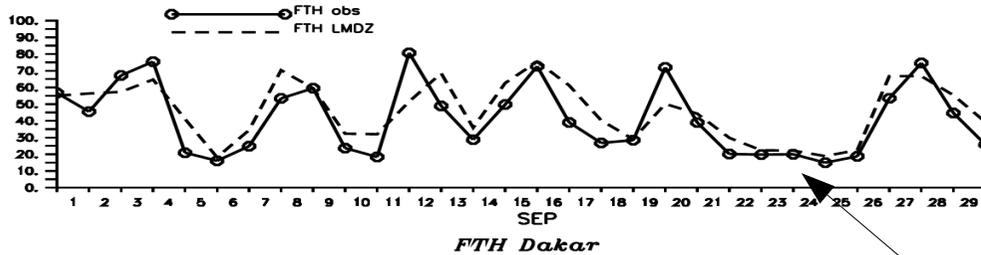
Pour contraindre la « grande échelle »

$\tau = \text{qq heures}$

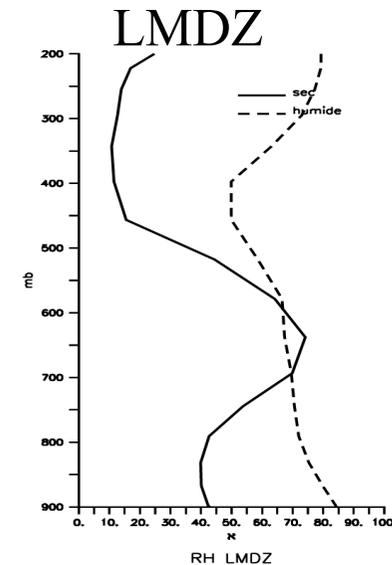
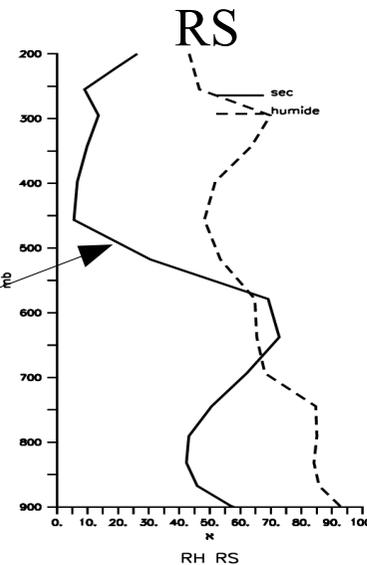


Humidité relative ~ 400 hPa

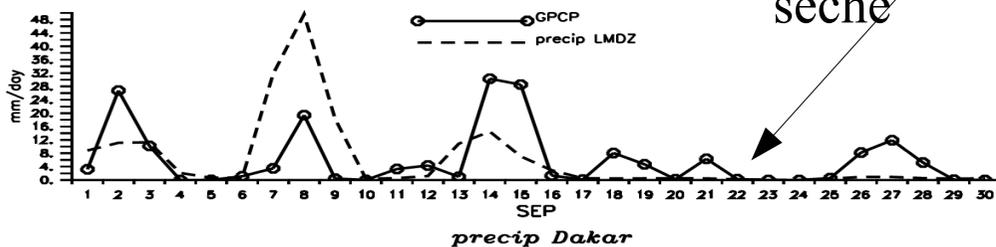
Canal vapeur d'eau MSG (FTH)



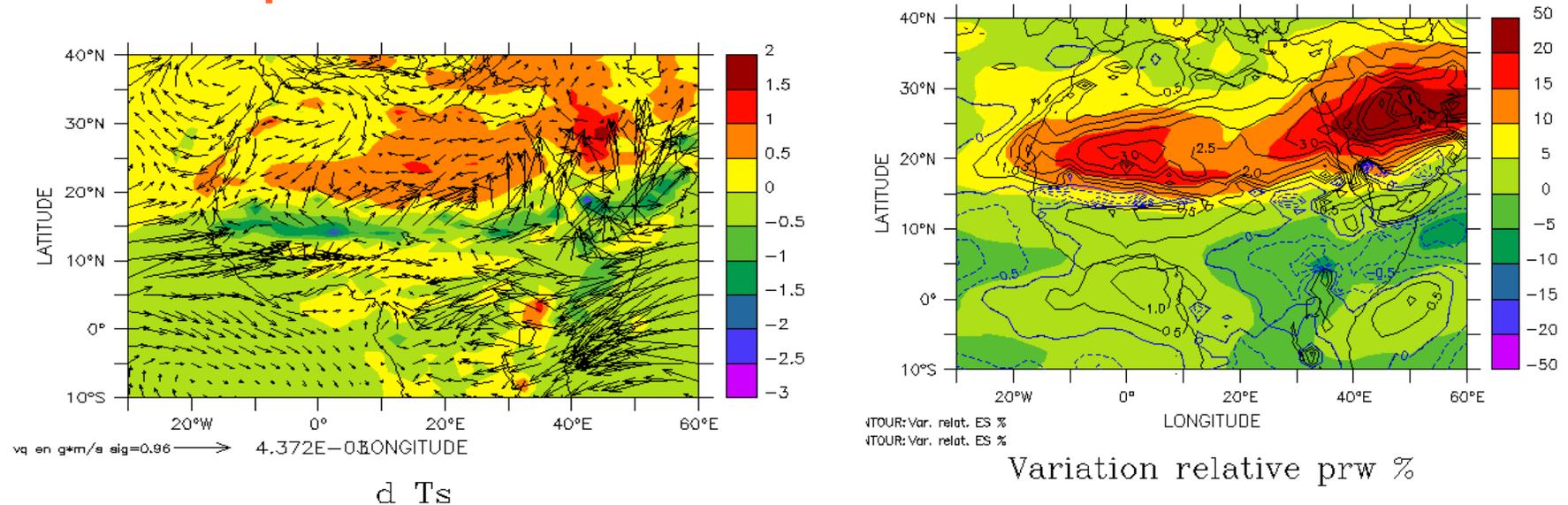
Radio sondages Humidité relative



Précipitation



II. Etudes climatiques : la sécheresse sahélienne



Exemple de rétroaction (thèse Abdoul Khadre TRAORE) :

Dipole de SST sur l'Atlantique chaud au nord

- advection d'humidité accrue sur le continent
- pluie accrue sur la bande sahélienne
- Surface plus froide et contraste plus grand avec le Sahara
- Renforcement de l'advection d'humidité sur le Sahara
- Effet de serre accru sur le Sahara
- Températures plus chaudes ...

Dans les observations ?

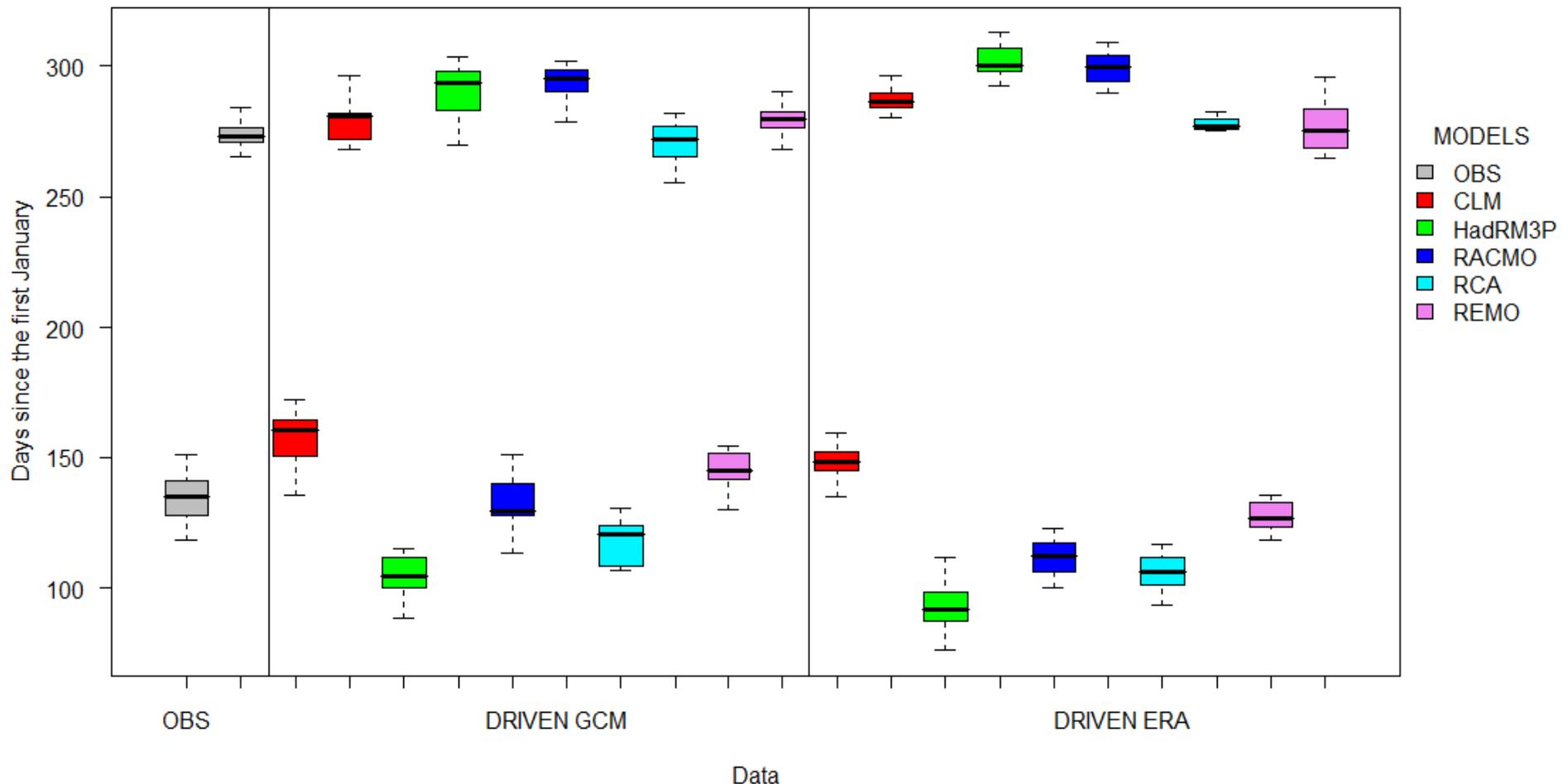
Est-ce que les processus impliqués sont bien représentés ?

Quelle est la cause des variations de SSTs?

Thèse Boubacar Ibrahim , Jan Polcher

Analyse de la période des saisons de pluies

Season onset and end of season in Burkina from the three data from 1990 to 2004



- Cinq RCMs tournés dans le cadre de ENSEMBLE avec deux conditions aux limites (sorties des GCMs et les réanalyses)
- Biais sur le démarrage et la fin des saisons des pluies

Analyse Multi-disciplinaire de la Mousson Africaine

- La problématique de la sécheresse des années 70s
- La prévision à différentes échelles de temps, dont changement climatique

L'équipe de développement de LMDZ s'est fortement impliquée

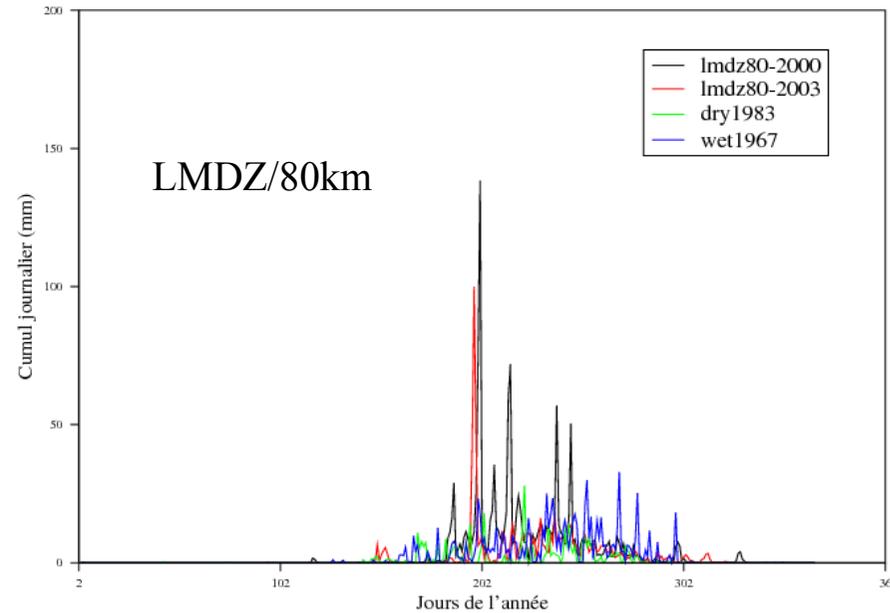
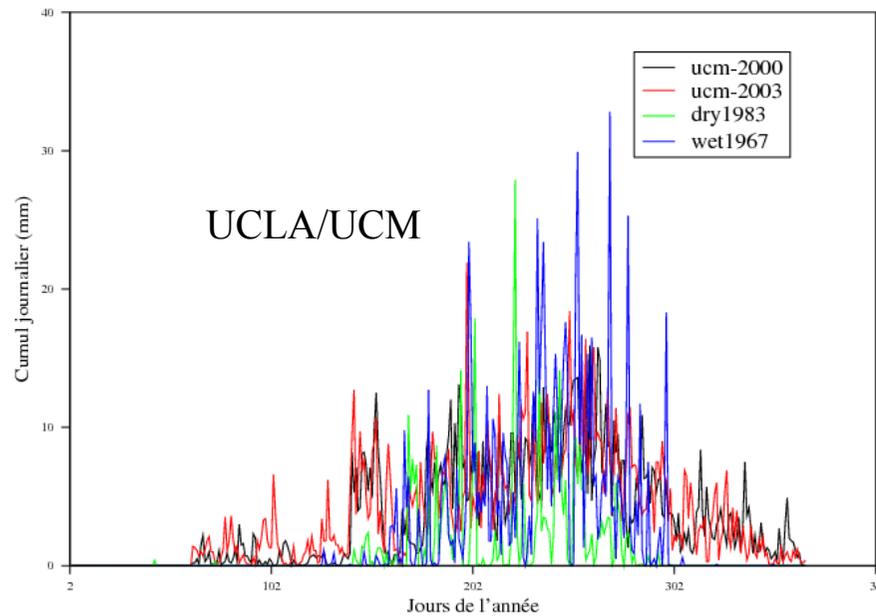
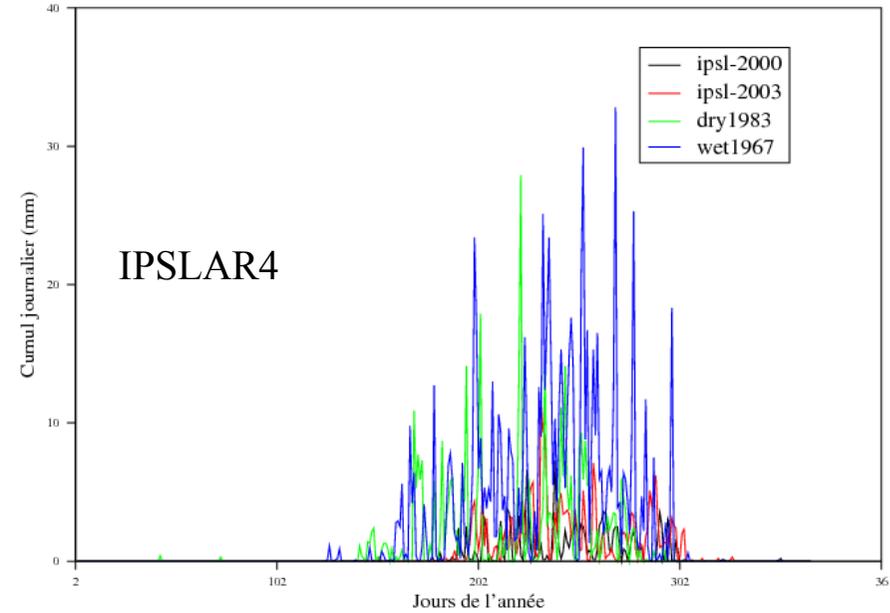
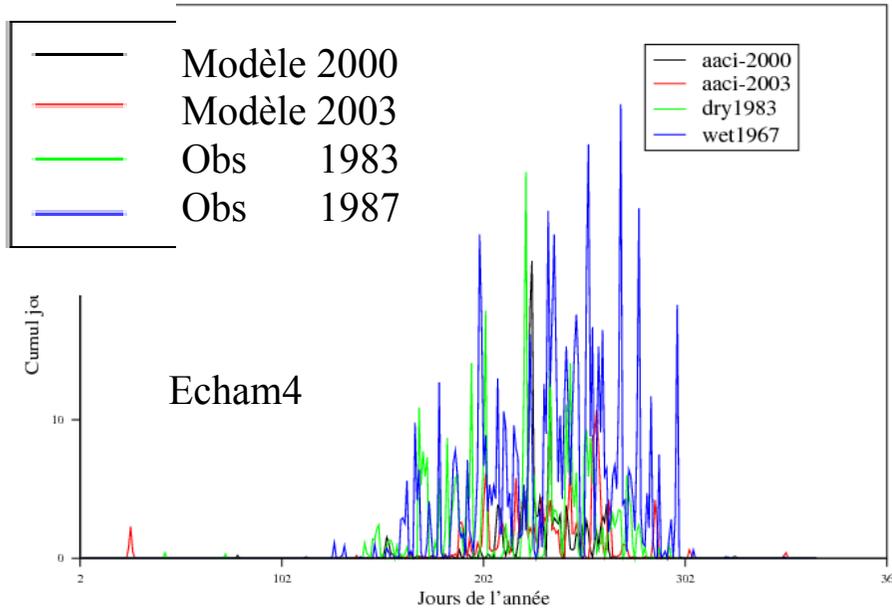
- Certains développements orientés par les problématiques sahéliennes
- Evaluation du modèle (paramétrisations physiques récentes, couplages avec la composition chimique ...)
- Coordination du projet AMMA-MIP d'intercomparaison de Modèles
- Collaboration forte avec le LPAOSF à Dakar (thèses en co-tutelle, programme Ripiecsa de l'IRD). **Youssuouph Sané** (co-encadré avec le LTHE, Arona Diedou), **Abdoul Khadre Traore**, **Mohamed Li**

Exploration de différentes configurations de LMDZ, très dépendantes des questions abordées

- Configurations couplées au SST ou atmosphère seule
- Grilles régulières plus ou moins fines, zooms
- Guidage plus ou moins fort

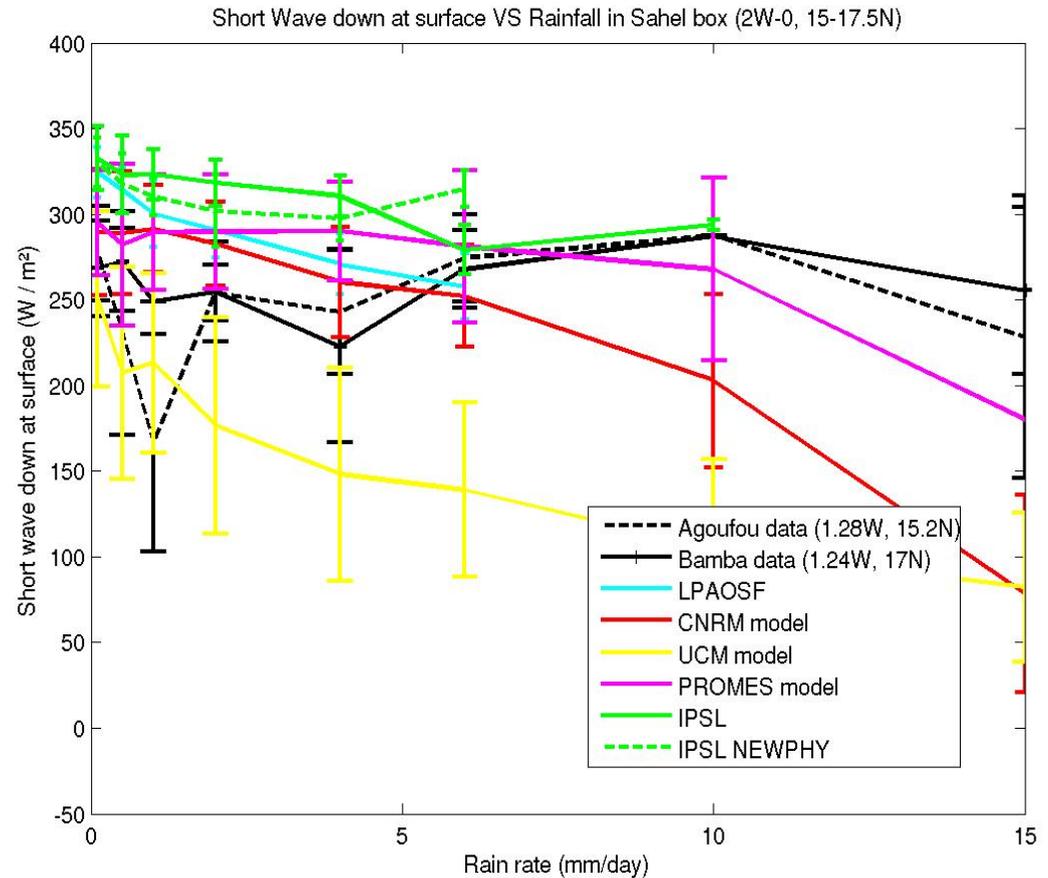
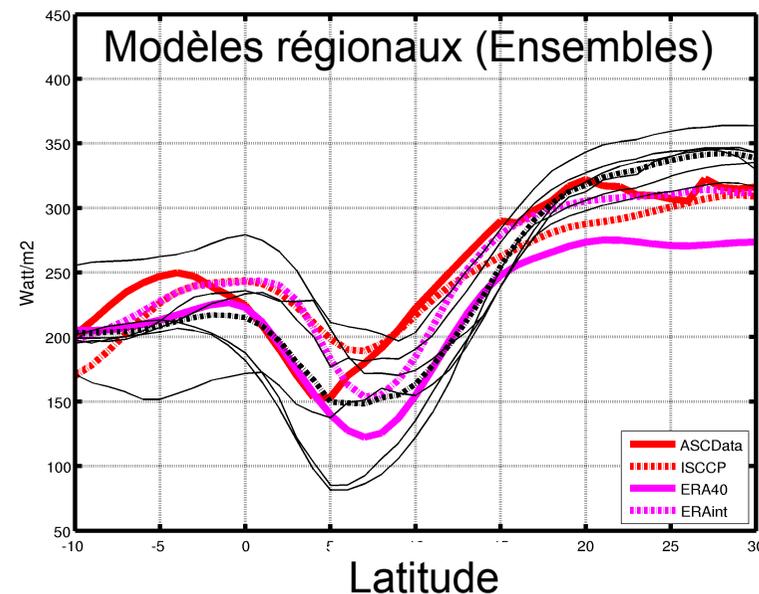
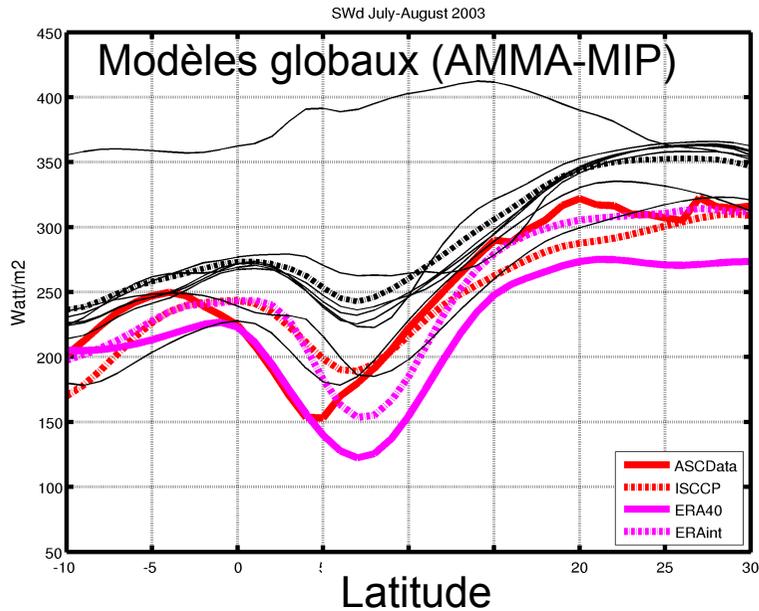
IV. Etudes d'impact

Evolution de la pluie sur un été dans une maille du modèle au Sénégal



I. Evaluation des modèles

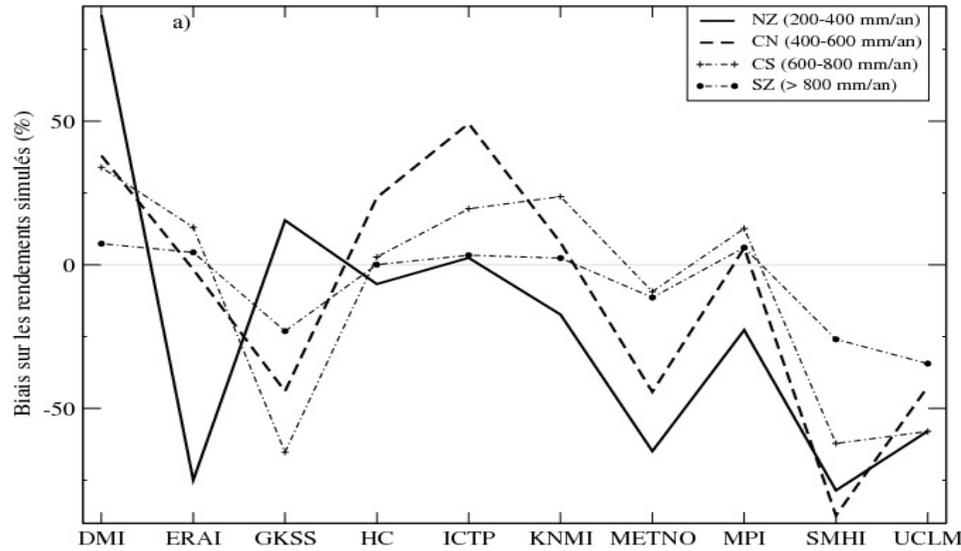
Flux Solaire en surface moyen
10W-10E Juillet Aout



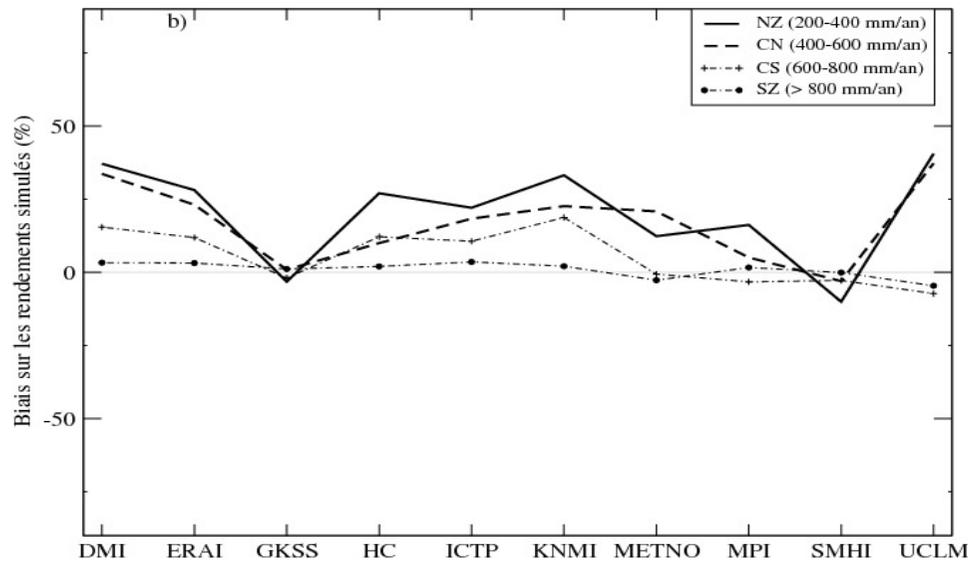
Biais très forts sur les flux radiatifs (jusqu'à 100 W/m²)
Problèmes dans la représentation des nuages ?
Mauvaise prise en compte des aérosols ?

- Biais sur la représentation du climat
- Enjeu : amélioration des paramétrisations physiques
- Pas (ou peu) une question de résolution spatiale

III. Etudes d'impact



Impact sur le rendement du changement de la pluie seule (pluies RCM Ensemble)



Impact de la variabilité intrasaisonnière de la pluie (avec le même cumul pour tous les modèles)